

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSGRADO



UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

TESIS:

ESTABILIDAD FENOTÍPICA DEL RENDIMIENTO DE VARIEDADES DE MAÍZ MORADO (*Zea mays* L.) EN ENSAYOS EN CLIMA FRÍO

Para optar el Grado Académico de

MAESTRO EN CIENCIAS

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL

Presentado por:

BERTHA LIDIA CHÁVEZ HUAMANHORQUE

Asesor:

Dr. CARLOS SEGUNDO TIRADO SOTO

Cajamarca, Perú

2024

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:
Bertha Lidia Chávez Huamanhorque
DNI: 26694013
Escuela Profesional/Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias . Programa de Maestría, Mención: Gestión Ambiental
2. Asesor: Dr. Carlos Segundo Tirado Soto
3. Grado académico o título profesional
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
4. Tipo de Investigación:
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:

Estabilidad fenotípica del rendimiento de variedades de maíz morado (*Zea mays* L.) en ensayos en clima frío.
6. Fecha de evaluación: **05/10/2024**
7. Software antiplagio: TURNITIN URKUND (OURIGINAL) (*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: **5 %**
9. Código Documento: **3117:388872403**
10. Resultado de la Evaluación de Similitud
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: **16/10/2024**

*Firma y/o Sello
Emisor Constancia*



Dr. Carlos Segundo Tirado Soto
DNI:

* En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023

COPYRIGHT © 2024 by
BERTHA LIDIA CHAVEZ HUAMANHORQUE
DERECHOS RESERVADOS DEL AUTOR



Universidad Nacional de Cajamarca
LICENCIADA CON RESOLUCIÓN DE CONSEJO DIRECTIVO N° 080-2018-SUNEDU/CD
Escuela de Posgrado
CAJAMARCA - PERU



PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Siendo las 17 horas, del día 23 de agosto del dos mil veinticuatro, reunidos en el Auditorio de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, el Jurado Evaluador presidido por el **Dr. ELFER GERMÁN MIRANDA VALDIVIA, M. Cs. EDGAR DARWIN DÍAZ MORI, M. Sc. LUIS DÁVILA ESTELA** y en calidad de Asesor el **Dr. CARLOS SEGUNDO TIRADO SOTO**, actuando de conformidad con el Reglamento Interno y el Reglamento de Tesis de Maestría de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Cajamarca, se dio inicio a la Sustentación de la Tesis titulada **ESTABILIDAD FENOTÍPICA DEL RENDIMIENTO DE VARIEDADES DE MAIZ MORADO (*Zea mays* L.) EN ENSAYOS EN CLIMA FRIO**, presentada por la **Bachiller en Agronomía BERTHA LIDIA CHÁVEZ HUAMANHORQUE**.

Realizada la exposición de la Tesis y absueltas las preguntas formuladas por el Jurado Evaluador, y luego de la deliberación, se acordó APROBAR con la calificación de DIECISIETE la mencionada Tesis; en tal virtud, la **Bachiller en Agronomía, BERTHA LIDIA CHÁVEZ HUAMANHORQUE**, está apta para recibir en ceremonia especial el Diploma que la acredita como **MAESTRO EN CIENCIAS**, de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias con Mención en **GESTIÓN AMBIENTAL**.

Siendo las 18:15 horas del mismo día, se dio por concluido el acto.

Dr. Carlos Segundo Tirado Soto
Asesor

Dr. Elfer Germán Miranda Valdivia
Jurado Evaluador

M. Cs. Edgar Darwin Díaz Mori
Jurado Evaluador

M. Sc. Luis Dávila Estela
Jurado Evaluador

DEDICATORIA

Al finalizar una fase hermosa de mi estudios, deseo enviar mi agradecimiento a mi gran familia que siempre me acompaña.

- A mis padres Víctor Pelayo Chávez Bazán y Nicasia Huamanhorque Fuentes.
- A mi esposo Hugo Dante Enriquez Guerra.
- A mis hijos Hubert Arturo, Víctor Hugo y Abraham Oscar.
- A mis hermanos Luz Albina, Celso Miguel, Marilú y Jeiner.

Personas que me caminaron conmigo, me dieron mucha fuerza y fueron mi sostén e iluminación. Gracias a Dios por darme la perseverancia, la voluntad, la fuerza de permitirme terminar mi maestría.

AGRADECIMIENTOS

Manifiesto mi sincero agradecimiento a las Instituciones y personas:

- Al Dr. Carlos Segundo Tirado Soto, por brindarme su valioso apoyo en el asesoramiento durante la presente investigación.
- Al Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), bajo la dirección del Dr. Héctor Cabrera Hoyos y al Programa Nacional de Investigación en Maíz y Trigo, liderado por la Mg Ing. Alicia Medina Hoyos. Su apoyo ha sido fundamental para llevar a cabo la investigación en las localidades seleccionadas.
- A la Asociación Pataz, encabezada por el Ing. Juan Miguel Pérez Vásquez y Mg Ing. Ronal Otiniano, a los técnicos de campo y los productores de las parcelas de investigación, que me han facilitado la realización de la investigación en dos localidades en Huamachuco, Región La Libertad.
- A los agricultores que colaboraron en la gestión de los ensayos.

EPÍGRAFE

La nutrición y la siembra son la cara
Y el dorso de un mismo organismo.

Masanobu Fukuoka

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
TABLA DE CONTENIDO	viii
LISTA DE TABLAS.....	xii
LISTA DE FIGURAS	xiv
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT	xviii
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II.....	4
REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Estudios de la Investigación	4
2.2. Fundamentos Teóricos.....	7
2.2.1. Estudios Multi-Ambientes (EMA).	7
2.2.2. Interacción Genotipo por Ambiente –IGA.	8
2.2.3. Componentes de la Varianza Fenotípica.	10
2.2.4. Estabilidad y Adaptación.....	11
2.2.5. Análisis de estabilidad fenotípica.....	14
2.2.6. El Maíz Morado.	23
2.2.7. Composición Nutricional del Maíz Morado.	24
2.2.9. Componentes benéficos del Maíz Morado.	25
2.2.10. Antocianina.	26

2.2.11. Coronta del Maíz Morado.....	27
2.2.12. Propiedades medicinales.....	27
2.2.13. Propiedades antioxidantes.....	29
2.2.14. Maíz Morado como alimento funcional.....	29
2.2.15. Variedades de Maíz Morado en el Perú.....	30
2.2.16. Realidad del rendimiento de Maíz Morado.....	31
2.2.19. Manejo del Cultivo.....	36
2.3. Definición de términos.....	38
2.3.1. Fenotipo.....	38
2.3.2. Genotipo.....	38
2.3.3. Interacción genotipo por ambiente.....	38
2.3.4. Adaptación.....	38
2.3.5. Estabilidad.....	39
2.3.6. Antocianina.....	39
CAPÍTULO III.....	40
MATERIALES Y MÉTODOS.....	40
3.1. Localización de los campos experimentales.....	40
3.2. Análisis físico – químico del suelo.....	41
3.3. Condiciones climáticas durante el periodo de cultivo.....	42
3.4. Material experimental.....	44
3.4.1. Variedades.....	44
3.4.2. Fertilizantes.....	45
3.4.3. Material complementario.....	46
3.4.4. Equipos y herramientas de laboratorio.....	46
3.4.5. Materia prima utilizado para obtención antocianinas.....	47

3.4.5.	Sustancias químicas utilizadas.....	47
3.5.	Factores de tratamiento y sus niveles.....	47
3.6.	Diseño Experimental.....	48
3.7.	Características de cada uno de los campos experimentales	48
3.8.	Conducción de cada uno de los campos experimentales	49
3.9.	Evaluaciones Registradas	50
3.10.	Estudio estadístico	54
CAPÍTULO IV		61
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		61
4.1.1.	Magnitud y naturaleza de la interacción genotipo por ambiente (IGA)	61
4.1.2.	Contribución de los factores a la variabilidad total.....	65
4.1.3.	Estabilidad fenotípica del rendimiento de grano de los genotipos.....	66
4.2.	Del contenido de antocianinas y características agronómicas	68
4.2.1.	Del contenido de antocianinas	68
4.2.1.1.	<i>En Tusa</i>	68
4.2.1.2.	En Brácteas.....	70
4.2.2.	Medias de las Características Agronómicas Evaluadas.....	71
4.2.2.1.	Por Localidad.....	71
4.2.2.2.	Por Genotipo.....	71
4.2.2.3.	Análisis de la variancia del rendimiento de grano por cada localidad.	72
CAPÍTULO V.....		74
CONCLUSIONES		74
CAPÍTULO VI		77
REFERENCIAS.....		77
APENDICES:		91

Apéndice 1.....	92
Apéndice 2.....	95
Apéndice 3.....	99

LISTA DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Composición nutricional del maíz morado en grano y coronta en 100g	24
Tabla 2. Producción de maíz morado (t) por región campaña, años 2016 - 2020	31
Tabla 3. Principales destinos del maíz morado, 2022	32
Tabla 4. Valor y volumen de las exportaciones del maíz morado	32
Tabla 5. Georreferenciación de las cinco localidades del ensayo multiambientes	40
Tabla 6. Características físico-químico de los suelos de los campos experimentales de cada localidad, 2017.....	41
Tabla 7. Condiciones climáticas observadas durante la conducción del experimento 2017 – 2018 Estación Augusto Weberbauer - Cajamarca	42
Tabla 8. Condiciones climáticas observadas durante la conducción del experimento 2017 – 2018 Estación Cajabamba	43
Tabla 9. Condiciones Climáticas observadas durante la conducción del experimento 2017- 2018 Estación Namora.	43
Tabla 10. Condiciones Climáticas observadas durante la conducción del experimento 2017- 2018 Estación Huamachuco	44
Tabla 11. Genotipos de maíz morado estudiados	47
Tabla 12. Grado de valoración de la podredumbre de la mazorca.....	52
Tabla 13. Análisis de variancia por localidad para el rendimiento de grano.....	56
Tabla 14. Análisis de variancia a través de ambientes para característica de rendimiento de grano de los genotipos.....	58
Tabla 15. ANVA para el rendimiento de grano de maíz en t ha ⁻¹ a través de los cinco ambientes.	61

Tabla 16. Prueba de significación de TUKEY para el rendimiento de grano para ambientes al 5%	62
Tabla 17. Comparación estadística de Duncan al 5% para el rendimiento de grano de los tres genotipos de maíz tres genotipos de maíz morado estudiados.....	64
Tabla 18. Mejor cultivar y el respectivo orden de mérito de los genotipos en cada localidad.	67
Tabla 19. Porcentaje de antocianinas en tusa en cada una de las localidades y a través de localidades	69
Tabla 20. Porcentaje de antocianinas en bráctea en cada una de las cinco localidades	70
Tabla 21. Medias de las características agronómicas evaluadas en cada una de las localidades (ambientes) estudiadas.	71
Tabla 22. Medias de las características agronómicas evaluadas en cada uno de los tres cultivares de maíz morado estudiado a través de las cinco localidades.....	72
Tabla 23. Análisis de la variancia del rendimiento de grano para cada una de las cinco localidades.	73
Tabla 24. Producción (t ha ⁻¹) total de 3 variedades de maíz morado; parcela Shaullo	92
Tabla 25. Producción (t ha ⁻¹) total de 3 variedades de maíz morado; parcela Vista Florida..	92
Tabla 26. Producción (t ha ⁻¹) total de 3 variedades de maíz morado; parcela Namora	92
Tabla 27. Producción (t ha ⁻¹) total de 3 variedades de maíz morado; parcela Uchuy.....	93
Tabla 28. Producción (t ha ⁻¹) total de 3 variedades de maíz morado; parcela Cajabamba....	93
Tabla 29. Producción (t ha ⁻¹) total de 3 genotipos de maíz morado por localidad	93
Tabla 30. Porcentaje de concentración de antocianina de maíz morado en 5 localidades	94

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Estructura básica de la antocianina	25
Figura 2. Evolución de las exportaciones del maíz morado en Perú, 2010-2018.....	33
Figura 3. Esquema y organización de los cultivos tres variedades de maíz morado.....	49
Figura 4. Rendimiento de grano por genotipo en cada localidad	65
Figura 5. Contribución de los factores de variación al rendimiento promedio en el ensayo multiambientes.....	66
Figura 6. Contenido de antocianina en tusa por genotipo.....	69
Figura 7. Contenido de antocianina por genotipo.....	70
Figura 8. Siembra de maíz morado.....	95
Figura 9. Deshierbo y segunda fertilización nitrogenada.....	95
Figura 10. Aporque de maíz	95
Figura 11. Aplicación de aceite de comer en mazorca de maíz.....	95
Figura 12. Daño de aves a la mazorca de maíz morado.....	96
Figura 13. Toma de datos durante cosecha de maíz	96
Figura 14. Selección de maíz por variedad	96
Figura 15. Pudrición en mazorca	96
Figura 16. Exposición del maíz morado en campo.....	96
Figura 17. Determinación del peso del beaker en la balanza analítica	97
Figura 18. Mezcla de ácido clorhídrico en alcohol.....	97
Figura 19. Colocación de beaker con imán	97
Figura 20. Reposar a la muestra por 1 hora.....	97
Figura 21. Colocación de mezcla en celda	97
Figura 22. Colocar la celda en el equipo electrostático	97

Figura 23. Georreferenciación de la localidad de Uchuy – Región La Libertad98

Figura 24. Georreferenciación de la localidad de Vista Florida – Región La Libertad.....98

LISTA DE ABREVIATURAS

AMMI	Efectos Principales Aditivos e Interacción Multiplicativa
ANVA	Análisis de la varianza
CM	Cuadrado medio (en inglés MS Mean square)
CV	Coefficiente de Variación
EMA	Ensayos multiambientes
IGA	Interacción Genotipo por Ambiente
INIA	Instituto Nacional de Innovación Agraria
G	Genotipo
MM	Variedad Experimental Morado Mejorado
SREG	Modelos de Regresión de Sitios
Tha ⁻¹	Toneladas por hectárea

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar la estabilidad fenotípica del rendimiento de grano en diferentes variedades de maíz morado (*Zea mays L.*) en ensayos realizados en condiciones de clima frío en diversas altitudes de la Sierra Norte del Perú. Se usó el diseño experimental de bloques completos randomizados con tres variedades de maíz morado (INIA-601, Variedad Experimental Morado Mejorado y Canteño) y cinco repeticiones en cada una de las en cinco ambientes estudiadas, tres en Cajamarca y dos en La Libertad. Además, el análisis de varianza para el rendimiento de grano a través de localidades es altamente significativa para ambientes, pero no muestra diferencias en cuanto al genotipo y a la interacción del genotipo con el ambiente. Asimismo, la interacción genotipo por ambiente para el rendimiento es de magnitud baja, no significativa y del tipo no cruzado. También, el rendimiento del grano de los genotipos debido a los factores ambientales contribuye en un 92.8%, los genotipos aportan solo el 3.4%, y la interacción genotipo-ambiente contribuye con el 3.8%. Además, los genotipos son de similar comportamiento Canteño con 1.5 t ha⁻¹, INIA 601 con 1.4 t ha⁻¹ y Morado Mejorado con 1.2 t ha⁻¹ indicándonos que los genotipos son estables. Luego, los mejores ambientes son Cajabamba, luego Vista Florida, Shaullo Chico y Uchuy. Así mismo, en el contenido de antocianinas en tusa, la variedad Morado Mejorado contiene 3.75%, y para, el contenido de antocianina en las brácteas, INIA 601 muestra 2.90%.

Palabras claves: Estabilidad fenotípica, maíz morado, antocianinas, rendimiento, interacción GxA. clima frío.

ABSTRACT

With the objective of evaluating the phenotypic stability of grain yield in different varieties of purple corn (*Zea mays L.*) in trials conducted under cold climate conditions at various altitudes in the Northern Highlands of Peru. We used a randomized complete block design with three purple maize varieties (INIA-601, an improved experimental purple maize variety, and Canteño) and five repetitions in each of the five environments studied, three in Cajamarca and two in La Libertad. The analysis of variance for grain yield across different locations was highly significant for environments but did not show significant differences in genotype or genotype-environment interaction. Additionally, the genotype-environment interaction for yield was of low magnitude, not significant, and of the non-crossover type. Environmental factors contributed 92.8% to genotype grain yield, while genotypes contributed only 3.4%, and genotype-environment interaction contributed 3.8%. Regarding genotype behavior, Canteño yielded 1.5 tons per hectare, INIA 601 yielded 1.4 tons per hectare, and Morado Mejorado yielded 1.2 tons per hectare, indicating stable genotypes. The best environments were Cajabamba, followed by Vista Florida, Shaullo Chico, and Uchuy. In terms of anthocyanin content in the cob, Morado Mejorado showed 3.75%. For anthocyanin content in the bracts, INIA 601 exhibited 2.90%.

Key Words: Purple Corn, Anthocyanins, Yield, GxA Interaction (Genotype by Environment Interaction, cold weather).

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La venta de productos a nivel integral está en constante aumento y el maíz morado es uno de los productos que ha destacado en otros países. La mayor parte de las exportaciones del maíz morado tienen el destino principal al Ecuador, Estados Unidos, Unión Europea (España y Bélgica), Chile, España, Asia, Japón y Singapur (MINAGRI, 2021).

Asimismo, el maíz morado es propio de la zona andina del Perú, desde tiempos antiguos, ha sido un alimento fundamental en las culturas pre hispánicas y continúa siendo importante en la actualidad (Medina, 2022). También, el Perú es un país megadiverso en el cual existen climas y zonas diferentes, por lo que los agricultores producen maíz para consumo y para venta (Ccaccya, 2019).

Por otra parte, el maíz morado es un cultivo importante en el aspecto medicinal, textil y cosmético. En la medicina es bueno por su gran aporte en la prevención de enfermedades crónicas. En lo textil y cosmético se aprovechan los pigmentos (Moreno & Paz, 2010)

Según investigaciones realizada, el maíz morado es un producto que evita enfermedades persistentes tales como la artritis, hipertensión arterial y diabetes mellitus, por la existencia del antioxidante de las antocianinas del producto (Flores et al., 2018).

Sin embargo, la falta de materia orgánica, suelos muy ácidos, concentración de elevada salinidad, etc., (Sanchez et al., 2016) y el uso de semillas de mala calidad produce impactos negativos en su cosecha debido a los problemas fitosanitarios, calidad y rendimiento de la semilla (INIA, 2020). En el presente trabajo de investigación se evaluó tres diferentes variedades de maíz morado a fin de obtener un buen rendimiento de grano y de contenido de antocianinas en bráctea y tusa en la Sierra Norte durante la campaña agrícola 2017 – 2018.

En los sectores norte y centro de la sierra, las épocas lluviosas de octubre a marzo permiten obtener rendimientos superiores a 5 t/ha con un equipo tecnológico adecuado (Medina, 2022). Sin embargo, en Cajamarca, el rendimiento del maíz morado es menor, lo que reduce su rentabilidad en comparación con otras regiones. Además, el rendimiento el maíz amiláceo tradicional produce en promedio 1,4 a 2.0 t/ha de grano (Lazo, 1999). Esta es la razón por la cual en esta investigación que se aborda el siguiente problema ¿Cuál es la estabilidad fenotípica del rendimiento de grano en diferentes variedades de maíz morado (*Zea mays L.*) cultivadas en diversas altitudes de las regiones de la Sierra Norte del Perú, bajo condiciones de clima frío?

La hipótesis de investigación en este estudio sostiene que la estabilidad fenotípica del rendimiento de grano varía significativamente entre diferentes variedades de maíz morado (*Zea mays L.*) en función de la altitud en las regiones de la Sierra Norte del Perú, bajo condiciones de clima frío.

Se justifica este trabajo porque en localidades de la sierra existen varios factores (bióticos y abióticos) donde hay producción de diferentes cultivos que son limitados por estas causas. Es importante incrementar el rendimiento en el cultivo de maíz morado con semilla certificada, con buenas técnicas de producción en el manejo de la fertilidad, las familias deben estar informadas sobre las técnicas de producción del maíz morado, para de esta manera tener mejores rendimientos y por ende más recursos económicos para su familia, permitiendo aumentar el área de siembra, mejorar la producción y productividad, para su comercialización en el mercado local, nacional y de exportación, posibilitando generar mejores ingresos económicos y contribuyendo al bienestar familiar.

El alcance del trabajo de investigación está orientado a zonas de producción de maíz en cinco localidades de clima frío en el norte del Perú, específicamente en las regiones de Cajamarca y la Libertad, en cuanto a las limitaciones sobre todo en la producción, dentro de

la experimentación en campos de agricultores ya que no todos ceden sus terrenos pues el área de las parcelas son grandes de 44 m² y no de 4.40 m² en campos experimentales; también debido a los mayores costos por ambiente que surgen del transporte, recursos humanos, insumos, etc. la amplitud de las variedades y ambientes estudiados se ve limitada.

El objetivo general de esta investigación fue evaluar la estabilidad fenotípica del rendimiento de grano en diferentes variedades de maíz morado (*Zea mays L.*) en ensayos realizados en condiciones de clima frío en diversas altitudes de la Sierra Norte del Perú.

En concordancia con este objetivo general, se establecieron los siguientes los objetivos específicos:

1. Evaluar la estabilidad fenotípica del rendimiento de grano en distintas variedades de maíz morado (*Zea mays L.*) cultivadas en diferentes altitudes bajo condiciones de clima frío.
2. Analizar el contenido de antocianinas y otras características agronómicas relevantes en las variedades de maíz morado (*Zea mays L.*) evaluadas.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Estudios de la Investigación

Hernández (2018), estudió la estabilidad del rendimiento, calidad física y fisiológica de líneas y cruzas simples progenitoras de híbridos trilineales de maíz e identificar localidades alternativas a la región de Valles Altos Centrales de México para la producción de semilla de calidad e identificar características asociadas al rendimiento. Se aplicó el diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones donde se tomó en cuenta el rendimiento, días de floración, altura de planta y comparación de medias. Los resultados indican que los progenitores M-43xM-44, M-55, M-52, M-54 y el híbrido H-66 (4 progenitores) mostraron estabilidad en rendimiento. El híbrido H-70 (un progenitor) tuvo la mejor respuesta para calidad física y fisiológica. San Luis de la Paz y Celaya (2 localidades) fueron identificadas como localidades aptas para la producción de semilla de calidad. El estudio realizado nos menciona que el ambiente tiene un efecto significativo en los fenotipos de las plantas, afectando el peso y la germinación al ser expuestas a bajas temperaturas.

Quijano (2024), determinó la estabilidad de quince híbridos de maíz amarillo duro (*Zea mays L.*) en siete localidades de la Costa Norte del Perú e identificar los híbridos de mayor estabilidad potencial de rendimiento a fin de indicar el híbrido más constante para cada lugar. Se utilizó el modelo de Eberhart y Russel y AMMI, el diseño experimental usado fue el de bloques completos al azar con cuatro repeticiones y quince híbridos en siete entornos, las variables a evaluarse han sido el rendimiento de grano, altura de planta y mazorca, días a floración masculina y femenina. Según los modelos de estabilidad de Eberhart y Russell y AMMI, el híbrido EXP 003 y Exp 007 se registraron como estables. La producción más alta

se logró en Alto Perú y Lunar bajo, con el híbrido P3862, DK-1596 y DK-7088 destacando en Alto Perú, y el híbrido DK 7088 resaltando en Lunar bajo. La interacción entre genotipos y ambiente se logró en todos los genotipos.

Rabanal y Medina (2022), distinguieron maíces morados con optimó rendimiento de grano y contenido de antocianinas en tusa y panca que creen más entradas a los agricultores de la zona de Cajamarca en Perú. El diseño usado modo fue el bloques completos al azar. Se utilizó NPK para 4 ambientes con la siguiente fórmula N, P₂O₅ y K₂O, respectivamente fueron en Tartar chico (165, 45, 65), Shaullo chico (120, 60, 50), Iglesiapampa (120, 60, 50) y en Chala (145, 65, 45) kg ha⁻¹, correspondientemente. El abonamiento se realizó a la siembra y la segunda, al aporque la mejor localidad fue Chala registrándose una producción alta de grano en los genotipos INIA-601 (4.38 t ha⁻¹) y MM (3.75 t ha⁻¹). Estas variedades mostraron mayores concentraciones de antocianinas en tusa y panca, con 7.9 y 4.53 mg g⁻¹ para INIA-601 y 7.2 y 2.1 mg g⁻¹ para MM respectivamente, siendo recomendables en grano y antocianinas. En conclusión, la localidad de Chala para los cultivares INIA-601 y para el cultivar Morado Mejorado sintético MM, en rendimiento de grano, variedades con buen potencial para cultivos de importación y exportación.

García et al. (2021) estudiaron la interacción genotipo-ambiente y potencial productivo de 25 variedades de maíz amiláceo en la provincia de Tayacaja, Perú, en este experimento, se empleó el modelo de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa para hacer uso del diseño alfa látice 5x5, con tres repeticiones. La IGA, la que influye en el rendimiento de grano, fue altamente significativa y explicó alrededor del 14% de la variación fenotípica. El modelo AMMI manifestó alrededor del 96% de la variación debida a la IGA, notándose que solamente dos primeros ejes expresaron toda esta variación. Las variedades locales Chullpi-Q, Carhuay-P, Astilla Blanca-Cusqueado, Astilla Blanca-DH, Cusqueado-P y Astilla Blanca-

Astilla Amarilla manifestaron el excelente potencial productivo, pero sólo las tres primeras fueron estables .

Vásquez et al. (2021) determinaron la existencia o no de la interacción genotipo x ambiente (IGE) y su efecto en el rendimiento de peso de tubérculo y número total de tubérculos y descubrir prototipos invariables empleando el ejemplo indicado por Eberhart y Russell (1966). Se evaluaron ocho genotipos resultantes de cinco ciclos de selección recurrente de *Solanum tuberosum*, utilizando el diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Los mejores índices ambientales para peso de tubérculos y tubérculos totales se lograron en cuatro localidades. Un genotipo fue considerado como el genotipo estable, consistente y con alto potencial de rendimiento, dos genotipos con rendimientos altos, respondieron mejor a condiciones desfavorables y consistentes. En conclusión, tenemos según las observaciones, las diferencias notables en genotipos, localidades y la interacción genotipo-ambiente (IGA) indican la presencia de una variabilidad genética considerable, lo que permite la selección de genotipos destacados. Además, señalan que los entornos en la región de Cajamarca son diversos y que la significativa IGA complica la elección de genotipos consistentes y estables.

Tirado et al. (2019) con el objetivo de valorar las respuestas de catorce híbridos de maíz a través de veintisiete entornos diversos para identificar a los genotipos de alto rendimiento con el empleo de los modelos Eberhart y Russel y GGA biplot, Se usó el diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones en cada espacio. El análisis GGE biplot admitió tener interés en los genotipos G11, G6, G12, G10 y G9 presentaron un insuperable potencial de producción de grano y la excelente estabilidad a través de todos los entornos. Por otro lado, los genotipos G4, G8, G9 y G3 mostraron tener adaptación específica. Las áreas de prueba L5-Pereira y L15-El Líbano con mayor habilidad para discriminar eficazmente entre genotipos y por ser el mejor para la selección de aquellos con adaptación amplia fueron L5-

Pereira y L15-El Líbano. Se examinó siete agrupamientos de genotipos y entornos (mega-ambientes) que son entornos homogéneas y por este motivo se desarrollan similarmente. Cruz (2019) distinguió la rentabilidad de dos especies de maíz morado (*Zea mays L.*) con estudios de estiércol natural y fertilizante químico en la finca Los Pichones, Se utilizó el diseño en bloques completos al azar con diez bloques con cuatro repeticiones. Se logró que T9 y T7 alcanzaron importantes rendimientos $9\ 803,13\ \text{kg ha}^{-1}$ y $9\ 437,50\ \text{kg ha}^{-1}$ respectivamente, se observó que el T9 presenta mayor costo de producción con $9\ 281,03$ soles por hectárea, análogo al bloque siete con $9\ 280,90$ soles. Logró mayores ganancias el bloque T9 con S/. $14\ 508,63$ que acceden obtener ingreso neto de $5\ 227,60$ soles. Conclusión el mejor costo unitario lo obtuvo el T5 con $0,83$ soles por kilogramo. El examen de correlación beneficio-costó consiguió al bloque T10 con $2,02$ muestra que las utilidades son mayores a los costos. El bloque T5 con $43,75\ \%$ logró las mayores ganancia en ventas.

2.2. Fundamentos Teóricos

2.2.1. Estudios Multi-Ambientes (EMA).

Los estudios multi-ambientales se caracterizan por involucrar varias localidades (localidades y/o años) en los que se evalúan diferentes cultivares, dentro de su entorno. Los caracteres más importantes de los cultivos están controlados por múltiples genes que determinan el rendimiento, la resistencia a plagas y enfermedades, contenido nutricional y otros, que son influenciado por su ambiente (Yan & Hunt, 2002).

De igual forma para alcanzar cultivos de alta producción en zonas planteadas, se observa que la Interacción Genotipo-Ambiente (IGA) sean con genotipos estables que conserven altos rendimientos en variadas circunstancias, asegurando adaptabilidad y solidez de los genotipos (Huanuqueño et al., 2022).

Así mismo el rendimiento es afectado por la cantidad de plantas, por la disponibilidad de agua antes y después de la fecundación, depende también de los genotipos, el ambiente y manejo del cultivo (Ramirez et al., 2021).

Por otra parte, los fenotipos tienen características idénticas a la de su progenitor las que dependen del medio ambiente en el que se desarrollan. Las características de los genotipos varían de acuerdo al medio ambiente lo que determina que los fenotipos se observen diferentes en cada entorno aun cuando la información de cada genotipo se conserva en la especie. (Silva et al., 2014).

Además, la interacción genotipo – ambiente requiere estudios en varias campañas para establecer la elección de individuos con adaptabilidad tanto general como específica en diferentes condiciones, evaluando varios comportamientos, y obtener un cultivo de buen rendimiento (López et al., 2017).

2.2.2. Interacción Genotipo por Ambiente –IGA.

La interacción entre genotipo y ambiente (GxA) es una causa significativa de variación. Dependiendo de su dimensión, puede disminuir la tasa de progreso en la selección y limitar el uso de cultivares en áreas señaladas (Kang & Gauch, 1996).

Por otro lado, los estudios de mejora genética de los cultivos tienen por objetivo obtener muestras con alta producción, estabilidad de rendimiento y resistentes en diferentes contextos. Un procedimiento ampliamente utilizado es el AMMI, que básicamente es un análisis multivariado de componentes principales, donde los efectos primordiales de genotipos y ambientes son de naturaleza aditiva y la interacción entre ellos de naturaleza multiplicativa (Silva et al., 2014).

Cabe considerar que el método AMMI utiliza el análisis de varianza (ANOVA), seguido del análisis de componentes principales empleado a la suma de cuadrados que le corresponde a la IGA (García, y otros, 2021).

Por otro lado, la producción agrícola es la respuesta de la interacción entre el genotipo del cultivo y las condiciones del suelo y clima en su crecimiento. La selección de una semilla de rendimiento máximo y las prácticas agrícolas de manejo influyen en su rendimiento y son aspectos controlables. Sin embargo, las condiciones ambientales, que son cambiantes de una campaña a otra, son parte fundamental pero no es controlable y afecta significativamente el rendimiento final (Lopez et al., 2017).

De esta manera, comprender alcance de la IGA es importante para medir la estabilidad de los genotipos en diversos ambientes en que se quieren introducir y también los potenciales productivos y limitaciones de estos en las diversos medios (Gabriel, 2010).

Entender la interacción genotipo x ambiente admite demostrar genotipos estables o con mejor adaptación específica, lo cual es decisivo en la elección y en la sugerencia de cultivares en el mejoramiento genético. Además, este conocimiento puede potenciar el rendimiento de las siembras al aprovechar eficientemente las áreas con mayor estabilidad o adaptación (Márquez et al., 2020).

Asimismo, las características agronómicas como la altura de planta, altura de mazorca, productividad, acame, número de granos por mazorca: estas particularidades están relacionadas con el genotipo, tipo de suelo, ambiente y manejo del cultivo, lo que indica que mostrarán valores diversos cada vez que sean evaluados. Estas características son influenciadas por el efecto genético individual de los cultivos en interacción con el entorno (Salazar, Véliz, Mestanza, & Villacis, 2023).

2.2.3. Componentes de la Varianza Fenotípica.

Variación se refiere a las diferencias visibles entre individuos, distinguiéndose unos de otros y de sus progenitores. Se contraponen a la herencia. Este fenómeno surge de múltiples factores, incluyendo la hibridación inter e intraespecífica, la recombinación genética y las influencias ambientales (Vallejo & Estrada, 2002).

Además, la manifestación fenotípica (F) de distintos aspectos está influenciado por el genotipo (G), el entorno (A) y el genotipo que interactúa con el ambiente (G x A), se muestra de la siguiente forma:

$$F = G + A + G \times A \text{ (Vallejo \& Estrada, 2002).}$$

También, el genotipo a la totalidad de la composición genética de un organismo, (expresada y latente), incluidos todos los genes y factores genéticos citoplasmáticos ubicados en los cromosomas (Vallejo & Estrada, 2002). Además, la manifestación fenotípica (F) de los diferentes caracteres es dependiente del genotipo (G), ambiente (A) y de GxA (Mederos & Ortiz, 2021).

De la misma forma el fenotipo viene a hacer los caracteres perceptibles de una especie, como su desarrollo, sus propiedades bioquímicas, su constitución, su productividad, etc. (Balzarini, Bruno, & Arroyo, 2005).

De la misma manera, la heredabilidad se explica como la relación entre la variación genética y fenotípica, y esta proporción puede ser diferente en diversos atributos de un mismo organismo, para un carácter particular en diferentes organismos, o incluso para la misma condición en otras poblaciones del mismo organismo (Abbott & Pistolare, 2010).

En cambio, los factores que no dependen de condiciones genéticas y que tienen la capacidad de influir en el crecimiento y desarrollo de los cultivos incluyen tanto componentes

predecibles del ambiente (como ciertas características ambientales: radiación solar, tipo de suelo y fertilidad; fechas, densidad y el proceso de siembra) como componentes impredecibles del ambiente (como precipitación y distribución; temperatura y humedad; enfermedades (Vallejo & Estrada, 2002).

Por otra parte, desde el punto de vista esencial del mejoramiento de los cultivos es el rendimiento, que se relaciona con las características cuantitativas de la genética. La selección se basa en el fenotipo final, que es el resultado de interacciones entre los efectos genéticos y ambientales. Estos efectos influirán en diferentes grados y direcciones en la expresión de las características (Marquez et al., 2020).

Además, el fenotipo describe las características visibles de un cultivar, determinados por su genotipo y factores ambientales. La distribución de fenotipos entre individuos está afectada por su estructura genética de la población y del ambiente. Interpretar las fuentes de una variación fenotípica en una población es importante para definir cómo los genes y el ambiente interactúan para influir en sus características (Zerón, 2011).

Con respecto a la IGA se puede describir como las diferencias en el comportamiento de los genotipos cuando se presentan en distintos espacios. En otras palabras, es la incapacidad de un genotipo para reaccionar de la misma manera cuando se cultiva en diferentes medios. Esta interacción disminuye la asociación entre los valores genotípicos y fenotípicos, lo que obliga a los mejoradores de plantas a tener en cuenta la estabilidad o adaptabilidad de los materiales (Vallejo & Estrada, 2002).

2.2.4. Estabilidad y Adaptación.

Definición:

La adaptabilidad general (adaptación amplia o estabilidad fenotípica amplia): Es la habilidad de ciertos genotipos para rendir perfectamente en un amplio rango de ambientes y

estabilidad específica (adaptación específica o adaptabilidad) es la capacidad de rendir de manera mejorada en algunos ambientes específicos y seleccionados (Finlay & Wilkinson, 1963).

La estabilidad definida como una conducta consistente y probable en una campaña específica y lugar determinado, se refiere a la posibilidad de tener excelentes rendimientos en un mismo territorio. La adaptabilidad es un comportamiento en forma consistente dando buenos rendimientos, en diversas localidades, resaltando la capacidad de los genotipos, aprovechando las ventajas de su entorno (Marquez et al., 2020).

Las expresiones de adaptación, estabilidad fenotípica y rendimiento estable son usadas de diversas formas, en cada caso y en otros como sinónimos (Cubero & Flores, 2003).

Los especialistas buscan genotipos de alto rendimiento en diversos ambientes. Esto se relaciona con la necesidad de encontrar genotipos que sean tanto estables como adaptables. Destacando la importancia de equilibrar el rendimiento sólido y la adaptabilidad en el proceso de selección genética de cultivos. La estabilidad se refiere a la capacidad de un genotipo para mantener un comportamiento estable, ya sea con alto o bajo rendimiento, a través de diferentes medios. Sin embargo, la adaptabilidad se relaciona con la capacidad de un prototipo de tener un buen rendimiento en diferentes hábitats (Ponce et al., 2022).

Por otro lado, entender la dimensión de la Interacción Genotipo x Ambiente permite examinar la estabilidad de los genotipos en una serie de escenarios en que se desea establecer, así como seleccionar los mejores especies en lugares específicos en diferentes localidades. (Márquez et al., 2020).

Hay dos formas de explicar la estabilidad de un cultivar:

- i. Constancia o invariabilidad en sistemas biológicos: que se dice cuando un genotipo conserva comportamientos invariable en diversos lugares, es decir, los cultivos son

similares en diferentes ambientes. Las variedades que tienen una alta producción en todos los ambientes son las más buscadas por los agricultores (Cubero & Flores, 2003)

- ii. Constancia o variabilidad agraria, se define como la capacidad de los genotipos aprovechar las condiciones favorables cada ambiente evaluado. Además, se considera que un genotipo tiene estabilidad agronómica si demuestra que la producción ha sido bastante satisfactoria al evaluar el potencial del ambiente (Vallejo & Estrada, 2002).

En efecto, la adaptabilidad se refiere a la capacidad del genotipo para producir rendimientos sólidos de manera constante en diversos lugares, mientras que la estabilidad fenotípica se entiende como la propiedad del genotipo para mantener un rendimiento alto de manera continua en un mismo sitio (Arce et al., 2021).

Además, para seleccionar elemento genético de buen rendimiento, es necesario evaluar la producción de una campaña a otra, conociendo la perspectiva que el material genético pueden tener en el comportamiento de adaptabilidad para ser incluidos o eliminados por el bajo aporte genético que pueden dar al realizar las investigaciones (Martínez et al., 2011)

Pues bien, el entorno (A), el gen de un organismo (G) y la interacción de estos ($G \times A$) son los autores de las variaciones de los aspectos cualitativos del fruto, como la coloración, la textura, la naturaleza química, así como atributos cuantitativos asociados a la producción (Branković et al., 2018)

No obstante, la productividad al igual que la adaptación depende de varias factores de la planta. Además, los componentes que afectan a la adaptación y rendimiento son la fertilidad del suelo, la sequía, la resistencia y tolerancia a bajas y altas temperaturas, (Poehlman, 1992). Así mismo el cambio climático también afecta a la producción de cultivos agrícolas nuevos (Caicedo, Puyol, Lopez, & Ibañez, 2020).

Entonces, la adaptabilidad se refiere a cómo un genotipo se comporta cuando se siembra en diferentes entornos, además el término de adaptabilidad amplia, se menciona a cómo los genotipos intervienen en una amplia variedad de ambientes, y adaptabilidad específica, que se refiere a cómo los genotipos actúan en un conjunto reducido de ambientes (Vallejo, 2018).

Pues bien, la adaptabilidad la capacidad hereditaria que tienen los individuos para sobrevivir y prosperar en entornos cambiantes. Esta característica es esencial para la supervivencia y evolución de las especies a través del tiempo. Esto implica cambios en la estructura, fisiología y comportamiento de las especies. Es decir, es una característica fundamental de la vida que permite a los organismos enfrentar y prosperar en un ambiente en constante cambio (Marquez, 1991).

Por otra parte, la estabilidad se refiere a la habilidad genética de conservar una producción constante en diversos entornos (Brac & Zuil, 2018). También, la estabilidad se refiere a la capacidad de los genotipos para manifestarse de manera consistente, y generalmente se mide en términos de rendimiento (superior o inferior). Por otro lado, la adaptación específica es la capacidad de un genotipo para destacar en espacios definidos (Lagos & Benavides, 2015).

2.2.5. Análisis de estabilidad fenotípica.

Se puede identificar dos enfoques notables para comprender la estabilidad fenotípica: i) el enfoque biológico y ii) el enfoque agronómico. También la estabilidad fenotípica de tipo estático se da cuando un genotipo conserva su desempeño sin importar los cambios en el entorno, conocida también como estabilidad biológica. Por otro lado, un genotipo presenta estabilidad dinámica cuando su desempeño se altera con las variaciones ambientales de forma anticipable, lo cual se llama estabilidad agronómica (Becker, 1981).

Como se observa, noción de estabilidad posee otras conclusiones y ha sido respaldado por distintos conocimientos biométricos para su evaluación (Kang, 1997; Cubero & Flores, 2003). Disertaciones sobre la estabilidad se han llevado a cabo en varios cultivos, como cebada (*Hordeum vulgare L.*) (Jalata, 2011), maíz (*Zea mays L.*) (Alejos et al., 2006), yuca (Egesi et al., 2007), haba y vicia (Stelling et al., 1994) y trigo (Syed et al., 2007), entre otros (Syed, 2007).

Una IGA (Interacción Genotipo-Ambiente) significativa puede ser: 1) del prototipo sin cruce, cuando el orden de clasificación de los genes a través de los diferentes ambientes se mantiene, con cambios únicamente en la magnitud de la expresión del carácter evaluado; 2) del prototipo cruzado, cuando la clasificación de los genes se altera según el ambiente. La interacción de cruce se observa más relevante que la interacción sin cruce (Baker, 1990; Borém et al., 2008). En la selección de especímenes para varios entornos, los fitomejoradores buscan el tipo de interacción sin cruce, es decir, genotipos con adaptación general, y el tipo de interacción con cruce para adaptación específica (Baker, 1990).

Los genotipos de estabilidad estática mantienen una productividad continua, libremente de las variaciones de los entornos, lo que supone que la varianza entre los entornos es cero. Este prototipo de estabilidad escasamente es una característica deseada en los cultivares, ya que no se espera ninguna respuesta ante situaciones de cultivo mejoradas (Becker & León, 1988). El estudio convencional de la interacción genotipo por ambiente ($G \times E$) se emplea para evaluar la uniformidad del desempeño de una variedad en diferentes campañas o entornos de prueba. Esta interacción, considerada en términos de efectos principales y secundarios, se obtiene al aplicar la descomposición en valores singulares a los datos de rendimiento ajustados al ambiente, lo que permite analizar la variación del rendimiento atribuible a GGE (Okoye, 2008)

La estabilidad dinámica (también conocida como estabilidad agronómica) implica que un genotipo se reconoce como estable si siempre tiene un rendimiento alto en el nivel de producción de los diferentes medios y con una IGA lo más mínima viable (Becker, 1981; Cubero & Flores, 2003). En el caso de aspectos cuantitativos, y meramente el rendimiento, la mayoría de los genotipos responden de manera variable según las condiciones ambientales propicios o perjudiciales (Becker & León, 1988; Cubero & Flores, 2003).

La valoración de la constancia en el comportamiento de los genotipos debe llevarse a cabo en múltiples entornos cuando se observa una IGA significativa. En campaña tras campaña, se ha descrito y definido la estabilidad de diferentes formas (Lin, et al., 1986; Cubero & Flores, 2003). Además, los vocablos adaptación, estabilidad fenotípica y rendimiento estable se emplean de forma cambiante (Becker & León, 1988; Cubero & Flores, 2003).

La estabilidad de una característica en un genotipo específico se refiere a su habilidad para mantener una variación mínima en distintas condiciones. Por lo tanto, los genotipos ideales presentarán una baja IGA para los caracteres agrícolas sustanciales, especialmente la producción de grano, aunque no precisamente para otros caracteres (Becker & León, 1988). La estabilidad fenotípica de un rasgo como el rendimiento, se refiere a su consistencia a pesar de las variaciones ambientales. Así como, un genotipo con alta estabilidad fenotípica mostrará mínimas fluctuaciones en su rendimiento bajo distintas situaciones ambientales, manteniendo un desempeño predecible y seguro (Finlay & Wilkinson, 1963).

Todos los métodos de estabilidad que se cimientan en la medición de los impactos de IGA se clasifican dentro del conocimiento de estabilidad dinámica o agronómica (Becker & León, 1988; Cubero & Flores, 2003). Se han sugerido diversas técnicas para evaluar la estabilidad fenotípica o examinar la IGA en el campo agronómico, tales como: i) los

enfoques univariantes paramétricos, ii) los técnicas univariantes no paramétricos, y iii) las estrategias multivariantes (Cubero & Flores, 2003)

Los métodos estadísticos empleados para determinar genotipos estables se dividen en dos categorías: paramétricos y no paramétricos. Los métodos paramétrico que son más predominantes, consiste en correlacionar las manifestaciones genotípicas, especialmente en cuanto al rendimiento con un conjunto de situaciones ambientales y son firmes con datos continuos. Por otro lado, los procesos no paramétrico definen entornos y rasgos visibles apoyándose en componentes biológicos y factores inertes, siendo apropiados para datos no continuos (Cubero & Flores, 2003)

Asimismo, los estudios no paramétricos pueden transformar datos complejos en indicadores comprensibles de estabilidad. No obstante, es habitual que los programas de mejoramiento genéticos incorporen aspectos de ambos métodos. (Romagosa y Fox 1993, Cubero y Flores 2003, Becker y León 1988).

Se ubican ocho estadísticos de estabilidad: i) La fluctuación de un genotipo en diferentes entornos: se refiere a la IGA (S_1^2); ii) el coeficiente de variabilidad (CV); iii) la media de las varianzas de Plaisted y Peterson (\ddot{o}); iv) la varianza de la interacción GxA de Plaisted (θ); v) La ecovalencia de Wricke (W_i); vi) La varianza de la estabilidad de Shukla (σ_i^2); vii) El coeficiente de regresión de Finlay y Wilkinson (b_i); y viii) la varianza residual de la desviación de la regresión de Eberhart y Russell (S_d^2) (Wricke, 1962; Finlay & Wilkinson, 1963; Eberhart & Russell, 1966; Shukla, 1972; Lin, et al., 1986; Cubero & Flores, 2003). El análisis de regresión es el método más utilizado por los fitomejoradores en el estudio de la IGA, dentro de estos, el de Eberhart y Russell, recordando siempre que sus resultados dependen en gran medida del grado de linealidad y de la independencia existente entre el índice ambiental y el valor de los genotipos ensayados (Cubero & Flores, 2003).

Entre las técnicas univariantes no paramétricas para apreciar la estabilidad fenotípica se hallan: i) Las técnicas Ketata y colaboradores; ii) Técnicas de Kang; iii) el método estrella por fácil y rápida (Cubero & Flores, 2003).

De manera que las metodologías univariantes para evaluar la estabilidad son simples cálculos. Para los especialistas, los estadísticos de estabilidad obtenidos por regresión lineal son matemáticamente simples y biológicamente interpretables. Sin embargo, este método tiene importantes limitaciones, que se resumen en tres aspectos: i) no facilita la comunicación cuando falta linealidad; ii) depende en gran medida del grupo de genotipos y ambientes incluidos en el ensayo; y iii) tiende a simplificar en exceso los diversos patrones de respuesta para explicar la IGA en una sola dimensión (coeficiente de regresión), a pesar de que esta puede ser muy compleja. Por tanto, resulta arriesgado renunciar a información relevante con el fin de facilitar la interpretación biológica y estadística (Cubero & Flores, 2003).

También las medidas de regresión lineal son el factor de regresión (b_i) y el cuadrado medio residual de las desviaciones de la regresión (S_1^2). Los ejemplares con un coeficiente de regresión cercano a 1 y una alta productividad están bien ajustados a una amplia variedad de condiciones. Por otro lado, (S_1^2) refleja la aportación del i -ésimo genotipo a la IGA (Eberhart & Russell, 1966; Cubero & Flores, 2003).

De manera que para estudiar la estabilidad y averiguar la estructura interna de la IGA usando métodos multivariantes, se emplean dos perspectivas: a) De ordenación, como estudio de componentes principales, estudio de coordenadas principales y estudio factorial; b) De clasificación, como estudio de grupos y estudio discriminante (Cubero & Flores, 2003).

De ahí que el método multivariante más utilizado es el análisis de componentes principales (ACP), el cual es el más antiguo, y en ciertas circunstancias, muchos expertos lo

ven como un modelo equivalente al de la regresión lineal (Cubero & Flores, 2003). De manera que calcular los coeficientes de regresión por mínimos cuadrados es similar a extraer del primer componente principal en el estudio del comportamiento genotípico (Gonzales et al., 2010).

Como se observa, se han empleado numerosos procedimientos estadísticos, tanto univariantes como multivariantes, para el análisis de la IGA (Crossa et al., 1990; Flores et al., 1998; Cubero & Flores, 2003).

Dentro de los métodos multivariantes para estudiar la IGA, que emplean la técnica de análisis de componentes principales, surge el denominado modelo AMMI "Additive Main effect and Multiplicative Interaction" - "Efectos Principales Aditivos e Interacción Multiplicativa" (Mandel, 1971). El AMMI examina primeramente los efectos aditivos importantes de prototipos y entornos con un estudio de la varianza (ANOVA) y representa la posición no aditiva del cambio, es decir, la IGA, a través de un análisis de componentes principales (Crossa, et al., 1990; Gauch & Zobel, 1996).

Por otra parte, el modelo AMMI ha encontrado una amplia aplicación en una variedad de cultivos, como cereales, oleaginosas, solanáceas, y forrajeras, entre otros. Este modelo ha demostrado su eficiencia superior en comparación con otras técnicas de análisis más tradicionales, especialmente cuando se requiere un entendimiento detallado de las características de la IGA (Zobel et al., 1988; Cubero & Flores, 2003).

Tras encontrar la interacción entre genotipos por años, se realizó un análisis de la estabilidad genotípica utilizando representaciones gráficas conjuntas en una dimensión reducida de los residuos de interacción de segundo orden correspondientes al análisis de varianza (Cotes et al., 2000)

De hecho, el análisis gráfico de AMMI (el método multivariado más utilizado es el método de Efectos Aditivos Principales e Interacciones Multiplicativas) proporciona la obtención de conclusiones sobre la estabilidad, la conducta del genotipo, la desigualdad genética entre cultivos y los hábitat con una producción adecuada. El SREG complementa la estratificación ambiental de AMMI, creando mega-ambientes e identificando genotipos con una producción excepcional en cada grupo. En ambos modelos, el rendimiento es la variable clave, ya que es la más afectada por la interacción GE debido a que es una característica cuantitativa poligénica (Ponce et al., 2022).

La efectividad del modelo AMMI ha demostrado su eficacia en el análisis de ensayos multiambientales, capturando una gran parte de la suma de cuadrados de la IGA, y diferenciando claramente los efectos principales de aquellos asociados a la interacción (Gauch, 1992; Cubero & Flores, 2003). Aunque la mayoría de los estudios con AMMI se han enfocado en el rendimiento de grano, un rasgo cuantitativo en varios cultivos, pocos han evaluado otros caracteres (Ebdon & Gauch, 2002; Cubero & Flores, 2003).

A pesar de que el análisis AMMI se centra solo en datos de rendimiento, se ha encontrado que ciertos factores ambientales, como la precipitación, la temperatura media, la altitud, la latitud y la fertilización nitrogenada, a menudo muestran correlaciones con los estadísticos de interacción del modelo (Gauch, 1992; Romagosa & Fox, 1993; Romagosa et al., 1996; Gauch & Zobel, 1996; Romagosa et al., 2009).

Un efecto significativo de los pruebas multifocales es la innovación de una tabla de doble entrada que muestra la productividad apreciados de cada prototipo en diversos ambientes. Estos datos de la tabla sirven como plataforma para el experimento de la correlación entre la composición genética y el contexto. El método más común y natural para construir estas tablas GxA es la media entre repeticiones para cada genotipo en cada entorno (Cubero & Flores, 2003).

En el modelo AMMI, tanto "genotipos" como "ambientes" se consideran factores fijos (Piepho, 1994; Cubero & Flores, 2003). Cuando el número de genotipos es lo suficientemente grande, se debe considerar como factor aleatorio, pero si el factor "genotipo" es aleatorio, la IGA también lo será (Stroup & Muiltze, 1991; Cubero & Flores, 2003). Lo más común es observar los efectos ambientales como aleatorios y los efectos genotípicos como fijos, por lo que se recomiendan los modelos mixtos (Cubero & Flores, 2003). La mayoría de los modelos estadísticos para el estudio de la IGA pueden expresarse a través de modelos lineales mixtos, donde "ambientes" se considera un factor aleatorio y "genotipos" como fijo (Piepho, 1999; Cubero & Flores, 2003; Borém et al., 2008).

En efecto el modelo SREG es una técnica multivariante adicional, similar al AMMI, que integra un análisis de varianza con un análisis de componentes principales. Aunque sus resultados son más difíciles de interpretar que los del AMMI, pero expertos en biometría han verificado que ofrece una comprensión más detallada de la IGA que el ofrecido por el modelo AMMI (Yan et al., 2000; Yan & Kang, 2003; Yan & Tinker, 2006; Yan et al., 2007).

Además, la ecuación que descompone a los datos centrados en el entorno se denominan modelos de regresión de sitios o SREG (Cornelius, Crossa & Seyedsadr, 1996; Crossa & Cornelius, 2002; Yan & Tinker, 2006). Son exposiciones lineales – bilineales que remueven el efecto de sitio y sólo manifiestan a la representación de $G + GA$. Son recomendables si las localidades influyen en la variación más interesante entre variedades y la interacción $G \times A$ sobre la variabilidad total (Balzarini et al., 2005; Alwala et al., 2015; Lozano et al., 2015).

También el "GGA biplot" del modelo SREG una representación gráfica de los datos de ensayos realizados en diversos entornos (donde un entorno puede ser un año, una localidad, o una combinación de año y localidad, entre otros). Las letras "GGA" representan la combinación del efecto principal de los genotipos (G) y el efecto multiplicativo de la

interacción GxA (GA), que son las dos principales fuentes de variación en la evaluación del rendimiento de genotipos en diversos entornos (Yan et al., 2000; Yan & Tinker, 2006).

Un biplot es una representación gráfica que muestra a la vez genotipos y ambientes (o, en términos generales, filas y columnas de los factores) (Gabriel, 1971; Yan, 2001; Yan & Kang, 2003). Se hace trazando los dos primeros componentes principales (CP1 y CP2, también conocidos como efectos primarios y secundarios) derivados de la descomposición en valores singulares (SVD) de los datos centrados en el ambiente. El biplot que resulta de los componentes principales de AMMI se conoce como GGA biplot (Yan & Kang, 2003).

La metodología de "GGA biplot" para el análisis gráfico de los datos en ensayos multientorno fue desarrollada por Yan y otros investigadores (Yan et al., 2000). Por lo general, en los análisis de ensayos multientorno, el componente ambiental (E) representa el 80 % de la variación, mientras que los componentes genotípicos (G) y la interacción genotipo-ambiente (GA) representan cada uno el 10 % (Yan & Kang, 2003). Por tanto, al evaluar cultivares, solo los efectos de los genotipos y de la interacción son relevantes (Gauch & Zobel, 1996; Yan et al., 2000; Yan & Kang, 2003), razón por la cual se propuso el término GGA (Yan et al., 2000).

Por consiguiente, el gráfico bidimensional ("GGA biplot") del modelo de regresión de sitios (SREG) utiliza el efecto principal de los genotipos (G) junto con la interacción genotipo-ambiente (GA) en el análisis de ensayos multientorno, y se construye a partir de los dos primeros componentes principales (CP1 y CP2) adquiridos de un análisis de componentes principales con los datos centrados en las medias ambientales. El término "GGA biplot" nace de la representación conjunta en el biplot del efecto principal genotípico (G) y el efecto de la interacción GxA, que son las dos fuentes de variación más importantes en la evaluación del rendimiento de genotipos en distintos ambientes (Gauch & Zobel, 1997; Yan et al., 2000; Cubero & Flores, 2003; Yan & Tinker, 2006).

De ahí que el "GGA biplot" se construye trazando los dos primeros componentes (CP1 y CP2) derivados de la descomposición singular (SVD) de la matriz de datos centrada en el entorno. Desde su introducción por Yan et al (2000), este método ha recibido numerosos elogios por parte de reconocidos expertos en biometría (Crossa et al., 2002; Frutos, 2011).

De manera que el modelo "GGA biplot" de regresión de sitios (SREG) ilustra gráficamente el concepto "which-won-where" ("cuál-ganó-dónde"), lo que admite establecer qué cultivo tuvo éxito y en qué lugar (es decir, en qué localidad) (Yan et al., 2000; Yan & Tinker, 2006). Un biplot GGA proporciona: a) la identificación de megaambientes; b) la comparación del rendimiento de los genotipos en un mismo megaambiente; c) la identificación del genotipo con el mayor rendimiento en cada megaambiente; d) la evaluación del comportamiento de los genotipos en diferentes entornos; e) la comparación de dos genotipos en diversos entornos; y f) la identificación del rendimiento promedio y la estabilidad de los prototipos (Yan et al., 2007).

2.2.6. El Maíz Morado.

El maíz morado es un producto de origen peruano, que sobresale por su fruto formado por una mazorca (tusa y grano), está formado por un 85% de granos y un 15% de coronta (tusa y grano). Las dos poseen antocianinas, encontrándose mayor proporción en las corontas que en los granos usándose, estas, en refrescos, mermeladas, postres, etc) (Guillen et al., 2014).

El maíz morado, originario de Perú y México, es una planta que ha sido cultivada y estudiada extensamente por las poblaciones locales. Se utiliza en los Andes de Perú, Ecuador y Argentina, donde ha adquirido gran importancia cultural y agrícola. (Rabanal & Medina, 2021).

Se conceptualiza al maíz morado, como el cereal de tipo amiláceo que tiene colorantes de antocianina repartidos en la planta; se identifica por presentar mazorcas con coronta o

marlo fuertemente teñidos de morado tanto en la parte externa como en el interior y sus granos tienen la cascara de color violeta. Las antocianinas son un conjunto de colorantes de coloración rojizo, hidrosolubles, considerablemente repartidos en el mundo botánico (Flores et al., 2018)

Es evidente que el maíz morado es la única herbácea en el universo que tiene los granos, brácteas (panca) y la coronta (tusa) de coloración morado a negro debido a las antocianinas que contiene, de ahí que la antocianina es un colorante que comprende diferentes propiedades funcionales para la salud humana, su utilización en la alimentación, industria e industria farmacéutica, siendo importante por su amplitud en su uso, es extraordinario el alto contenido de antocianina a nivel mundial, la más alta entre todos los productos; sin embargo, son estas propiedades las que vienen fomentando su consumo en el mercado nacional e internacional. (Guillen et al., 2014).

En resumen, en Cajamarca y zonas de influencia el rendimiento promedio de maíz morado es de 1.5 t./ha. en grano seco al 14 % de humedad (Medina, Narro, & Chávez, 2020).

2.2.7. Composición Nutricional del Maíz Morado.

La Tabla 1 se visualiza composición nutricional del maíz morado.

Tabla 1.

Composición nutricional del maíz morado en grano y coronta en 100g

Componentes	Maíz morado
Antocianinas	1.5 – 6 %
Almidón	80%
Azúcar	10%
proteínas	11%
Minerales	2%
Vitaminas (complejo B, ácido ascórbico)	2.1 mg

Fuente Guillen et al (2014).

El maíz morado posee grasa, hierro y fibra, nutricionalmente es bajo en proteínas. Las proteínas del maíz están constituidas por zeína, este es bajo en aminoácidos básicos,

especialmente en lisina y triptófano, pero favorecen con energía debido a una gran cantidad de hidrato de carbono complejos, además, contiene vitamina A y B, potasio, magnesio y fibras (Guillen et al., 2014).

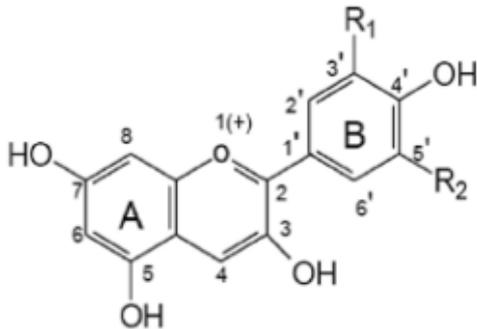


Figura 1. Estructura básica de la antocianina

Nota. Tomada de Salvador, 2006.

2.2.8. Propiedades alimenticias del maíz morado.

El maíz morado contiene antocianinas (1,81 ppm), polifenoles (57.82 mg/100g) y taninos (82.7 mg/g) (Alvarado et al., 2013), siendo la cianidina-3- β -glucósido el tinte de mayor cantidad. Es por esta razón que el maíz morado es importante en la producción de alimentos, que conlleva a usarlo como insumo para la elaboración de artículos con características adicionales (Guillen et al., 2014).

2.2.9. Componentes benéficos del Maíz Morado.

El maíz morado contiene una variedad de compuestos químicos, que incluyen ácido salicílico, grasas, resinas, saponinas, sales de potasio y sodio, azufre y fósforo. Además, también tiene componentes fenólicos (Lon & Hernandez, 2024).

Los componentes fenólicos presentes en el maíz morado tienen propiedades antioxidantes, lo que significa que pueden capturar especies reactivas de oxígeno e inhibir las enzimas que producen radicales libres (Lon & Hernandez, 2024).

También, los compuestos fenólicos, principalmente antocianinas, que son favorables para la salud humana, logran ayudar a reducir la obesidad y la inflamación. También, pueden prevenir complicaciones relacionados con la arterosclerosis, las enfermedades cardiovasculares y el envejecimiento celular. Además, poseen propiedades antimicrobianas. (Ccaccya et al., 2019) y es beneficioso por sus propiedades antiinflamatorias. Este compuesto ayuda en la obtención de colágeno y elastina, regula los niveles de colesterol en la sangre y sintetiza los lípidos y grasas, lo que es provechoso para las individuos con diabetes. Además, tiene propiedades preventivas contra el cáncer en varias partes del cuerpo como el esófago, colon, pulmón, próstata y piel. También actúa como un antimutágeno (Khoo et al., 2017).

2.2.10. Antocianina.

Las antocianinas son colorantes naturales solubles en el agua del grupo de los flavonoides - glucósidos de las antocianidinas- que se hallan en los organelos celulares (vacuolas) de las células vegetales, dando color rojo, púrpura o azul a las hojas, flores y frutos de arándanos, cerezas, frambuesas, col morada, berenjena y maíz (Lon & Hernandez, 2024)

Además, las antocianinas son de la agrupación de los flavonoides y son glucósidos de las antocianidinas, es decir, están formadas por una molécula de antocianidina, que es la aglicona, a la que está vinculada a un azúcar a través de una unión β -glucosídico. La estructura primordial tiene un núcleo de flavona que constituye de dos anillos aromáticos: un benzopirilio (A) y un grupo fenólico (B), ambos formados por una unidad de tres carbonos, tal como se ve en la Figura1 (Guillen et al., 2014).

De modo que la utilidad de la antocianina ha aumentado gracias a sus bondades para la salud como nutracéutico y su aplicación como colorante natural en diversos artículos industriales. Se ha identificado que existen más de 300 antocianinas diferentes en la naturaleza, cada una con una estructura molecular única que le confiere propiedades fisicoquímicas específicas (Lon & Hernandez, 2024).

2.2.11. Coronta del Maíz Morado.

La Panoja, donde se desarrollan los granos de maíz muy unidos, se encuentran en una columna. En la tusa se encuentran un mayor porcentaje de antocianinas que en la cáscara del grano del maíz morado (MINAGRI, 2019)

Los tintes de color morado, conocidos como antocianinas, se acumulan y estabilizan en la tusa o coronta y en la panca o bráctea; esto indica que las mazorcas están listas para ser cosechadas cuando los granos tienen alrededor del 30 % de humedad (Medina, 2022).

2.2.12. Propiedades medicinales.

Las antocianinas son un tipo de flavonoides, con una distribución particular de C6-C3-C6, y son del grupo de los polifenoles. Su organización elemental pertenece a un grupo flavilio (2 – fenilbenzopirilio). Los tintes son responsables de los colores rosa, rojo azul, malva y violeta en flores, frutas y verduras, son productos polares, que le admite disolverse en etanol y agua. Los pigmentos son glicósidos que tienen en la posición 3 un azúcar unido mediante el enlace β -glicosídico que cuando se rompe forma la aglicona, conocida como antocianidina, siendo las más comunes: pelargonidina, cianidina, delphinidina, peonidina, malvidina y petunidina (Cuevas et al., 2008).

Pues bien, el maíz morado es un alimento sustancioso y favorable para la salud. Así mismo contiene un aproximado de 80 % de almidón, 10% de azúcares, proporcionando un sabor agradable, un 11% de proteínas, un 2% de minerales y componentes vitamínicos

(complejo B y ácido ascórbico) reunidos en el tejido nutritivo del grano de maíz. Además de la proporción nutricional, el maíz morado tiene una constitución valiosa en fitonutrientes, que tienen efectos protectores para nuestro organismo, tales como contrarrestar los radicales libres y portarse como protector genético (Guillen et al., 2014).

Por ello, la prevalencia de enfermedades tales como la diabetes, el colesterol, desnutrición y otros, la búsqueda de productos ecológicos y cultivos orgánicos beneficiosos para la salud, conocidos como sustancias fitoquímica. Esto ha facilitado el desarrollo de la nutraceutica y alimentos funcionales (Drago et al., 2006).

No obstante, los extractos que contienen una buena concentración antocianinas pueden potenciar la nitidez visual, presentar propiedades antioxidantes, coger radicales libres y funcionar como agentes protectores contra el daño químico. Las antocianinas regulan los lípidos, la liberación de insulina y efectos protectores de los vasos sanguíneos (Aguilera et al., 2011).

De hecho, las antocianinas reducen el riesgo de desarrollar cierto tipo de cáncer, tales como del colon y recto; su alto poder antioxidante retarda el proceso del envejecimiento celular; disminuye los riesgos de ataque al corazón; disminuye los niveles de colesterol malo (LDL) (Requis, 2012).

Existen otros cultivos que tienen pigmentos tales como la soya negra (*Glycine max* L.), papa morada (*Solanum tuberosum* L.), uva (*Vitis vinífera* L.), zarzamora (*Rubus ulmifolius* L.), col morada (*Brassica oleracea* var. capitata f. rubra), arándano (*Vaccinium myrtillus* L.), también como el maíz de grano de color azul, rojo, morado o negro, que puede ser una de las fuentes ideales, ya que sintetiza al pigmento en la cariósida (Mendoza et al., 2017).

2.2.13. Propiedades antioxidantes.

Los antioxidantes son sustancias que actúan como agentes reductores y pueden retardar o prevenir la oxidación de otras moléculas al entregar electrones. Esto puede neutralizar los radicales libres potencialmente dañinos dentro del cuerpo. Los antioxidantes son importantes para conservar la salud y evitar enfermedades. Los antioxidantes pueden ser elaborado por el cuerpo o ingeridos a través de la alimentación (Ccaccya, 2019).

Además, es fundamental mencionar que la antocianina es bastante usada en varias industrias por su alto poder antioxidativo en el ser humano, esto se debe a que pueden inhibir a los radicales libres que malogran a las biomoléculas importantes como lípidos o proteína oxidadas (Medina & Rabanal, 2021).

Pero, los radicales libres (RL) son sustancias químicas que poseen electrones únicos en su última capa de valencia, en los sistemas biológicos son muy reactivos capaces de formar otros RL en cadena e inestables con tiempo de vida muy corto (Ccaccya, 2019).

2.2.14. Maíz Morado como alimento funcional.

Son compuestos que ofrecen beneficios para la salud humana más allá de la nutrición básica. Los alimentos funcionales la salud, retrasar el envejecimiento, y prevenir o disminuir el riesgo de ciertas enfermedades. (Ccaccya, 2019).

No obstante, existe una gran demanda de consumo de alimentos funcionales que además de aportar nutrientes ayudan en la prevención de diversas enfermedades degenerativas como cáncer, diabetes, obesidad, hipertensión arteria (Guillen et al., 2014)

Pero, el maíz morado tiene característica antioxidante, anticancerígena, antiinflamatoria y anti neurodegenerativa. Las antocianinas poseen propiedad antioxidante, pues estas compuestos desempeñan su acción sobre los radicales libres, inhibiendo o retardando su acción. La concentración de los células dañinas en el cuerpo humano, forman el denominado desequilibrio celular, produciendo afecciones persistentes y degradantes.

Además, el extracto de maíz morado también, ayuda a prevenir enfermedades cardiovasculares, reduce la obesidad y previene o controla la diabetes (Flores et al., 2018). Son alimentos que además de producir nutrientes producen bienestar a la salud (Drago et al., 2006).

Pues bien, cabe resaltar, que la antocianina es muy usada en varias industrias por su alto poder antioxidante en la salud humana, es decir, pueden inhibir a los radicales libres que dañan a las biomoléculas importantes como lípidos o proteínas oxidadas (Castañeda & Guerrero, 2015).

2.2.15. Variedades de Maíz Morado en el Perú.

INIA 601 . Acondicionado a la serranía de la parte norte del Perú, en las regiones de Cajamarca, La Libertad y Piura, cuyas alturas fluctúan entre 2 490 a 3 175 m (Pedraza et al, 2017).

Canteño Se siembra en las alturas del valle del río Chillón en la Región de Lima entre los 1 800 a 2 500 m (Manrique, 1997)

Variedad Experimental Morado Mejorado Es una variedad elaborada procedente del INIA-601, este cultivar se comienza a seleccionar por la EEA Baños del Inca del INIA, el quien usa una selección de progenies S1 (Medina et al, 2020).

2.2.16. Realidad del rendimiento de Maíz Morado.

Tabla 2.

Producción de maíz morado (t) por región campaña, años 2016 - 2020

	2016	2017	2018	2019	2020	% particip.2020	% Var. Prom. 2016-2020
Total	21473	23151	23221	23068	24581		2.70
Lima	9520	8570	7602	8164	7756	31.60	-4.00
Ayacucho	1455	2960	4910	3697	6012	24.50	32.80
Arequipa	1998	1826	1958	2270	2251	24.50	2.40
Ancash	3018	2482	2539	2590	1746	9.20	-10.40
Huánuco	1703	1892	2016	1961	1963	7.10	2.90
Cajamarca	969	1471	1776	2104	1899	8.00	14.40
La Libertad	1595	1917	766	790	1556	7.70	-0.50
Ica	812	1157	842	542	865	6.30	1.30
Apurímac	164	689	539	737	305	3.50	13.20
Moquegua	213	153	194	154	121	1.20	-10.70
Huancavelica	26	34	65	40	48	0.50	13.20
Lambayeque	0	0	0	0	48	0.20	0
Junín	0	0	14	19	11	0	-7.70

Fuente: MINAGRI (2021).

En la Tabla 2, desde el año 2016 y 2020 el área obtenida de maíz morado lo encontramos en 13 regiones: Lima, Ayacucho, Arequipa, Ancash, Huánuco, Cajamarca, La Libertad, Ica, Apurímac, Moquegua, Huancavelica, Lambayeque, Junín (MINAGRI, 2021).

Tabla 3.*Principales destinos del maíz morado, 2022*

PAIS	U\$Millones
Estado Unidos	597
Japón	73
Singapore	71
Zonas Francas del Perú	51
Netherlans	18
Ecuador	10
Finland	9
korea, Republic OF	4
Chile	3
El Salvador	2

Fuente Medina (2022).

En la Tabla 3 se observa que Estados Unidos es el más importante comprador de maíz morado. Seguido por Japón (Medina, 2022).

Tabla 4.*Valor y volumen de las exportaciones del maíz morado*

Período	Precio FOB US\$	Cantidad Bruto kg	Importe promedio US\$/kg
2001	943524,36	453 861,97	2,08
2002	698490,51	284 995,24	2,45
2003	412031,23	314 434,93	1,31
2004	461749,93	354 392,37	1,30
2005	613804,43	346 325,95	1,77
2006	740226,12	402 264,65	1,84
2007	989260,42	500 611,81	1,98
2008	1276887,44	559 761,96	2,28
2009	1152994,40	491 638,31	2,35
2010	1233949,60	563 149,47	2,19
2011	1495189,21	565 665,64	2,64
2012	1484930,69	597 657,64	2,48
2013	2139281,23	740 437,80	2,89
2014	2177331,95	574 790,27	3,79
2015	1019575,62	359 742,69	2,83
2016	1197713,00	813 275,00	1,47
2017	1249206,00	869 653,00	1,44
2018	1190387,00	891 614,00	1,34

Fuente: SUNAT-ADUANET (2020) Importancia del maíz morado

Figura 2.

Evolución de las exportaciones del maíz morado en Perú, 2010-2018.



Fuente: SUNAT-ADUANET (2020) Importancia del maíz morado.

2.2.17. Control de plagas del maíz

Todo cultivo debe siempre ser observado para divisar la infestación de plagas en su estado inicial y no cuando ya este muy afectada (Medina, 2022,).

Durante el trabajo de la siembra del maíz es aplicar el manejo integrado de la plagas.

Se tiene que aceptar un porcentaje de perdida por ataque de insectos y enfermedades.

Utilizando las prácticas preventivas de cultivo, como la selección de variedades adecuadas y la eliminación de plantas enfermas, son esenciales. El control cultural incluye la preparación del suelo, rotación de cultivos, manejo de riegos y uso de cultivos trampa (Medina, 2022).

Gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* Smith

El ataque de esta plaga es desde que la vegetal está de 10 a 15 cm de alto deteriorándolo la planta hasta provocarle la muerte. Para prevenir este ataque lo mejor es mantener los campos de cultivo libre de malezas. Así mismo colocar trampas de luz y melaza para capturar los adultos. Aplicar productos vegetales como extracto de chocho, rocoto,

agave o baculovirus en el cogollo de las plantas. Si el ataque es muy fuerte es importante colocar insecticidas líquidos según especificaciones del casa comercial (Medina, 2022).

Gusano mazorquero *Helicoverpa zea* Boddie

Administrar tres gotas de aceite comestible (6 l/ha) en la porción superior de la mazorca cuando se ven posturas o larvas de la primera etapa en el 10% de plantas. Usar 2 l en la primera parte del tercio de floración, 2 l en la segunda parte del tercio de floración y 2 l en la última parte del tercio de floración (Pedraza et al., 2017). Además, la larva deteriora el consumo de los granos lechosos del inicio de la mazorca (estado pastoso), de acuerdo a como va madurando, emerge de la mazorca cuando ha desarrollado su ciclo larval. La acumulación de heces del insecto provoca la multiplicación de microbios que originan la pudrición de la mazorca sobretodo en lluvias, la que ingresa por el orificio que deja la larva, como *Euxesta* sp. y *Pagiocerus frontalis* Fabr. ó “gorgojo” (llamado erróneamente “polilla”), ocasionan severos daños al grano, que produce su pudrición (hongos de los géneros *Fusarium*, *Gibberella*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Physalospora*, *Nigrospora*) (Requis, 2012).

Asi mismo, el maiz morado podrido produce pérdidas en el rendimiento, puede afectar salud humana y de los productos animales que consumen de él, por la presencia de toxinas en los granos contaminados (del Rio & Melara., 1991).

El virus del rayado fino (Marafivirus)

Se transmite por el insecto Cicadellidae *Dalbulus maidis* (DeLong), la planta de maiz no prospera es decir no progresa, fenomeno que se conoce como achaparramiento, muestran marcas amarillas longitudinales visibles por ambos lados de las hojas. Eliminar la planta con presencia del virus, sacer las malezas y restos de anteriores cosechas, ya que estos son hosperos de estos vectores o plagas (Medina, 2022).

Gorgojos y polillas de almacén

Los gorgojos *Sitophilus oryzae* (L.), *Pagiocerus frontalis* Fabr y la polilla *Sitotroga cerealella* (Olivier) (Castillo, 2015). En forma tradicional aplicar cal y tierra, se mezcla con el grano, la que se adhiere a su cutícula y le produce serios daños, también se puede utilizar como repelente las hojas del eucalipto, que repela hasta en un 25%, se excluyen mediante la aplicación de Phostoxin utilizando 3 pastillas por tonelada de mazorcas y Gastión, 2 pastillas por tonelada de mazorcas (Varillas, 2012).

2.2.18. Control de enfermedades del maíz morado

El maíz morado presenta las siguientes enfermedades según su importancia:

Carbón del maíz *Ustilago maydis* DC. (Corda)

Cuando observamos vegetales con órganos afectados que tengan agallas con esporas negras, cortar y enterrarlas en hoyos profundos (Medina, 2022). La rotación de cultivos es una práctica para evitar la incidencia de esta enfermedad (Varillas, 2012). Esta afección no tiene repercusión económica, debido a esto no se realiza ningún control. El problema principal es la pudrición de la mazorca y el daño es por las condiciones ambientales (Pedraza et al., 2017).

Podredumbre de panojas

Estas son causadas por hongos (*Fusarium moniliforme* Sheld y *Diplodia maydis* (DeLong). Tener cuidado con los gusanos de la mazorca para limitar el ingreso de hongos y el empleo de especies tolerantes con buena cobertura de mazorcas son las mejores opciones de vigilancia (Varillas, 2012).

Achaparramiento (Puka poncho)

Las señales características del achaparramiento en el maíz incluyen reducciones de los entrenudos, ápice de coloración rojiza o lados del haz y envés, espigas estériles y la manifestación de distintas espigas con insuficiente o ninguna formación de granos. Sin

embargo, las características particulares son las rayas descoloridas que inician a partir del pie de la hoja, son líneas de color blanco en la extremidad de las hojas cercanas a la inserción con el tallo, que se alargan y avanzan hacia la parte central. Si observas estos síntomas, se recomienda realizar pruebas de laboratorio para confirmar la presencia de la enfermedad (Pedraza et al.,2017).

2.2.19. Manejo del Cultivo.

Fertilización:

Se aplica se aplica nitrógeno (N), fósforo y potasio, mejoran el rendimiento de pigmentos. Se enriquece también con aminorgan y guano de Isla (excremento de guano de aves marinas) (Medina et al., 2016).

Aminorgan es un abono biológico creado para mejorar los suelos. Está formulado con una mezcla concentrada de microorganismos de cultivo investigados, incluyen especies seleccionadas de algas, hongos, actinomicetos y bacterias, que se encuentran en un sustrato orgánico especialmente preparado. Su propósito es enriquecer la flora microbiana del suelo, que en muchos casos es insuficiente o inexistente, mediante su aplicación conjunta con otros abonos y fertilizante minerales. Este enfoque busca no solo restaurar la salud del suelo sino también incrementar su capacidad productiva (Lavado, 2016).

Cosecha:

Un bajo rendimiento e inferior calidad del producto pueden deberse a varios factores: i) Suelos pobres; ii) Densidad y uniformidad insuficientes de las plantas. iii) Control inadecuado de malezas; iv) Uso deficiente de fertilizantes y abonos; v) Uso de semillas de baja calidad; vi) uso de variedades de baja productividad; vii) Falta de control de plagas y enfermedades. Estas deficiencias pueden superarse con prácticas sencillas para bien de los agricultores, consumidores y medio ambiente (Medina, 2022)

Además, la cosecha de maíces debe ser oportuna cuando los granos tienen una humedad de 25 a 35%; no es recomendable menos de 15%, arriba o abajo de estos límites los granos se aplastan, es necesario cosecharlo en plena madurez fisiológica (que se detecta cuando el grano dejó el estado pastoso y puede ser penetrado con la uña con cierta facilidad y por la presencia de la capa negra). El periodo de recolección del maíz, a partir de este instante contribuirá con la reducción de la calidad del producto. Una vez finalizada la cosecha se selecciona las mazorcas según demanda del comprador. Las lluvias producen pudrición y daños a la especie (Medina et al., 2016).

Densidad de siembra:

Aproximadamente 50, 000 plantas/ha.

Rendimientos

El rendimiento nacional de maíz amiláceo es de 1.8 t ha^{-1} . Y el maíz morado es todavía desconocido, la oferta exportadora sigue siendo baja (Chavez et al., 2022). Pues no tiene registros nacionales sobre su producción, áreas de siembra, rendimiento y comercialización (Varillas, 2012).

Selección para venta

Retirar las panojas podridas para prevenir deterioro por ataque de hongos, las mazorcas deben tener buen grano y buena coloración de tusa, deben estar secas y ser trasladadas en sacos limpios (Cabrera, 2019)

Entonces, para una venta apropiada, se debe separar por tamaños en diferentes envases de acuerdo a su tamaño en granos pequeños, medianos y grandes, eliminando granos manchados, deteriorados y podridos (Medina, 2022).

Y, por la mayor cantidad de antocianinas especialmente en la tusa el maíz morado es máspreciado. Así mismo, en el mercado interno, la venta se realizan principalmente en

mazorcas. Este es apreciado por su rica concentración de antocianinas, especialmente en tusa. Se vende principalmente en mazorca seca. En la sierra norte se ha puesto en marcha un método de marketing especial con tusas y pancas secas y picadas (Medina, 2022). En chacra, el kilo de maíz morado en mazorca es en S/. 1.50 en el año 2021 (INEI, 2022).

2.3. Definición de términos

2.3.1. Fenotipo.

Fenotipo es la manifestación y confirmación de caracteres, que se puede apreciar por ejemplo tamaño y color de ojos. En las ciencias naturales se llama fenotipo a todo lo que observamos de un organismo en el entorno, como la forma física y constitución de un individuo (Zerón, 2010), en otras palabras, “es la configuración de un individuo con respecto a los rasgos heredados. Este puede ser morfológico o fisiológico” (Villego, 1978).

2.3.2. Genotipo.

“Es la constitución genética de un organismo, expresado en símbolos” (Villego, 1978, p. 567). Así mismo existen dos tipos de alelos, lo que da como resultado un genotipo homocigote y otro heterocigote. Los homocigotes son idénticos y los heterocigotes son diferentes (Asociación de Fondo de Investigadores y Editores, 2006).

2.3.3. Interacción genotipo por ambiente.

La interacción genotipo ambiente nos menciona las diferencias que se presentan entre los individuos ante los cambios en su entorno (Lynch & Walsh, 1998).

2.3.4. Adaptación.

Vásquez, (1990) afirma que la “Adaptabilidad será la sensibilidad, que se refiere a que una variable responde (es sensible) a los cambios ambientales “(p. 249). Así mismo se conceptualizó en forma más determinada, a la adaptabilidad amplia mencionando a esta como

la actuación de los genotipos en una gran variedad de contextos y adaptabilidad específica como el comportamiento de los genotipos en un conjunto pequeño de entornos (Laing, 1978).

2.3.5. Estabilidad.

La estabilidad se expresa como la capacidad de un genotipo para conservar un aspecto relativamente firme cuando se evalúa en diversos entornos. En otros términos, es la habilidad de resistir cambios significativos en las características bajo diferentes contextos (Heinrich et al., 1983, Cubero & Flores, 2003). Pero su capacidad de adaptación a los cambios ambientales es positiva (Eberhart & Russell, 1966).

Según Finlay & Wilkinson (1963), "la estabilidad de la variedad es la capacidad genética para mantener rendimientos elevados y estables en una variedad de entornos" (p. 14)

2.3.6. Antocianina.

La antocianina es un tinte hidrosoluble que lo encontramos en las vacuolas de las células vegetales. Es responsable de otorgar rojo, púrpura o azul a las flores, púrpura o azul a las hojas, flores y frutos (Khoo et al., 2017). Químicamente, las antocianinas corresponden al conjunto de los flavonoides y son glucosidos de las antocianidinas. Están constituidas por una molécula de antocianidina (la aglicona) unida a un azúcar mediante un enlace glucosídico. También su función es la protección contra la radiación ultravioleta (Bueno & Tolentino, 2022).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización de los campos experimentales

El presente trabajo de investigación ha sido conducido en terrenos de los productores de maíz morado, en las parcelas de Shaullo Chico, Namora y Cajabamba ubicadas en la Región Cajamarca. En Uchuy y Vista Florida en la Región La Libertad, durante la campaña agrícola Octubre 2017 – Marzo 2018.

Se ubicó en las parcelas en diferentes pisos altitudinales desde 2130 a 2 853 msnm las altitudes, longitudes y latitudes específicas se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5.

Georreferenciación de las cinco localidades del ensayo multiambientales

	Shaullo Chico	Namora	Uchuy	Vista Flor	Cajabamba
Distrito	Baños del Inca	Namora	Chugay	Pataz	Cajabamba
Provincia	Cajamarca	Cajamarca	Sánchez Carrión	Pataz	Cajabamba
Región	Cajamarca	Cajamarca	La Libertad	La Libertad	Cajamarca
Latitud Sur	7°10'24"S	7°12'06"S	7°39'27"S	7°34'57"S	7°37'0.01"S
Longitud oeste	78°26'33"O	78°19'29"O	77°49'11.63"O	60°22'45"O	78°3'0"O
Altitud (msnm)	2,789	2,743	2,853	2,142	2,634

Fuente: SENAMHI - Cajamarca (2024).

Tabla 6.

Características físico-químico de los suelos de los campos experimentales de cada localidad, 2017.

Productor	Localidad	Determinación						Recomendación		
		P	K	pH	M.O.	AL	N total	N	P	K
		(ppm)	(ppm)		(%)		(kg)			
Dionicio Escobal Aguilar	Shaullo-Baños del Inca	11.45	250	5.4	1.01	0.1	26-13-8	120-60-50		
Hugo Enriquez Guerra	Namora	25.75	280	6.8	2.02		26-13-8	120-60-50		
Agencia Agraria Cajabamba	Parubamba	10.90	300	6.4	1.65		27-13-7.5	125-60-45		
Elmer Caballero Campos	Uchuy	1.90	200	4.4	1		26- 14-9	120-65-55		
Justino Cerin Anticona	Vista Florida	3.34	320	6.8	2.32		27-14-7.5	145-65-45		

Fuente: Laboratorio de Suelos - EEA. Baños del Inca – INIA

3.2. Análisis físico – químico del suelo

El análisis físico – químico del suelo se realizó en el Laboratorio de suelos del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) Estación Experimental Agraria Baños del Inca obteniendo las características se muestran en la Tabla 6.

Antes de sembrar se recogió de cada campo experimental muestras de suelo, de acuerdo con las recomendaciones técnicas para el acopio de submuestras, que finalmente nos dio una muestra representativa de aproximadamente 500 gramos de suelo luego se llevó al Laboratorio de Análisis de suelo de la Estación Experimental Agraria Baños del Inca – INIA, los resultados del análisis se muestran en la Tabla 6.

Los resultados de cada una de las zonas se muestran a continuación:

Shaullo: Fósforo (P) medio, potasio (K) medio, pH (reacción) ligeramente ácido y materia orgánica (M.O) bajo.

Namora: Fósforo (P) alto, potasio (K) medio, pH (reacción) casi neutro y materia orgánica (M.O) bajo.

Parubamba Cajabamba: Fósforo (P) medio, Potasio (K) medio, pH (reacción) casi neutro y materia orgánica (M.O) bajo.

Uchuy: Fósforo (P) medio, potasio (K) medio, pH (reacción) muy ácido y materia orgánica (M.O) bajo.

Vista Florida: Fósforo (P) bajo, potasio (K) medio, pH (reacción) casi neutro y materia orgánica (M.O) bajo.

3.3. Condiciones climáticas durante el periodo de cultivo

Tabla 7.

Condiciones climáticas observadas durante la conducción del experimento 2017 – 2018 de la localidad Shaullo Chico Cajamarca.

Meses	Temperatura °C	Humedad relativa (%)	Precipitación (mm)
Octubre	15.7	63.20	58
Noviembre	15.4	168.10	66
Diciembre	14.9	99.00	65
Enero	15.2	126.40	66
Febrero	15.2	117.30	69
Marzo	14.7	73.30	65
Abril	14.7	50.10	66
Mayo	14.7	10.80	53
Junio	13.9	0.10	55
			563

Fuente: Estación Augusto Weberbauer - Cajamarca (SENAMHI, 2024).
Localización geográfica: latitud 7°10'2.98" S, longitud 78° 29'35.14"O,
Altitud 2673 msnm.

Tabla 8.

Condiciones climáticas observadas durante la conducción del experimento 2017 – 2018 localidad Cajabamba

Meses	Temperatura °C	Humedad relativa (%)	Precipitación (mm)
Noviembre	17.10	61	28.40
Diciembre	16.10	76	256.00
Enero	15.70	75	124.60
Febrero	16.20	75	141.20
Marzo	16.00	80	125.90
Abril	15.50	77	58.70
Mayo	15.60	76	52.80
Junio	15.10	63	2.10
Julio	15.50	60	2.10
			791.80

Fuente: Estación Cajabamba (SENAMHI, 2024), localización geográfica: latitud 7°37'17"S, longitud 78°02'24.48" O, altitud 2850

Tabla 9.

Condiciones climáticas observadas durante la conducción del experimento 2017 – 2018 localidad Namora

Meses	Temperatura °C	Humedad relativa (%)	Precipitación (mm)
Octubre	15.36	71	91.60
Noviembre	15.20	64	42.50
Diciembre	15.67	78	139.60
Enero	14.96	76	110.00
Febrero	15.22	78	140.00
Marzo	14.94	81	116.00
Abril	14.53	77	86.60
Mayo	13.80	79	94.70
Junio	12.77	69	7.60
			828.60

Fuente: Estación Namora (SENAMHI, 2024), localización geográfica: latitud 7°12'2.17" S, longitud 78° 19'40.16 " O, altitud 2, 760 msnm.

Tabla10.

Condiciones Climáticas observadas durante la conducción del experimento 2017- 2018 de las localidades Uchuy y Vista

Florida, Huamachuco.

Meses	Temperatura °C	Humedad relativa (%)	Precipitación (mm)
Octubre	13.79	67	90.30
Noviembre	13.49	62	39.20
Diciembre	13.28	76	201.70
Enero	12.66	74	138.80
Febrero	13.27	76	131.70
Marzo	13.34	79	162.10
Abril	12.83	76	98.00
Mayo	12.86	76	76.10
Junio	11.97	63	5.10
			943.00

Fuente: Estación Huamachuco (SENAMHI, 2024).

localización geográfica: latitud 7°49'8.17" S,
longitud 78° 02'24.48 " O, altitud 2, 850 msnm

3.4. Material experimental

Esta investigación ha sido realizada en los terrenos de los colaboradores, en parcelas de Cajamarca (Shaullo Chico, Namora y Cajabamba) y La Libertad (Uchuy y Vista Florida).

Las semillas han sido instaladas a diferente altitud 2 130 a 2 850 msnm Tabla 5.

3.4.1. Variedades.

Semilla: Se usó tres tipos de maíz morado: INIA 601, Morado Mejorado y Canteño.

INIA 601: Se siembra en zonas de altitudes medias, floración 90 – 105 días después de la siembra (Requis, 2012). Fue creada en 1990 por el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) de Perú en la Estación Experimental Baños del Inca y formada por 108 familias de la variedad «Morado de Caraz» y 148 progenies de la variedad específica «Negro de

Parubamba». Se ha analizado su adaptación en la sierra norte del Perú (Cajamarca, La Libertad y Piura) a altitudes entre 2490 y 3175 msnm (Medina et al., 2020).

Morado Mejorado (Variedad Experimental): Híbrido procedente de INIA 601 y que comienza a ser escogido por el INIA en la Estación Experimental de Baños del Inca mediante la elección de progenies S₁. Esta variedad se adapta para la parte sierra del Perú (Medina et al., 2020).

Canteño. Originario de la progenie Cuzco, con particularidades semejantes a la progenie Cuzco Morado. Es bastante precoz y se siembra en diversas zonas de la sierra peruana, especialmente en zonas elevadas del área del Chillón en la jurisdicción de Lima, que alcanzan una altitud de 2,500 msnm. Es la variedad que más se usa en el mercado de Lima, las condiciones son propicias para el buen desarrollo, es decir entre los 1800 a 2500 msnm (Manrique, 1997)

Semillas, la semilla de las 03 variedades indicadas en la Tabla 11 fueron proporcionadas por el Programa de Maíz – INIA de Baños del Inca, la cual fue obtenida en la campaña anterior.

3.4.2. Fertilizantes.

Urea : 46 % granulado.

Fosfato Diamónico (FDA) : P₂O₅ 18% N, 46% P

Cloruro de Potasio (KCl) : K₂O 60%

Aminorgán: Componente sólido y en polvo, empleado como enmienda biológica y orgánica, para la regeneración de suelos y con una amplia variedad y concentración de microorganismos vivos, beneficiosos y previamente seleccionados para el mejoramiento de los suelos.

Contiene:

- ✓ 40% de materia orgánica.
- ✓ 2% de contenido de nitrógeno.

- ✓ 20% de extracto húmico global y ácidos húmicos.
- ✓ 30% humedad superior (Villagarcía et al., 1994).

3.4.3. Material complementario.

Maquinaria: Se utilizó para la preparación del terreno tractor y un arado.

Herramientas: Se utilizó palana derecha y pico, cadena, letreros, balanza, rafia y estacas de madera.

Infraestructura: Campo de cultivo de los productores, que en coordinación con el INIA se realiza el trabajo de investigación.

Útiles de escritorio: libreta de campo, papel bond A4, lapiceros, registro de campo, cartulina fotográfica, rafia, tinta de impresión, cuaderno de campo, sobres, lápiz de carbón (Medina et al., 2016).

3.4.4. Equipos y herramientas de laboratorio.

Mezclador magnético con superficie calefacción.

Recipiente de vidrio de 250 ml.

Hoja de aluminio.

Imán

Termómetro digital adaptado como agitador magnético.

Espectrofotómetro.

Balanza digital de precisión.

Solución ácido compuesta por 850 ml de alcohol de 96% + 150 ml de ácido clorhídrico a 2%).

Papel toalla.

Vaso de 100 ml.

Recipiente tipo matraz.

Vaso medidor.

Agitador.

Pipeta volumétrica de 5 ml.

Cuchara de medición

3.4.5. Materia prima utilizado para obtención antocianinas.

Tusa molida y panca molida de 3 variedades de maíz morado de cada localidad del ensayo.

3.4.5. Sustancias químicas utilizadas.

Solución de etanol – ácido clorhídrico al 2 %

Agua libre de iones.

3.5. Factores de tratamiento y sus niveles.

Se estudiaron dos factores de tratamiento (variables independientes): genotipos (variedades) que se consideran bajo el modelo fijo, y los ambientes bajo el modelo aleatorio.

El factor tratamiento (genotipos) con tres niveles correspondientes a cada uno de los cultivos que se presentan en Tabla 11.

El factor ambiental con cinco niveles correspondientes a cada uno de los ambientes estudiados se lo presenta en la Tabla 5.

Tabla 11.

Genotipos de maíz morado estudiados

Clave	Nombre	Tipo de polinización
G1	INIA 601	Libre
G2	Morado Mejorado	Libre
G3	Canteño	Libre

3.6. Diseño Experimental

En cada una de las cinco (05) localidades del ensayo se utilizó en diseño en bloques completos randomizados con tres (03) variedades (genotipo) y cinco (05) repeticiones (bloques).

3.7. Características de cada uno de los campos experimentales

Repeticiones (bloques)

Número:	5
Largo :	24 m
Ancho :	5.5 m
Área :	132 m ²

Parcelas

Número:	15
Largo :	8 m
Ancho :	5.5 m
Área :	44 m

Calles

Número:	4
Largo :	24 m
Ancho :	1 m
Área :	24 m ²

Área del campo experimental

Neta	660 m ²
Total	756 m ²

Características de la siembra

Total de surcos por parcela	10
Cantidad de semillas por surco	11
Cantidad de plantas por golpe	2
Separación entre surcos	0.8 m
Distancia entre golpes	0.5 m
Densidad	50, 000 plantas/ha

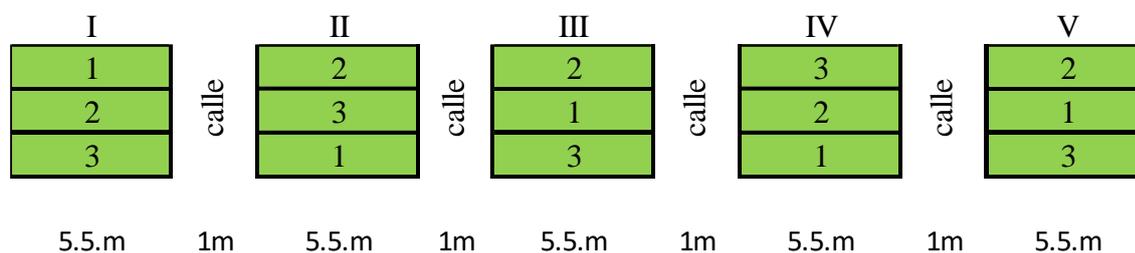


Figura 3.

Esquema y organización de los cultivos de tres variedades de maíz morado (para cada localidad).

3.8. Conducción de cada uno de los campos experimentales

En este punto se describe las labores realizadas durante la conducción del experimento, así mismo resaltar que el manejo fue similar en cada una de las localidades estudiadas.

a. Preparación del terreno y surcado

En cada uno de los campos experimentales la preparación del terreno fue realizado con tractor, una arada y una cruz, luego se realizó el surcado en forma manual.

b. Demarcación y siembra.

Se colocó la cadena que está ya demarcado con bloques, calles. Luego se realizó la siembra entre noviembre y diciembre, de acuerdo con el periodo de lluvias en cada una de las localidades, colocándose tres semillas por cada golpe, con una separación de 0.80m entre surcos y 0.50m entre golpes. Luego con las herramientas manuales se tapó las semillas.

c. Desahije

Se realizó cuando las plantitas tenían 20 cm aproximadamente, dejando las más fuertes.

d. Abonamiento

Se colocó el abono de acuerdo con los análisis de cada suelo en cada localidad. Como fuentes de fertilización se utilizó urea (46%), fosfato diamónico y cloruro de potasio (60% de K₂O). Durante la siembra, se aplicó la mitad del nitrógeno y la otra mitad se aplicó al aporque y el fosfato diamónico y cloruro de potasio se utilizó todo.

e. Deshierbo

El deshierbo se realizó al mes de haber sembrado, con lampa, se eliminó las hierbas en forma manual para evitar que estas hagan la competencia al cultivo, y se aprovechó para aplicar la segunda parte de nitrógeno.

f. Riegos

Las parcelas no cuentan con riego, el cultivo depende de las precipitaciones de lluvias de la estación.

g. Control de plagas.

Se realizó el control de gusano mazorquero *Helicoverpa zea* colocando una gota de aceite a cada mazorca antes que salga la barba del choclo.

h. Cosecha

La cosecha se realizó en cada localidad en los meses de abril, mayo, junio y julio en un solo día. La recolección se llevó a cabo manualmente de los cuatro surcos centrales de cada tratamiento. Se utilizó etiquetas, libro de campo, balanzas, bolsas de papel.

3.9. Evaluaciones Registradas

Registro de datos biométricos en precosecha

a. Época de floración femenina: Se realizó la evaluación de cuatro surcos centrales de cada tratamiento. Se anotó la cantidad de días transcurridos desde la siembra hasta cuando más del 50 por ciento de plantas iniciaron el florecimiento (Manrique, 1997)

b. Época de floración masculina: Se estimó de los cuatro surcos centrales de cada tratamiento. Se anotó la cantidad desde la siembra hasta que más de la mitad de las plantas que aparecieron las espigas dejan caer el polen (Manrique, 1997).

c. Altitud de planta: Se realizó medidas en cada campo experimental tomadas en los cuatro surcos del centro, desde el cuello de la planta, hasta el nudo de la última hoja, expresado en cm. (Estrada et al., 2006). Se anotó altura de 10 plantas seleccionadas azar de cada parcela según tratamiento.

d. Altitud de mazorca: Se realizaron medidas de plantas ubicadas en los cuatro surcos del centro, a partir del nivel del suelo de planta hasta la posición de la mazorca más alta en cm, (Estrada et al., 2006). Similarmente, se eligieron 10 plantas aleatoriamente de cada parcela considerando el tratamiento aplicado.

Recopilación de información biométricos en la cosecha

a. Peso en el campo: Se ubicaron las mazorcas de los cuatro surcos del centro de cada componente experimental en baldes y con la auxilio de una balanza de reloj, se pesa en fresco, que servirá luego para comprobar el rendimiento al corregir 14% de humedad (CIMMYT, 2004).

b. Contenido de humedad en porcentaje: Se tomó 10 mazorcas aleatoriamente; se desgranó 2 hileras de cada una; luego se pesaron 100 g. (peso húmedo) y se colocaron en bolsas de papel, etiquetándose antes de ubicarlas en una estufa con una temperatura de 105 °C durante 24 horas para expresar el porcentaje de humedad mediante la fórmula siguiente.

$100 \text{ g antes} - \text{peso luego de 24 horas} = \text{humedad.}$ (Cabrera, 2023).

c. Pudrición: Se eligieron las mazorcas de acuerdo con su grado de pudrición, en escala del 1 al 6, de los cuatro surcos centrales ordenando de menor a mayor según su pudrición a escala fijada por CIMMYT (1996); donde:

Tabla 12.

Grado de valoración de la podredumbre de la mazorca

Grado	Porcentaje de pudrición(%)	Promedio
1	Mazorcas sanas	0
2	1 – 10	5.5
3	11 – 25	18
4	26 – 50	38
5	51- 75	63
6	76 -100	88

Fórmula de pudrición:

Desarrollándose de la forma siguiente:

$$PPP = \frac{X1 * A + X2 * B + X6 * F}{T}$$

Donde:

PPP = P

Nº de mazorcas descompuestas 1 = A

Medio de grado 1 = X1

Cantidad de mazorcas descompuestas grado 2 = B

Nivel grado 2 = X2

Nº mazorca deterioradas grado 6 = F

Promedio grado 6 = X6

Cantidad total de elotes = T

d. Rendimiento de grano corregido (14% de humedad) El rendimiento de grano fue conseguido por la ajuste del peso de granos para 14% de humedad y conversión a t/ha utilizando la ecuación adjunta:

$$RGC = PC(100 - H^{\circ})/86 *(10/26.4)*D$$

RGC = Producción de grano ajustada al 14% de humedad en t /ha

H° = Representa el porcentaje de humedad del grano.

100 – H° = factor del porcentaje de materia seca.

86 = factor de ajuste de humedad al 14%

PC = peso en campo

26.4 = constante.

D= % Desgrane equivalente a 0.8

(Rabanal & Medina, 2022)

e. Peso de coronta: para obtener antocianina, se separó los granos de la coronta por tratamiento, se picó cuando aún estaba húmedo, para que seque más rápido, el secado se realizó en sombra durante 4 semanas, luego se realizó el molido en molino de granos, bien diminuto que pase el colador, para luego realizar el proceso de obtención del porcentaje de antocianinas mediante la determinación por absorbancia. Se pesó la coronta molida 10g por cada tratamiento, posteriormente se llevó al laboratorio.

f. Peso de bráctea para obtener antocianina: En campo se separó medio kg de panca por tratamiento, luego se realizó el picado en fresco, para que se realice el secado al medio ambiente, en sombra, durante 4 semanas, de esta manera se extrae la humedad, posteriormente con un molino de granos, se muele hasta que se vuelva harina. Se pesó la bráctea 10g por cada tratamiento para determinar el porcentaje de antocianina por absorbancia, en laboratorio.

Estimación del contenido de antocianinas de las variedades en estudio

Identificar la variedad con el mayor porcentaje de antocianinas entre los tratamientos.

- Para obtener el porcentaje de antocianinas de tusa y bráctea secas, se utiliza la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Antocianina} = \text{Absorbancia} (2000)/982/\text{peso de coronta o bráctea (Pronex, 2018)}.$$

El análisis del porcentaje de antocianinas en coronta y bráctea se efectuó usando con el método de Fulekis Francis, en el laboratorio de PRONEX S.A en Lima. Se deben seguir los siguientes pasos:

1. Se pesó la sustancia aproximadamente 0.60g de tusa molida o de bráctea respectivamente., luego en una balanza analítica, se realizó la tara del beaker de 250 ml, posteriormente se midió 100 ml de hidróácido, y se colocó en el beaker, durante 2 horas a 60°C.

2. Luego se tapó el beaker con papel con material aluminio con el contenido, para evitar pérdida del alcohol por evaporación, después se colocó en el agitador magnético de la cocina, se puso un pequeño imán en beaker, al impulsar el agitador magnético, el imán comenzó a girar dentro del beaker, consiguiendo una mezcla uniforme. Esta mezcla se mantuvo a 300 revoluciones/minuto, con un calentador magnético equipado con un termómetro digital, que debía estar a una temperatura de 60 °C y se dejó reposar durante 2 horas.

3. Inmediatamente a las 2 horas, se midió el peso del beaker y se retira el imán, y basándose en los datos en los datos del peso inicial, se añade con hidróácido hasta alcanzar el peso original (materia prima + hidróácido), luego agita la muestra con un agitador y se cubre nuevamente con hoja de aluminio nuevamente dejándola reposar 30 minutos e identificar la muestra.

4. Enseguida enfriar la muestra, con añadir 5ml de la solución en una Fiola de 100 ml. Luego, completar con hidróácido hasta obtener 100 ml. Tapar con una tapa, se fue moviendo hasta adquirir una mezcla uniforme. Colocar en el espectrofotómetro ajustado a una longitud de onda de 535 nm, celdas de 1 cm de lado, y medir la absorbancia de inmediato.

3.10. Estudio estadístico

3.10.1 Análisis de datos para cada localidad.

Para cada característica evaluada en cada localidad con el objeto de conocer su comportamiento se utilizó la metodología del análisis de variancia, utilizando como variable

dependiente (efecto) cada una de las características evaluadas como rendimiento de grano al 14% de humedad y como variable independiente (causa) a los genotipos (variedades) como variable fija.

Con la existencia de diferencias significativas para variedad amerita posterior al ANVA, una prueba de comparación múltiple de medias de Tukey.

El ANVA fue llevado a cabo con la asunción de un modelo fijo para los efectos de las variedades.

El Modelo lineal aditivo matemático asumido para cada una de las características en cada una de las localidades es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + R_j + V_i + e_{ij}$$

donde:

μ	=	promedio general
R_j	=	efecto de repetición j; j = 1 hasta r
V_i	=	efecto de la variedad i; i = 1 hasta g
e_{ij}	=	errores experimentales
Y_{ij}	=	efecto de la variedad i en la repetición j

El análisis de variancia para localidades individuales se muestra en la Tabla 13.

Tabla13.

Análisis de variancia por localidad para el rendimiento de grano.

Fuentes de variación	SC	GL	CM	CME	Fo
Repeticiones	Ryy	r-1=4	M3	$\sigma_a^2 + \sigma_{RR}^2 + g\sigma_R^2$	
Varietades	Vyy	g-1=2	M2	$\sigma_s^2 + \frac{\sum \tau_i^2}{g-1}$	$\frac{M2}{M1}$
Error	Eyy	(r-1)(g-1)=8	M1	σ_e^2	
Total	Gyy	rg-1=14			

$$CV = \frac{s}{x}$$

- r = Número de repeticiones.
- g = Número de variedades o genotipos.
- Mi = Cuadrado medio observado del efecto de subíndice.
- σ_e^2 = Variancia de error.
- $\sum \tau_i^2$ = Es el componente del efecto verdadero de la iésima variedad.
- σ_R^2 = Es el componente de la variancia para repeticiones.
- σ_{RR}^2 = Es el componente de la variancia de la restricción para repeticiones.
- C.V = Coeficiente de variabilidad.

Prueba de hipótesis

Para variedades

H₀: No hay diferencias significativas entre variedades:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

H₁: Al menos una μ_i es diferente. Encuentra divergencias significativas entre los promedios de las variedades:

A través de $F_o = \frac{M2}{M1}$ Si se observa que el valor $p > F$, es menor que

$\alpha = 0.05$, ($p < 0.05$) se contradice H_0 y se admite H_1 , y concluimos que hay diferencias estadísticas significativas entre las medias de las variedades debido a las diferencias genéticas, caso contrario se acepta H_0 .

3.10.2. Estabilidad del rendimiento de grano:

Magnitud y naturaleza de la interacción (IGA)

Con el propósito de entender la dimensión y naturaleza de la interacción genotipo y el entorno (IGA) se utilizan la metodología de evaluación de la variancia en diferentes entornos usando como variable dependiente (efecto) al rendimiento de grano ajustado al 14%, considerando como variables como variables independientes (causa) a genotipos (variable fija) y a los entornos (variable aleatoria).

El análisis de la variancia combinado fue llevado a cabo para el rendimiento de grano evaluada según modelo fijo para los efectos varietales y un modelo aleatorio para los efectos ambientales y repeticiones.

Para el rendimiento de grano, obteniendo el análisis de variancia combinado a través de localidades fue estimado usando el modelo aditivo lineal siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + L_i + (R/L)_{ij} + V_k + (L * V)_{ik} + e_{ijk}$$

donde:

Y_{ijk} = media fenotípica para la característica en estudio en la k-ma variedad y en la j-ma repetición en la i-ma localidad.

μ = promedio general.

L_i = el efecto de la i-ma localidad; $L_i \sim N(0, \sigma_L^2)$

$(R/L)_{ij}$ = el efecto de la j-ma repetición dentro de la i-entorno; $(R/L)_{ij} \sim N(0, \frac{\sigma_R^2}{L})$

V_k = el efecto verdadero de la k-ma variedad $V_k \sim N(\mu, \sigma_{V_L}^2)$.

$(V * L)_{ik}$ = el efecto de la k-ma variedad y la i-ma localidad; $(V/L)_{ik} \sim N(0, \sigma_{V_L}^2)$

e_{ijk} = el efecto ambiental de la k-ma variedad y la j-ma repetición en la i-ma localidad;
 $(e_{ijk} \sim N(0, \sigma_e^2))$

El análisis de variancia, para este modelo está dado en Tabla 14

Los cuadrados medios (CM) se evalúan dividiendo la adición de cuadrados (SC) por los grados de libertad (GL).

Estos cálculos se colocan, como está indicado en Tabla 14. Los resultados de la prueba de F se indican con asteriscos o NS en los cuadrados medios.

Tabla 14.

Análisis de variancia a través de ambientes para característica de rendimiento de grano de los genotipos

FUENTE VARIACION	SC	GL	CM	CME	Fo
AMBIENTES(A)	L_{YY}	1-1=2	M5	$\sigma_e^2 + g\sigma_{R+L}^2 + gr\sigma_L^2$	M5/M1
REPETICIONES EN AMBIENTE	$(R/L)_{YY}$	1(r-1)=12	M4	$\sigma_e^2 + g\sigma_{R+L}^2$	M4/M1
GENOTIPOS(G)	V_{YY}	g-1=2	M3	$\sigma_e^2 + r\sigma_{VL}^2 + rl \sum r_i^2 / g$	M3/M2
GEN*AMB(G*A)	$(VL)_{YY}$	(g-1)(1-1)=4	M2	$\sigma_e^2 + r\sigma_{VL}^2$	M2/M1
ERROR	E_{YY}	1(g-1)(r-1)=4	M1	σ_e^2	
TOTAL	G_{YY}	1rg-1=44			

$$CV = \frac{\sqrt{M_1}}{\bar{x}_{..}}$$

l, r y g = Son los números de localidades, repeticiones y variedades respectivamente.

σ_e^2 = Variancia del error.

σ_{VL}^2 = La variancia de la interacción genotipos y ambientes.

$\sum r_i^2$ = efecto verdadero de la iésima variedad debido a las diferencias genéticas entre variedades.

$\sigma_{R/L}^2$ = variancia debido a las repeticiones dentro de localidades.

σ_L^2 = variancia debido a las localidades.

El cuadrado medio es utilizado para ver si existe significación entre prototipos, lugares y la interacción genotipo por localidad, como lo especifica F de prueba.

Prueba de hipótesis

Para localidades

H₀: No hay diferencias entre los diferentes ambientes:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

H₁: Al menos una μ_i de un ambiente es diferente. Existe diferencias entre ambientes.

Se la hace a través de $F_0 = M5/M4$, se hace con la ($P > F$), si este valor es menor que $\alpha = 0.05$, se objeta nula H₀ y se acepta hipótesis alternativa H₁. Si ($P > F$ es mayor que 0.05, se admite la hipótesis nula (H₀).

Para Variedades

H₀: Todas las variedades tienen similar comportamiento:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

H₁: Al menos una μ_i de una variedad (genotipo) es diferente.

Se la hace a través de $F_0 = M3/M2$, Si se observa que el valor $p > F$ es más pequeño que 0.05, se rechaza H₀ y se acepta la H₁.

Entonces ($P > F$) > 0.05 se admite H₀.

Para la interacción genotipo por ambiente

H₀: Los genotipos responden en forma similar en los diferentes ambientes

H₁: Los genotipos no responden en forma similar en los diferentes ambientes (Existe interacción genotipo x ambiente).

La presencia de la variación de la interacción genotipo - ambiente es probado por:

$$F_0 = \frac{M2}{M1}$$

Si $P > F$ es menor que ($\alpha = 0.05$) indica que las variedades no responden en forma similar en los ambientes diferentes, es decir existe interacción genotipo por ámbito significativa y amerita el estudio de ésta con algunas técnicas estadísticas: método de regresión, GGE biplot, AMMI, etc. Caso contrario se concluye que los genotipos responden

en forma similar en los diferentes ambientes, para poder conocer como las medias de las variedades presentan diferencias entre ellas, se usa el nuevo método de comparación múltiple de Duncan (se aclara que este caso, la variancia del error para variedades es la interacción V*L, es decir M_2 y que es la que se usa para determinar el $S_{\bar{x}}$ de esta prueba de significación.

Para determinar la influencia de los factores (genotipo, ambiente y la contribución interacción genotipo x ambiente) a la variabilidad total ($F = A + G + GXA$), se tomó la SC de cada factor y se la expresa en términos relativos con respecto a la variabilidad total (F) que es la suma de las SC de cada factor, que se presentan en la Tabla 15.

Se llevó a cabo el análisis de varianza empleando el software relacionado con SAS v 9.0 (SAS Institute Inc.).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los alcances logrados en este estudio se presentan bajo la forma de tablas y figuras acompañados de sus respectivas interpretaciones y discusiones.

4.1. Estabilidad Fenotípica del Rendimiento de grano

4.1.1. Magnitud y naturaleza de la interacción genotipo por ambiente (IGA)

Se reconoce la magnitud de la interacción genotipo por ambiente (IGA) se llevó a cabo el análisis de la variancia a través de ambientes, el que se identificó y se muestra en la Tabla 15.

Tabla 15.

ANVA para el rendimiento de grano de maíz en t ha⁻¹ para los tres genotipos a través de los cinco ambientes.

F. V	GL	SC	CM	Fo	P > F
AMBIENTES (A)	4	23.699	5.925*	104.21	<.0001
REP(LOC)	20	10.460	11.320		
GENOTIPO (G)	2	0.862	0.431	3.51	0.0646
AMB*GEN(GxA)	8	0.983	0.123	2.16	0.0519
ERROR	40	2.274	0.056		
TOTAL	74	38.279			

C.V= 16.920 %

Los resultados mostrados en la Tabla 15 revelan diferencias altamente significativas para ambientes (A) ($p < 0.01$), pero no existe diferencias significativas para genotipos (G) y para la interacción genotipo x ambiente (IGA). El coeficiente de variación (16.92004%) es aceptable, lo que sugiere, que la conducción del ensayo y los resultados obtenidos son confiables (Vásquez et al., 2019).

Las diferencias significativas entre ambientes (Tabla 15) indica que en los lugares en que se llevaron a cabo los ensayos presentan variaciones significativas en términos de un impacto en el rendimiento de grano de los genotipos. Estas diferencias pueden deberse a factores como la calidad del suelo, el clima, la altitud, longitud entre otros, que afectan el crecimiento de las plantas de maíz y, por lo tanto, en su productividad.

La diferencia altamente significativa para ambientes evidenciada en la Tabla 15 es corroborada con la Prueba Honesta Significativa de Tukey (PHS – T) al 5 % para el rendimiento de grano de maíz en t ha⁻¹ para los ambientes en estudio que se presenta en la Tabla 16.

Tabla 16.

Prueba de significación de Tukey para el rendimiento de grano para ambientes al 5%

CLAVE	LOCALIDAD	MEDIA t ha ⁻¹	SIGNIFICACION	
L3	Cajabamba	2.38	A	
L2	Vista Florida	1.54		B
L1	Shaullo	1.37		B C
L4	Uchuy	1.00		B C
L5	Namora	0.74		C

En la Tabla 16, se aprecia que las localidades de mayor producción son: Cajabamba, que supera estadísticamente el promedio de la provincia de Cajamarca (Medina et al., 2020). La no significación estadística observadas en las localidades Vista Florida, Shaullo, Uchuy y Namora debido probablemente a la poca altitud entre localidades (de 2130 – 2850 msnm) (Tabla 5), ya que las diferencias químicas del suelo han sido compensadas y niveladas por los diferentes formulaciones del suelo (Tabla 6).

Las diferencias significativas entre las medias de los ambientes estudiados para el rendimiento de grano de maíz se pueden atribuir a las diferencias en altitudes, longitudes y latitudes de los lugares de prueba, así como a las variaciones en las condiciones del suelo, temperatura, precipitación y técnicas de manejo particulares de un área determinada. Estas diferencias, son más notorias en los pruebas en diversas localidades (EMA), se llevan a cabo en áreas extensas, como en el presente estudio de investigación, que abarca dos regiones del Perú: Cajamarca y La Libertad.

La altitud y latitud influyen en la temperatura más adecuada para el maíz. Esto puede explicarse debido a que el maíz es un cultivo de rápido crecimiento que prospera mejor en temperaturas moderadas. La gama de temperatura óptima se sitúa entre los 24°C y los 30°C. A menudo, los productores tienen la percepción de que el maíz se desarrolla mejor en noches cálidas, sin embargo, en realidad, en noches con altas temperaturas, el maíz tiende a utilizar una cantidad excesiva de energía en la respiración celular. Por lo tanto, las noches frescas, los días soleados y las temperaturas moderadas son más favorables para su crecimiento (Morales & Díaz, 2020).

La no diferencia entre genotipo (Tabla 15) sugiere que, en el contexto de los ambientes analizados, los genotipos no muestran variaciones significativas en su rendimiento de grano. Esto podría indicar que los genotipos estudiados tienen un desempeño similar en los diferentes ambientes evaluados resultado que podría ser a una baja variabilidad genética para el carácter de rendimiento de grano, a una alta variabilidad ambiental que oculta las diferencias genéticas o puede ser el resultado de una baja heredabilidad del carácter evaluado (rendimiento de grano), lo que significa que el carácter está fuertemente influenciado por factores ambientales.

La no diferencia significativa para genotipo (cultivares) evidenciada en Tabla 15, es corroborada con la comparación estadística de Duncan 5% para el rendimiento de grano de maíz en t ha⁻¹ que se presenta en la Tabla 17.

Tabla 17.

Comparación estadística de Duncan al 5% para el rendimiento de grano de los tres genotipos de maíz tres genotipos de maíz morado estudiados

Clave	Genotipo	Rendimiento de grano	Significación	
G3	Canteño	1.526		A
G1	INIA 601	1.435	B	A
G2	Morado Mejorado	1.267	B	

La Tabla 17 da a conocer que Canteño (1. 526 t ha⁻¹) es el genotipo con mejor en rendimiento de grano, pero que no difiere significativamente de INIA 601(1.435 t ha⁻¹). El maíz Morado Mejorado es el de más bajo rendimiento con 1.267 t ha⁻¹. La tendencia de no diferencias entre cultivares puede ser debido a que estos genotipos fueron obtenidos de la misma colección dando como resultado cargas genéticas poco diferenciadas debido a la presencia de genes específicos de adaptación como afirma (Cubero & Flores, 2003).

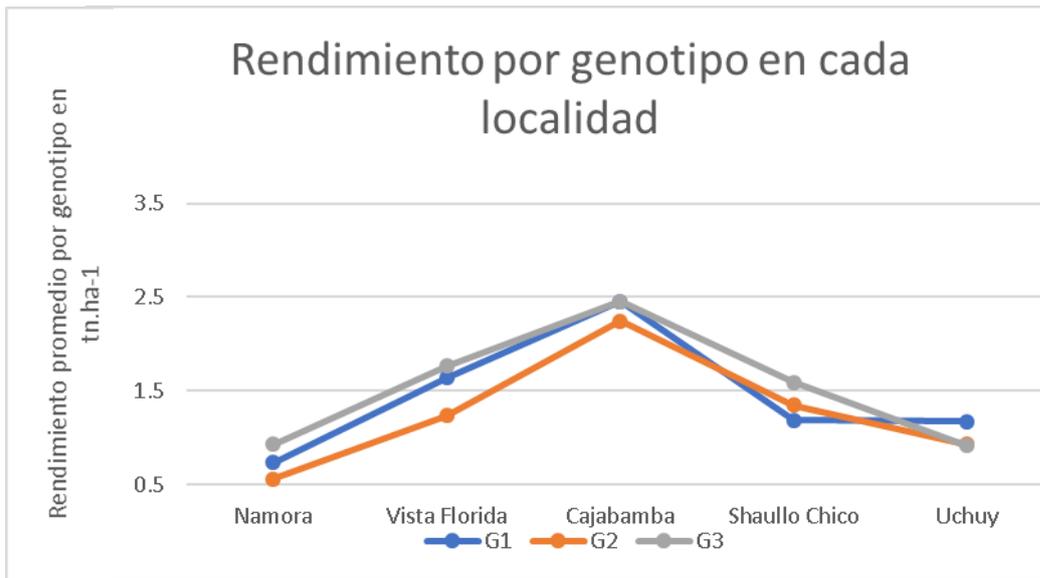


Figura 4.

Rendimiento de grano por genotipo en cada localidad

Los ensayos multilocales permiten conocer la contribución de los factores a la variabilidad total y generalmente los ambientes constituyen la fuente de la variación más importante en relación a la contribución de los genotipos y interacción genotipo por ambiente sobre la variabilidad total (Yan et al, 2000). En Tabla 15, se aprecia que la suma de cuadrados, de ambientes (23.70), genotipos (0.86) y la interacción GxA (0.98), que dan la variabilidad total de 25.54. De esta se deduce que los ambientes contribuyen el 92% (23.70/25.54), los genotipos el 3.4 % (0.86/25.54) y la IGA el 3.8% (0.98/25.54). Concluimos que al analizar la contribución de los factores de variación se evidencia que el ambiente determinó mayoritariamente el rendimiento (92.8%), mientras que el resto es atribuible al genotipo (3,4%) y la IGA (3.8%).(Figura 5).

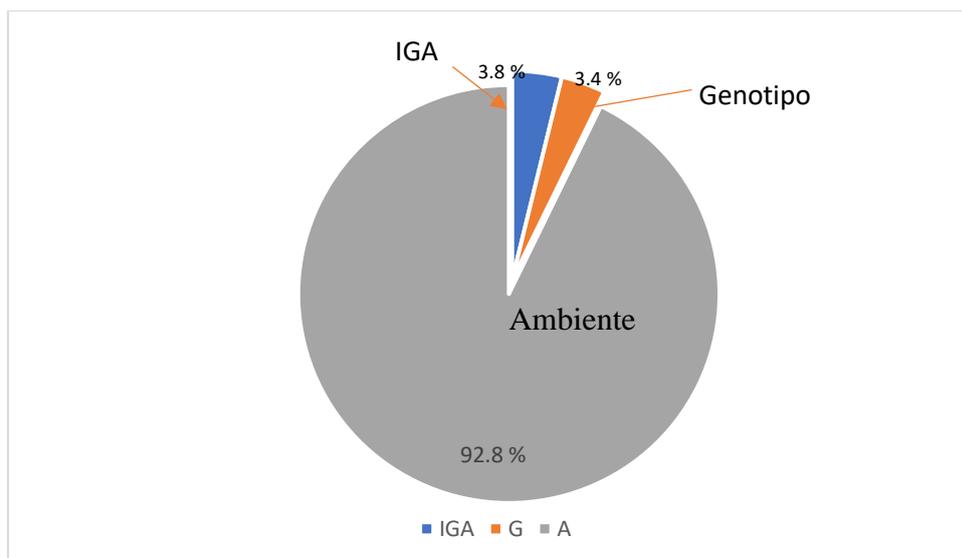


Figura 5.

Contribución de los factores de variación al rendimiento promedio en el ensayo multiambientes

Estos resultados difieren con los mencionados por Yan y Hunt (2001) quienes afirman que en ensayos multilocalidades normales, el ambiente contribuye alrededor del 80% de la variación y que los genotipos y la IGA, cada uno lo hace aproximadamente con el 10% de la variabilidad total.

4.1.3. Estabilidad fenotípica del rendimiento de grano de los genotipos

La ausencia de una interacción significativa entre genotipo y ambiente (IGA) (Tabla 15) indica que los genotipos no responden de manera diferencial a las variaciones en los ambientes de prueba considerados. En otras palabras, los genotipos mantienen un rendimiento consistente independientemente del ambiente en el que se encuentren, lo que sugiere una adaptabilidad amplia (estabilidad) de los genotipos evaluados. Este resultado no significativo indica, además, que la magnitud de la IGA es pequeña o baja ($p < 0.05$).

Esto puede ser positivo en términos de estabilidad y adaptabilidad de los genotipos en diferentes condiciones ambientales, lo que podría facilitar la selección de genotipos con un rendimiento consistente en una variedad de localidades.

Así, un genotipo con expresión constante en ensayos multiambientes tiene un impacto limitado en la magnitud de la IGA, por lo que, no es necesario identificar los cultivares estables, ya que los tres presentan similar performance. Ya que, el análisis de estabilidad para los genotipos lo debe realizar en los ensayos multilocalidades, si existe la presencia de una IGA significativa (Cubero & Flores, 2003)

Se indica entonces que los análisis a través de localidades pueden explicar la magnitud de la variación debido a los genotipos, a los ambientes y a la IGA lo que evidencia que los genotipos responden similarmente en los ambientes, no amerita un análisis de estabilidad.

Conocida la magnitud de la interacción, en nuestro caso, no significativa es decir baja, se debe conocer que tipo de IGA se está presentando cruzada (cualitativa) o no cruzada (cuantitativa). Para ello se presenta la Tabla 18, en el cual se indica al mejor genotipo y el puesto que ocupan los otros dos, lo que nos informa si el orden de los genotipos cambia en cada sitio, la IGA es cruzada.

Tabla 18.

Mejor cultivar y el respectivo orden de mérito de los genotipos en cada localidad.

Clave	Localidad	Mejor Genotipo
1	Shaullo	Canteño (1.566) MM (1.37) INIA 601 (1.182)
2	Vista Florida	Canteño (1.764) INIA 601 (1.636) MM (1.232)
3	Cajabamba	Canteño (2.454) INIA 601 (2.454) MM (2.244)
4	Namora	Canteño (0.932) INIA 601 (0.73) MM (0.56)
5	Uchuy	INIA 601 (1.172 Canteño (0.928)) MM (0.912)

Tabla 18 informa que el mejor genotipo es Canteño en 4 localidades y que los otros dos cultivos INIA 601 y Morado Mejorado tienen el mismo orden en estos ambientes y en el único ambiente que cambia el orden de mérito es Uchuy, en la que INIA 601 es de más alto rendimiento.

Este orden observado en la Tabla 18 en los diferentes ambientes corrobora que no hay interacción (existe paralelismo). En este caso, los genotipos responden de manera similar en

los diferentes entornos estudiados (mantienen el mismo orden relativo). Esto significa que el desempeño de un genotipo determinado es consistente en todos los ambientes y no existe una interacción significativa entre el genotipo y el ambiente. El distinto orden observado en Uchuy, no influye de manera significativa, por lo que podemos afirmar que el tipo de interacción genotipo por ambiente es no cruzada (non - crossover) pero no significativa. Esto ocurre cuando la respuesta de los genotipos a diferentes ambientes es aditiva, lo que significa que los genotipos respondan de manera paralela pero la magnitud de la respuesta varía entre ambientes.

Una interacción genotipo por ambiente no significativa puede ser importante porque indica que los genotipos evaluados no responden de manera diferente a los cambios en las condiciones ambientales. En este caso, se puede recomendar el uso de genotipos que tengan un rendimiento promedio alto y estable en diferentes ambientes, ya que no se requiere la selección de genotipos específicos para cada ambiente. Además, la no significancia de la IGA puede simplificar el proceso de selección y mejoramiento genético, ya que no es necesario realizar estudios adicionales para precisar la elección de entes con adaptabilidad amplia y específica. Definir la selección, sin embargo, es importante tener en cuenta que la no significancia de la IGA no siempre, es deseable, ya que algunos casos, se busca la selección de genotipos específicos para cada ambiente, con el fin de maximizar el rendimiento de grano en condiciones específicas.

El análisis de estabilidad para los genotipos se debe realizar en los ensayos multilocalidades, si existe la presencia de una IGA significativa (Cubero & Flores, 2003).

4.2. Del contenido de antocianinas y características agronómicas

4.2.1. Del contenido de antocianinas .

4.2.1.1. *En Tusa.*

Tabla 19.

Porcentaje de antocianinas en tusa en cada una de las localidades y a través de localidades

Variedades	Shaullo Chico	Vista Florida	Cajabamba	Namora	Uchuy	Media %
INIA 601	1.7244	1.8604	2.9441	3.1881	2.2367	2.39
Morado Mejorado	4.2267	4.5899	2.3573	3.0488	4.5063	3.75
Canteño	4.9828	2.3879	2.764	2.764	1.7971	2.94

En la Tabla 19, se observa que la variedad Morado Mejorado tiene mayor porcentaje de antocianina en tusa con una media de 3.75%, seguido de Canteño, variedad experimental Morado Mejorado. (Medina et al., 2020) menciona que la mayor concentración de antocianinas en corontas (6,12) y brácteas (3,18 mg/100 g de cianidina-3-glucósido) en la variedad INIA 601.

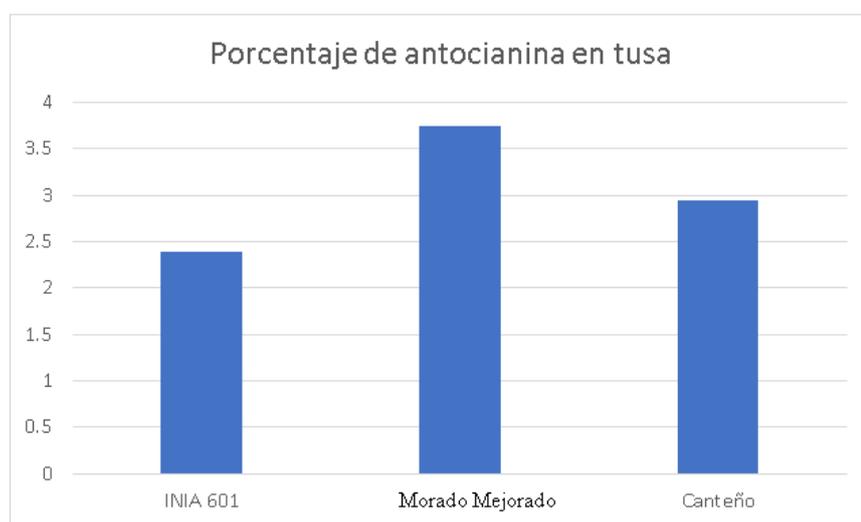


Figura 6.

Contenido de antocianina en tusa por genotipo.

La Figura 6 se observa que la mayor concentración de antocianina en tusa por genotipo se ha obtenido en el prototipo experimental Morado Mejorado el mayor porcentaje de antocianina con 3.75 %, seguido por Canteño 2.94 % y por último INIA 601 con 2.39%.

4.2.1.2. En Brácteas.

Tabla 20.

Porcentaje de antocianinas en bráctea en cada una de las cinco localidades

Variedades	Shaullo Chico	Vista Florida	Cajabamba	Namora	Uchuy	Media %
INIA 601	4.4015	1.6297	2.9441	3.2926	2.2536	2.9
Morado Mejorado	3.1887	0.6071	2.3573	2.3573	1.1411	1.93
Canteño	0.8961	0.9244	2.764	0.6461	0.0903	1.06

En la Tabla 20, se observa que en bráctea INIA 601 ha obtenido mayor porcentaje de antocianinas 2.9 %, seguido por Variedad Experimental Morado Mejorado con 1.93%, finalmente Canteño con 1.06 %.

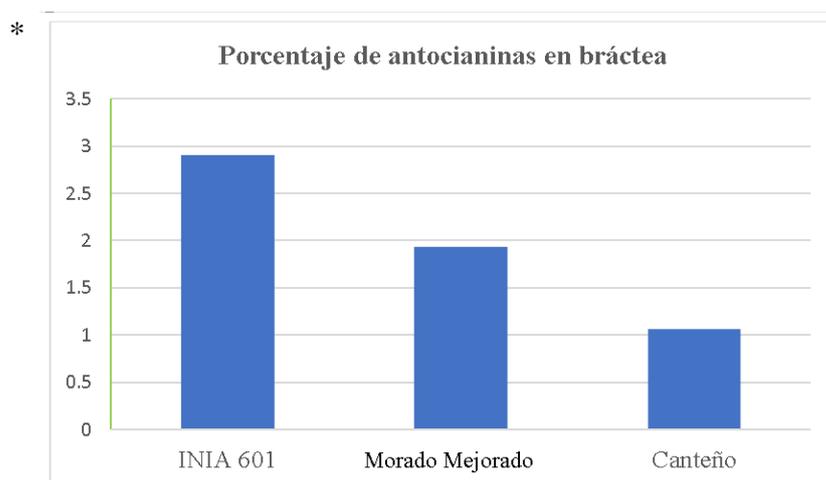


Figura 7.

Contenido de antocianina por genotipo.

La figura 7 se observa que la concentración de antocianina es superior en la variedad INIA 601 con 2.90 %, seguido por Morado Mejorado 1.93 % y por último Canteño 1.06 %.

4.2.2. Medias de las Características Agronómicas Evaluadas.

4.2.2.1. Por Localidad.

Tabla 21.

Medias de las características agronómicas evaluadas en cada una de las localidades (ambientes) estudiadas.

Localidad (ambiente)	Floración		N° Pl	Prolif.	H°	Altura		Acame		Rdto	Antocianina	
	M	F				Pl	M	R	T		Coronta	Bráctea
Shaullo	126	126	57	0.82	35	1.68	0.77	0.90	1.22	1.37	3.64	2.83
Vista Florida	156	150	39	1.54	44	2.27	1.28	0.97	1.32	1.54	2.95	1.05
Cajabamba	100	98	34	1.87	33	2.15	1.15	0.86	1.29	2.39	2.69	2.69
Namora	99	99	33	0.99	55	1.46	1.08	0.82	1.07	0.74	3.00	2.09
Uchuy	157	148	39	2.32	71	2.25	1.29	1.40	1.13	1.00	2.85	1.16
	127	124	40	1.51	48	1.96	1.11	0.99	1.21	1.41	3.03	1.96

En la Tabla 21. se presentan las medias para las características agronómicas evaluadas en cada uno de los ambientes (localidades) donde se sembraron los experimentos. Los resultados sugieren que la localidad de Cajabamba fue respecto a sus características agronómicas fue la que tuvo mejores resultados, lo que ha contribuido a tener mayor rendimiento de grano y buen contenido de antocianinas (Requis, 2012). En Namora mostró valores reducidos en altura de planta y mazorca, además de un bajo rendimiento, lo que sugirió que en dicha localidad necesita probablemente mayor cantidad de agua en los experimentos. De acuerdo con Parihar et al (2016) el rendimiento del maíz se ve influenciado por las condiciones climáticas, variedad o genotipo o tipo de suelos.

4.2.2.2. Por Genotipo.

Tabla 22.

Medias de las características agronómicas evaluadas en cada uno de los tres cultivares de maíz morado estudiado a través de las cinco localidades.

Localidad (ambiente)	Floración		N° Pl.	Prolif.	H°	Altura		Acame		Rdto	Antocianina Coronta	
	M	F				Pl.	M	R				
Brac												
Canteño	127	124	40	1.63	48	1.98	1.12	1.00	1.13	1.53	2.94	1.06
INIA 601	127	124	41	1.41	47	1.95	1.09	1.01	1.23	1.46	2.39	2.90
Morado Mejorado	126	124	39	1.47	48	1.95	1.12	0.91	1.23	1.23	3.75	1.93
	127	124	40	1.50	48	1.96	1.11	0.97	1.23	1.41	3.03	1.96

En la Tabla 22 se presentan las medias para las características evaluadas de cada uno de las tres (03) variedades estudiadas, a través de las localidades. Esta tabla nos muestra que Canteño tiene mayor prolificidad, mayor rendimiento de grano y de antocianinas en coronta, mientras que INIA 601 ocupa el segundo lugar.

Estas diferencias observadas se pueden explicar que es debido a la diferencia en sus cargas genéticas de los genotipos y por lo tanto la variedad Canteño e INIA 601 son especies que brindan mayor probabilidad por sus características para promocionarlas en la sierra norte del país.

4.2.2.3. Análisis de la variancia del rendimiento de grano por cada localidad.

En la Tabla 23 se da a conocer el análisis de la variancia para la producción de grano de los genotipos evaluados en cada uno de los cinco entornos (localidades).

Tabla 23.

Análisis de la variancia del rendimiento de grano para cada una de las cinco localidades.

Clave			Cuadrados Medios				
N°	aif	Localidad	Genotipos(2)	bloques (4)	Error (8)	CV%	Media
1	L1	Shaullo	0.18	0.83	0.066	18.66	1.37
2	L2	Vista Florida	0.39	0.65	0.056	15.30	1.54
3	L3	Cajabamba	0.07*	0.88	0.117	14.33	2.38
4	L4	Namora	0.17	0.22	0.004	8.24	0.74
5	L5	Uchuy	0.11	0.04	0.043	20.54	1.00

Además, la media del rendimiento en la localidad Cajabamba supera a la media de rendimiento en la provincia de Cajamarca (1.5 t ha^{-1}). Mientras que la media en la localidad de Namora es bajo el nivel de 0.74 t ha^{-1} . Así mismo, el coeficiente de variación entre 8 y 21 % es un indicativo que los resultados obtenidos son confiables. Así, se observa que el coeficiente de variabilidad en Shaullo Chico 18.66 %, Vista Florida 15.30 %, Cajabamba 14.33 %, Uchuy 20.54 % y Namora 8.24% su resultado es baja, indicándonos un buen manejo de los experimentos y que los resultados son confiables para este trabajo de investigación. (Vásquez, 2014).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos podemos arribar a las siguientes conclusiones:

1. Los tres genotipos presentan un comportamiento similar en cada una de las localidades estudiadas, con la variedad Canteño (1.5 t ha^{-1}), seguida por INIA 601 (1.4 t ha^{-1}) y Morado Mejorado (1.2 t ha^{-1}), esta consistencia en el rendimiento indica que todos son estables o muestran una amplia adaptación por lo que, estas variedades pueden ser utilizadas con confianza en diferentes ambientes, lo cual es esencial para asegurar la estabilidad alimenticia y la estabilidad de los rendimientos en diferentes ambientes.
2. El análisis de la varianza entre diferentes entornos para el rendimiento de grano muestra diferencias altamente significativa entre ambientes y no diferencia para genotipos ni para la interacción genotipo por ambiente.
3. La interacción genotipo por ambiente para la producción de grano de maíz, en ensayos multiambiente es de una magnitud baja, no significativa y del tipo no cruzado por ello, la respuesta de los genotipos al ambiente es consistente y predecible en todas las localidades evaluadas.
4. La variabilidad total en el rendimiento del grano de los genotipos, esta influenciada principalmente por los ambientes que contribuye en un 92.8 %, los genotipos muestran una contribución del 3.4 %, mientras que la interacción genotipo por ambiente aporta 3.8% que resalta la importancia de considerar los efectos ambientales al analizar el rendimiento de los cultivos en ensayos multiambientes, lo cual es fundamental para la selección y desarrollo de variedades adaptados a diferentes condiciones ambientales.
5. Los entornos de prueba más favorables son Cajabamba, Vista Florida, Shaullo Chico y Uchuy.

6. El contenido de antocianinas en las tusas, la variedad Morado Mejorado exhibe el contenido con un 3.75 %, seguido de Canteño con un 2.94 % y al final INIA 601 con un 2.39 %. En cuanto al contenido de antocianinas en brácteas INIA 601 muestra el mayor contenido con un 2.90 %, seguido por Morado Mejorado con 1.93 % y finalmente con Canteño con un 1.06 %. Estos resultados resaltan las diferencias en la acumulación de antocianinas entre variedades en la selección y desarrollo de variedades con características nutricionales específicas.

RECOMENDACIONES

1. Repetir ensayos multiambientes (EMA) de este tipo con la inclusión de más variedades y más ambientes, para estimar la estabilidad y adaptabilidad de diversas variedades del cultivo de maíz morado en diferentes contextos de clima y de suelo. Al repetir los ensayos con más variedades y ambientes se puede identificar los genotipos con rendimientos superiores y más estables.
2. Para futuros experimentos de esta naturaleza se debe de realizar análisis del contenido de antocianinas por cada variedad y por repetición, ya que nos ayudará a entender la variabilidad dentro de las mismas condiciones del cultivo. Así los ensayos serán valiosos por la obtención de variedades potencialmente más nutritivas y con más antioxidantes.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS

- Albert, A. (2004). Una comparación de métodos estadísticos con interacción Genotipo X Medio Ambiente y estabilidad del rendimiento en multiubicaciones en ensayos con maíz. *Magister Scientiae Agriculturae en la Facultad de Agricultura*, pp. 1-100.
- Aguilera, M., Reza, M., Chew, R., & Meza, J. (2011). Propiedades funcionales de las antocianinas. *Bio Revista técnica*, p. 8.
- Alejos, G., Monasterio, P., & Rea, R. (2006). Análisis de la Interacción Genotipo por Ambiente para Rendimiento de Maíz en la Región Maicera del Estado Yaracuy, Venezuela. *Agronomía Tropical*, 56(3), pp. 369 - 384.
- Alvarado, J., Velastegui, J., Ortiz, J., Carpio, C., Ramos, M., Velasquez, B., & Jaramilo, P. (2013). Alimentos ciencia e ingeniería. *Revista de la Facultad de Ciencia Revista de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos de la Universidad Técnica de Ambato*, Vol.21 (1), p. 120.
- Alwala, S., Kwolek, T. K., McPherson, M., Pellow, J., & Meyer, D. (2015). A comprehensive comparison between Eberhart and Russell joint regression and GGE biplot analyses to identify stable and high yielding maize hybrids. *Agronomia Tropical*, p. 10.
- Baker, R. J. (1990). Crossover genotype-environmental interaction in spring wheat. In: Kang, M.S. (ed). Genotype-by-Environment Interaction. *Baker, R. J. 1990. Crossover genotype-environmental interaction Louisiana State University Agricultural Center, Baton Rouge, LA, p. 42-51.*
- Bandera, E., & Perez, L. (2018). Los modelos lineales generalizados mixtos su aplicación en el mejoramiento de plantas. *Cultivos Tropicales*, Vol. 39, N°1.

- Balzarini, M., Bruno, C., & Arroyo, A. (2005). Análisis de Ensayos Agrícolas Multiambientales. Ejemplos en Info-Gen. *Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Estadística y Biometría. Primera Ed.*, p. 141.
- Becker, H. C., (1981). Correlations among some statistical measures of phenotypic stability. *Euphytica*, Volumen 30, pp. 835-840.
- Becker, H. C. & León, J., 1988. Stability analysis in plant breeding. *Plant Breeding Review*, Volumen 101. pp. 1-23.
- Borém, A., Condori, M. & Miranda, G. (2008). Mejoramiento de Plantas. Primera ed. Vicosa (MG, Brasil): Editora UFV.
- Brac, A., & Zuil, S. (2018). Estabilidad y adaptabilidad: Criterios que contribuyen en la elección de variedades de trigo. *Voces y ecos*, N° 39 -9, p. 5.
- Brankovic, D. B. (2018.). Evaluation of maize grain yield and yield stability by AMMI analysis. *Genetika. Genetika 50(3)*, pp.1067-1080.
- Caicedo, J., Puyol, J., Lopez, M., & Ibañez, S. (2020). Adaptabilidad en el sistema de producción agrícola: Una mirada desde los productos alternativos sostenibles. *Revista de Ciencias Sociales Revista de Ciencias Sociales (RCS). FCES - LUZ Vol. XXVI, Número 4, 2020*, pp. 308-327.
- Cabrera, M. (2023). Microorganismos eficaces en la productividad de maíz choclero INÍA 603 (*Zea mays L.*) en la ESTACIÓN EXPERIMENTAL AGRARIA – BAÑOS DEL INCA, CAJAMARCA. *Tesis pregrado UNC*, pp. 1 - 50.
- Cabrera, H. (2019). *Parámetros de estabilidad genética del rendimiento de 3 ocho genotipos de papa (Solanum tuberosumL.), evaluados en seis localidades de la sierra norte del Perú*(Tesis maestría) . Universidad Nacional de Cajamarca.
- Castañeda, A., & Guerrero, J. (2015). Pigmentos en frutas y hortalizas rojas: antocianinas. *Tsia 9*, pp. 25 - 33.

- CIMMYT. (2004). Programa de Maíz del CIMMYT. Enfermedades del maíz: una guía para su identificación en el campo. *Cuarta edición. México, D.F.: CIMMYT*, pp, 123
- Chavez, A., Narro, L., Jara, T., Narro, T., Medina, A., Cieza, I., Escobal, F. (2022). Tecnologías disponibles para incrementar la producción de maíz en el Perú. *ACI*, pp, 31.
- Ccaccya, A. (2020). Compuestos bioactivos y actividad antioxidante del maiz morado *Zea mays L.* procedentes de 3 regiones del Perú. (*Tesis posgrado*). *Facultad de medicina UNMSM Lima – Perú*.
- Cordova, H. (1991). Estimación de Parámetros de Estabilidad para Determinar la Respuesta de Híbridos de Maíz (*Zea mays L.*) a Ambientes Contrastantes de Centro América, Panamá y Mexico. *Agronomia Mesoamericana*, pp, 10.
- Cornelius, P., Crossa, J., & Seyedsadr, M. (1996). *Statistical tests and estimators of multiplicative models for genotype by environment data. In: Kang M.S., Gauch, H.G. Jr. (eds) Genotype by environment interaction. CRC Press. Boca Ratón, 199-234 pp.*
- Crossa, J., & Cornelius, P. L. (2002). Linear-bilinear model for the analysis of genotype-environment interaction. In: Kang, M. S. ed. *Quantitative Genetics, Genomics and Plant Breeding. CABI Publishing*, 305-321.
- Crossa, J., Cornelius, P. L., & Yan, W. (2002). Biplot of linear-bilinear models for studying crossover genotypexenvironment interaction. *Crop Science*, 42, 619-633.
- Crossa, J., 1990. Statistical analysis of multilocation trials. *Advances in Agronomy* , Volumen 44, pp. 55-85.
- Cotes, J., Ñustez, C., Martínez, M., & Estrada, N. (2000). Análisis de la interacción genotipo por ambiente en papa (*Solanum tuberosum* spp. Andígena), a través de una metodología no paramé. *Agronomía Colombiana*, pp. 6.

- Cubero, J. I. & Flores, F., 2003. *Métodos Estadísticos para el Estudio de la Estabilidad Varietal en Ensayos Agrícolas*. 2da ed. Sevilla: Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca.
- Cuevas, E., Antezana, A., & Winterhalter, P. (2008). Análisis y caracterización de Antocianinas en diferentes variedades de Maíz Morado (*Zea mays L.*) Boliviano. *Memorias Red-Alfa Lagrotech*, pp. 79-85.
- del Rio, L., & Melara, W. (1991). Evaluación de la resistencia a maíz muerto de algunos híbridos y variedades de maíz comunes en honduras. *Ceiba. Honduras* Vol.2 (2), p. 6.
- Drago, M., López, M., & Sainz, T. (2006). Componentes bioactivos de alimentos funcionales de origen vegetal. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 37(4), pp. 58-68.
- Ebdon, J. S., & Gauch, H. G. (2002). Additive main effect and multiplicative interaction analysis of national turfgrass performance trial: I. Interpretation of genotype x environment interaction. *Crop. Science Issue 42*, pp. 489-496.
- Eberhart, S. A., & Russell, W. A. (1966). Stability Parameters for Comparing varieties. *Crop Science* 6, pp. 36-40.
- Egesi, C. N., & otros. (2007). Genetic variation and genotype x environment interaction for yield and other agronomic traits in Cassava in Nigeria. *Agronomy Journal* 99:1137-1142, V(99), pp. 1137-1142.
- Estrada, R., Medina, T., & Roldan, A. (2006). Manual para caracterización in situ de cultivos nativos. *Conceptos y procedimientos*. Lima, Perú.
- Finlay, K. W., & Wilkinson, G. N. (1963). The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. *Australian Journal of Agricultural Research* 14, pp. 742-754.
- Flores, D., Villalobos, E., Rojo, A., Palomino, M., & Martin, Y. (2018). Protección Osteoarticular de *Zea mays L. Variedad*. *Perú Medicina Experimental Salud Pública*, p. 8.

- Frutos Bernal, E., 2011. *Interacción genotipo-ambiente: GGE biplot y Modelos AMMI*, (Tesis maestría). Universidad de Salamanca, España, p. 76.
- Galindo, L. R. (2018). *Nivel de aceptabilidad sensorial de extruidos de quinua con maíz morado como una alternativa de alimentación saludable*. (Tesis maestría). Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, p.105.
- Gabriel, J. (2010). Estrategias y perspectivas del mejoramiento genético en papa (*Solanum tuberosum* L.) en Bolivia. *Fundación PROINPA*, p. 62.
- Gabriel, K. R., 1971. The biplot graphic display of matrices with application to principal component analysis. *Biometrika*, Volumen 58, pp. 453-467.
- García, P., Pérez, A., Silva, R., Álvarez, R., Pedro, M., & Taramona, L. (2020). *Evaluación del potencial agronómico de híbridos de maíz amarillo basado en el análisis GGE biplot y el modelo AMMI*. *Bioagro*, pp. 95 -106.
- Garay, A., & Cruz, J. (2015). El cultivo de maíz . *San Luis, ED. INTA. Buenos Aires, Argentina* , pp. 31.
- Gauch, H., & Zobel, R. (1996). AMMI Analysis of Yield Trials. In: Kang, M.S. and Gauch, H.G., Eds., *Genotype by Environment Interaction*, CRC Press. *Boca Raton*, pp, 85 - 125.
- Gauch, H. G., 1992. *Statistical analysis of regional yield trials*. s.l.:*Cornell University. Ithaca, N.Y., USA*. pp 278.
- Gauch, H. G. & Zobel, R. W., 1997. Identifying mega-environments and targeting genotypes. *Crop Science*, Volumen 37, pp. 311-326.
- García, P., Pérez, I., Prieto, G., Medina, D., Manayay, D., Marin, C., . . . Medina, A. (2021). *Interacción genotipoambiente y potencial productivo de 25 variedades de maíz amiláceo en la provincia de Tayacaja, Perú*. *Bioagro*, pp. 67 -68.

- González, María, Estévez; Ana; Castillo, J.G.; Salomón, J. L.; Valera, M.; Ortiz, Úrsula.,
Ortiz, E. (2003). Análisis de la estabilidad genotípica en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.) mediante las representaciones biplots. *Cultivos Tropicales. Volumen 24, N°1 Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas La Habana, Cuba*, pp. 81-84.
- Guillen, J., Mori, S y Paucar, L. (2014). Características y propiedades funcionales del maíz morado (*Zea mays* L.) var. Subnigroviolaceo. *Scientia Agropecuaria* Vol.5 no.4, p. 9.
- Hernández, R. (2018). *Estabilidad de rendimiento y calidad de semilla de progenitores de híbridos de maíz en valles altos de México*. (Tesis postgrado). Institución de enseñanza e investigación en ciencias agrícolas. Montecillo, Texcoco, Estado de México, pp. 146.
- Huanuqueño, H., Zolla, G., & Jimenez, J. (2022). Selección de líneas estables y de alto rendimiento de maíz morado (*Zea mays* L.) var. reventón usando el índice de estabilidad de múltiples caracteres (MTSI). *SCIELO*, Vol. 13 N°2, p. 9.
- INEI. (2022). Estadísticas sectoriales: producción agropecuaria, según principales productos. *Instituto Nacional de Estadística e Informática*. Obtenido de <https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/economia/>
- Asociación de fondo de investigadores y editores. (2006). *Biología. Una perspectiva evolutiva. Tomo I*. pp. 536 – 636. Lima, Perú.: LUMBRERAS. Editores.
- Jalata, J. (2011). *GGE- biplot analysis of multi-environment yield trials of barley (Hordeum vulgare* L.), genotype. *International Journal of plant Breeding and Genetics*, 5(1), pp. 59 - 75.
- Kang, M. S., 1997. Using genotype by environment interaction for crop cultivar development. *Advances in Agronomy*, Volumen 62, pp. 199-246.
- Kang, M., & Gauch, H. (1996). Genotype by-environment interaction. *CRC Press*.

- Khoo, H., Azlan, A., Tang, S., & Lim, S. (2017). Anthocyanidins and anthocyanins: colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and potential health benefits. *Review. Food Nutr*, pp. 61.
- Lavado, A. (2016). *Efectos de niveles de bioabonos en el rendimiento betarraga (Beta vulgaris L.), en condiciones edafoclimáticas del instituto de investigación frutícola, frutícola olerícola Cayhuana 2015*. (Tesis de pregrado). Universidad Hermilio Valdizan Huanuco, Perú. pp, 1 – 75.
- Lagos, T., & Benavides, C. (2015). Comportamiento agronómico de poblaciones de maíz amarillo *Zea mays L.* en la región andina del departamento de Nariño. *Revista De Ciencias Agrícolas Artículo De Investigación*, p. 12.
- Laing, D. (1978). Adaptabilidad y estabilidad en el comportamiento de plantas de frijol común. *Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali. CO*, p, 24.
- Lao, F., & Sigurdson, T. a. (2017.). Health benefits of purple corn (*Zea mays L.*) phenolic compounds. *Comprehensive review in Food Science and Food Safety.*, 14(1), pp. 20-40.
- Lazo, N. (1999). Fertilización potásica y fosfórica en el rendimiento de maíz morado (*Zea mays L.*) P.M. 581, El Cural - Arequipa. *Escuela Profesional de Agronomía, UNSA, Arequipa.*, pp. 146.
- Li, Y., Kim, W., & Won, R. (2008). Corn husk as a potential source of anthocyanins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, p, 56.
- Lin, C., Binns, M. & Lefkovitch, L., 1986. Stability analysis: where do we stand?. *Crop Science*, Volumen 26, pp. 894-900.
- Lon, E., & Hernandez, R. (2024). Efecto nutracéutico de compuestos bioactivos del maíz morado(*Zea mays L.*) Utilizados en prevención y tratamiento de enfermedades crónicas degenerativas. *BIOTECH & ENGINEERING Untels. Feb-Jun.4(1), 2024; ISSN:2788 – 4295*, p, 42 - 45.

- Lopez, F., Vasquez, G., Molina, J., Garcia, J., Corona, T., Cruz, S., . . . Esquivel, G. (2017). Interacción genotipo-ambiente, estabilidad del rendimiento y calidad de grano en maíz Tuxpeño. *Revista mexicana ciencias agrícolas*, v 8(5), p. 16.
- Lozano, A., Santacruz, A., San Vicente, F., Crossa, J., Burgueño, J., & Molina, J. D. (2015). Modelación de la interacción genotipo x ambiente en rendimiento de híbridos de maíz blanco en ambientes múltiples. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38(4).
- Lynch, M., & Walsh, B. (1998). *Genetics and Analysis of Quantitative Traits USA*:. *Sinauer Associates Inc., USA*, p, 980.
- Mandel, J., 1971. A new analysis of variance model for no additive data. *Technometrics*, *Volumen 13*, pp. 1-18.
- Manrique, A. (1997). *El maíz en el Perú*. . Segunda edición.
- Marquez, Y., Salomón, J., & Acosta, R. (2020). Análisis de la interacción genotipo ambiente en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.). *SCIELO. Cultivos tropicales*., Vol 41, numero 1.
- Mederos, A., & Ortiz, R. (2021). Análisis de la interacción genotipo ambiente en el cultivo de la soya (*Glycine max* (L) Merrill). *Cultivos Tropicales*, p. 1.
- Medina, A., (2022). Guía del manejo del cultivo de maíz morado (*Zea mays* L.). *Lima – Perú. Editorial INIA*, pp.1- 158.
- Medina, A., Narro, L., & Chávez, A. (2020). Cultivo de maíz morado (*Zea mays* L.) en zona altoandina de Perú: Adaptación e identificación de cultivares de alto rendimiento y contenido de antocianina. *Scientia Agropecuaria, versión impresa ISSN2077-9917*, p.1.
- Medina, a., & Rabanal, M. (2021). Evaluación del rendimiento, características morfológicas y químicas de variedades del maíz morado (*Zea mays* L.) en la región Cajamarca-Perú. *SCIELO*, p. 11.

- Medina, A., Yoshino, M., Morita, T y Maruyama, H. (2016). *Proyecto Incremento de los ingresos Económicos de los Pequeños Productores Agrarios en la Región Cajamarca (IEPARC)*. Cajamarca, Perú: Martinez Compañón Editores S.R.L.
- Mendoza, G., Mendoza, M., Delgado, A., Castillo, F., Kato, T., & Cruz, S. (2017). *Antocianinas totales y parametros de color en líneas de maíz morado*. Rev Fitotec Mex Vol 40 (4), p, 479.
- MINAGRI. (2021). Analisis de mercado 2015 - 2021 Maiz Morado. Sierra y Selva Alta. *Unidad de inteligencia emocional*, p,48.
- MINAGRI. (2021). El maíz morado peruano un producto con alto contenido de antocianina, poderoso antioxidante natural. *Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego*, p,2.
- Exportaciones totales materias colorantes maiz morado (Antocianina):
- MINAGRI. (2019). *Estadística Agraria Mensual*.
- Morales, A., & Díaz, E. (2020). Influencia de la temperatura, precipitación y radiación solar en el rendimiento de maíz en el valle de Toluca, México. *Agrociencia*, p, 377 -389.
- Okoye, M. N., Okwuagwu, C. O. & Uguru, M. I., 2008. Genotype and genotype by environment (GGE) biplot analysis of fresh fruit bunch yield and yield components of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Journal of Applied Biosciences*, 8(1), pp. 288-303.
- Pallo, E., Mullo, V., & Suarez, A. (2021). Caracterización de la diversidad de variedades nativas de maíz (*Zea mays*) y papas (*Solanum tuberosum* L.) en las provincia de Tungurahua. *Ecuador. Polo del conocimiento*, p, 573 - 583.
- Parihar, C., & et al. (2016.). Conservation agriculture in irrigated intensive maize-based systems of north-western India: Effects on crop yields, water productivity and economic profitability. *Field Crops Research*, 193: p. 104 - 116.

- Pedraza, M., Idrogo, G y Pedraza, S. (2017). Densidad de siembra y comportamiento agronómico de tres variedades de maíz morado (*Zea mays L.*). *Revista ECIPerú, Volumen 14* (1), p 20- 40..
- Piepho, H. P., 1994. Best linear unbiased prediction (BLUP) for regional yield trials: a comparison to additive main effects multiplicative interaction (AMMI) analysis. *Theoretical Applied Genetics, Volumen 89*(5), pp. 647-654.
- Piepho, H. P., 1999. Stability analysis using the SAS system. *Agronomy Journal, Volumen 91*(1), pp. 154-160.
- Ponce, M., López, F., Chura, J., Hernández, E., Hernández, G., & Aragón, A. (2022). Interacción genotipo-ambiente del rendimiento en híbridos de maíz amarillo mediante AMMI y SREG. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 13* (7).
- INIA, (2020). Análisis estratégico del marco legal e institucional del mercado de semillas en el Perú. *Lima: CANDES*.
- Quijano, B. (2024). *Estabilidad de rendimiento de híbridos de maíz amarillo duro (Zea mays L.) en la Costa Norte del Perú*. (Tesis posgrado). Universidad Nacional La Molina, p,1 - 91.
- Rabanal, M., & Medina, A. (2022). Cultivares de maíz morado de alto rendimiento y contenido de antocianinas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 13*(3), 381-392.
- Rabanal, M., & Medina, A. (2021). Análisis de antocianinas en el maíz morado (*Zea mays L.*) del Perú y sus propiedades antioxidantes. *Terra Latinoamericana, p, 12*.
- Rafael, E. (2017). *Extracción y cuantificación de antocianinas de maíz morado (Zea mays L.) utilizando dos solventes a diferentes temperaturas y tiempos de extracción*. (Tesis pregrado),. Universidad Nacional de Cajamarca, 2017. Cajamarca. pp, 19–74.

- Rangel, M., Tucuch, I., Gómez, N., & Basto, D. B. (2020). Control de gorgojo (*Sitophilus zeamais* Motschulsky) con polvos de Epazote. *Rev. Fitotec. Mex.*, Vol. 43 (3), p, 307-315.
- Ramirez, J., Aleman, Y., Bautista, E., Vidal, V., Salinas, Y., & Ledesma, A. (2021). Estabilidad de rendimiento de híbridos de maíz amarillo duro (*Zea mays L.*) en la Costa Norte del Perú. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 44(2), 183 -192.
- Requis, F. (2012). Manejo agronomico del maíz morado en los valles interandinos del Perú. *Repositorio.inia.gob.pe, Serie folleto N° 1*, pp. 12 - 25.
- Romagosa, I. & Fox, P. N., 1993. Genotype x Environment interaction and adaptation. In: M.D. Hayward, N.O. Bosermark and I. Ramagosa (Eds.). *Plant breeding: Principles and prospects*, pp. 373-390.
- Romagosa, I., Voltas, J., Malosetti, M. & van Eeuwijk, F. A., (2009). Interacción Genotipo por Ambiente. *Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca.*, pp. 107- 135.
- Rueda, J. (2009). Evaluación de dos métodos de estabilidad fenotípicaa través de validación cruzada. *Revista Facultad Nacional de Agronomía- Medellín*, 62(2), 5111-5123.
- Salazar, L., Véliz, D., Mestanza, C., & Villacis, J. (2023). Respuesta agronómica de un híbrido de maíz (*Zea mays L.*) a diferentes densidades de siembra. *Revista Ciencia y Tecnología*, p, 17- 24.
- Salvador, B. (2006). *Química de los alimentos*. (Vol. Zaragoza España.). PEARSON EDUCACIÓN.
- SENAMHI. (2024). *Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú*. Cajamarca, Perú.
- Stelling, D., Ebmeyer, E., & Link, W. (1994). Yield stability in Faba bean, *Vicia faba L.* 2. Effects of heterozygosity and heterogeneity. *Plant Breeding*, 112, 30-39.

- Stroup, W. W. & Mulitze, D. K., 1991. Nearest neighbor adjusted best linear unbiased prediction. *The American Statistical*, Volumen 45, pp. 194-200.
- Syed, A., Rehana, A. & Ghulam, M., (2007). Yields stability analysis conferring adaptation of wheat to pre-and-post-anthesis drought conditions. *Pakistan Journal of Botany*, 39(5), pp. 1623-1637.
- Shukla, G., (1972). Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. *Heredity*, 29, pp. 237-245.
- SUNAT. (2020). Estadísticas y Estudios. Estadísticas de comercio exterior. *Boletines* 2000 - 2010. Lima, Perú.
- Tirado, R., & Mendoza, J. (2018). Interacción Genotipo x Ambiente en rendimiento de papa (*Solanum tuberosum* L.) con pulpa pigmentada en Cutervo, Perú. *SCIELO*, 34 (3), pp. 191-202.
- Tirado, C., Vasquez, V., & Narro, L. (2019). Estabilidad del rendimiento y adaptabilidad de híbridos de maíz tolerantes a suelos ácidos en base a las características del análisis GGE biplot estabilidad y adaptabilidad de maíz a suelos ácidos. *ACI Avances de Ciencias e Ingenierias*, 11(1), p, 14.
- Tirado, C., Vasquez, V., & Narro, L. (2019). Estabilidad del rendimiento y adaptabilidad de híbridos de maíz tolerantes a suelos ácidos en base a las características del análisis GGE biplot. *ACI Avances de Ciencias e Ingenierias*, 11(1), p, 14.
- Varillas, F.(2012). Manejo agronomico del maiz morado en los valles interandinos del Perú. *Instituto Nacional del Innovación agraria - INIA*, pp, 12 - 25.
- Vásquez, V., Huerta, P., Cabrera, H., & Jiménez, L. (2021). Interacción genotipo-ambiente en el rendimiento de genotipos de papa. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(2), p, 175-182.

- Vásquez, V., Cabrera, H., Jimenez, L., & Colunche, A. (2019). Estabilidad del rendimiento de genotipos de papa (*Solanum tuberosum* L.). *Universidad Nacional Agraria la Molina*. Lima – Perú, pp-pp,1- 7.
- Vásquez, 2014. Diseños experimentales con SAS. Edita CONCYTEC FONDECYT. Lima,
- Vasquez, V. (1990). *Experimentación Agrícola*. (Primera edición ed.). Cajamarca, Perú.: AMARU, Editores.
- Williams, E. J., 1952. The interpretation of interaction en factorial experiments. *Biometrika*, Volumen 39, pp. 65-81.
- Yan, W., Hunt, L., Sheng, Q., & Szlavnic, Z. (2000). Cultivar evaluation and megaenvironment investigation based on GGE biplot. *Crop Science*, 40(3), 597-605.
- Yan, W., 2001. GGE biplot – a Windows application for graphical analysis of multienvironment trial data and other types of two way data. *Agronomy Journal*, Volumen 93, pp. 1111-1118.
- Yan, W., & Kang, M. S. (2003). GGE biplot analysis: a graphical tool for breeders. *CRC Press, Boca Raton, FL*.
- Yan, W., & Tinker, N. A. (2006). Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Canadian Journal of Plant Science*, 86(3), 623-645.
- Yan, W., & otros, (2007). GGE biplot vs AMMI Analysis of Genotypes by Environment Data *Crop Science*, 47, p, 641 – 653.
- Yan, W. ..., & Hunt, L. (2002). Biplot analysis of multi-environment trial data. In: Kang M.S. ed Quantitative Genetics, Genomics and plant Breeding. *Cabi publishing*, p, 289 - 303
- Yan, W., Hunt, L. A., Sheng, Q. & Szlavnic, Z., 2000. Cultivar evaluation and mega environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science*, Volumen, 40, pp. 597-605.

Zerón, A. (2010). Biotipos, fenotipos y genotipos. ¿De qué tipo somos? (Primera Parte).

Revista de Periodontología, 1(1), p, 1 - 8.

Zerón, A. (2011). Biotipos, fenotipos y genotipos. ¿Qué biotipo tenemos? (Segunda parte).

Revista Mexicana Periontología, V 2, Núm. 1, pp. 12.

Zobel, R. W., Wright, M. J. & Jr, H. G. (1988). Statistical analysis of yield trial. *Agronomy*

Journal, Volumen 80, pp. 388-393.

APENDICES:

Apéndice 1. Rendimiento y sus Componentes de 3 Variedades de Maíz Morado, En Cinco Localidades.

Tabla 24.

Producción (t ha-1) total de 3 variedades de maíz morado; parcela Shaullo

REPETICIONES								
Item	Variedad	I	II	III	IV	V	Total	Promedio
1	INIA 601	0.72	0.83	1.42	1.47	1.47	5.91	1.182
2	Canteño	0.62	1.46	1.61	1.77	2.37	7.83	1.566
3	MM	0.74	0.79	1.26	1.85	2.21	6.85	1.37
Total		2.08	3.08	4.29	5.09	6.05		
Promedio		0.69	1.03	1.43	1.70	2.02		

Tabla 25.

Producción (t ha-1) total de 3 variedades de maíz morado; parcela Vista Florida

REPETICIONES								
Item	Variedad	I	II	III	IV	V	Total	Promedio
1	INIA 601	1.39	1.41	1.66	1.70	2.02	8.18	1.636
2	Canteño	1.18	1.31	1.36	2.41	2.56	8.82	1.764
3	MM	0.7	0.84	1.1	1.65	1.87	6.16	1.232
Total		3.27	3.56	4.12	5.76	6.45		
Promedio		1.09	1.19	1.37	1.92	2.15		

Tabla 26.

Producción (t ha-1) total de 3 variedades de maíz morado; parcela Namora

REPETICIONES								
Item	Variedad	I	II	III	IV	V	Total	Promedio
1	INIA 601	0.42	0.57	0.65	0.89	1.13	3.66	0.732
2	Canteño	0.58	0.77	0.98	1.02	1.31	4.66	0.932
3	MM	0.32	0.42	0.42	0.65	0.99	2.8	0.56
Total		1.32	1.76	2.05	2.56	3.43		
Promedio		0.44	0.59	0.68	0.85	1.14		

Tabla 27.*Producción (t ha-1) total de 3 variedades de maíz morado; parcela Uchuy*

		REPETICIONES					Total	Promedio
Item	Variedad	I	II	III	IV	V		
1	INIA 601	0.95	1.11	1.11	1.16	1.53	5.86	1.172
2	Canteño	0.85	1.22	0.74	1.06	0.69	4.56	0.912
3	MM	0.94	1.04	0.79	0.74	1.13	4.64	0.928
Total		2.74	3.37	2.64	2.96	3.35		
Promedio		0.91	1.12	0.88	0.99	1.12		

Tabla 28.*Producción (t ha-1) total de 3 variedades de maíz morado; parcela Cajabamba*

		REPETICIONES					Total	Promedio
Item	Variedad	I	II	III	IV	V		
1	INIA 601	2.04	2.19	2.33	2.6	3.11	12.27	2.454
2	Canteño	1.28	2.06	2.29	3.32	3.32	12.27	2.454
3	MM	1.95	2	2.09	2.23	2.95	11.22	2.244
Total		5.27	6.25	6.71	8.15	9.38		
Promedio		1.76	2.08	2.24	2.72	3.13		

Tabla 29.*Producción (t ha-1) total de 3 genotipos de maíz morado por localidad*

	G1	G2	G3
Shaullo Chico	1.18	1.34	1.59
Vista Florida	1.63	1.23	1.76
Cajabamba	2.45	2.24	2.45
Namora	0.73	0.56	0.93
Uchuy	1.17	0.92	0.91

Tabla 30.

Porcentaje de concentración de antocianina de maíz morado en 5 localidades usando los datos de la tabla 30 con la ecuación

Ítem	Variedad	Localidad	Peso (gr)	Absorbancia	% Conc.	
1	Tusa	INIA 601	Shaullo	0.619	0.524	1.724
2	Tusa	INIA 601	Cajabamba	0.605	0.875	2.944
3	Tusa	INIA 601	Namora	0.604	0.945	3.188
4	Tusa	INIA 601	Vista florida	0.667	0.609	1.860
5	Tusa	INIA 601	Uchuy	0.603	0.662	2.237
6	Bráctea	INIA 601	Uchuy	0.651	0.720	2.254
7	Bráctea	INIA 601	Shaullo	0.602	1.301	4.402
8	Bráctea	INIA 601	Namora	0.607	0.981	3.293
9	Bráctea	INIA 601	Cajabamba	0.611	0.832	2.776
10	Bráctea	INIA 601	Vista florida	0.604	0.483	1.630
11	Tusa	MM	Cajabamba	0.607	0.702	2.357
12	Tusa	MM	Shaullo	0.603	1.251	4.227
13	Tusa	MM	Namora	0.623	0.932	3.049
14	Tusa	MM	Uchuy	0.603	1.333	4.506
15	Tusa	MM	Vista florida	0.601	1.354	4.589
16	Bráctea	MM	Namora	0.602	0.697	2.357
17	Bráctea	MM	Cajabamba	0.609	0.260	0.869
18	Bráctea	MM	Vista florida	0.644	0.192	0.607
19	Bráctea	MM	Uchuy	0.612	0.343	1.141
20	Bráctea	MM	Shaullo	0.602	0.943	3.189
21	Tusa	Testigo	Shaullo	0.603	1.476	4.983
22	Tusa	Testigo	Cajabamba	0.606	0.822	2.764
23	Tusa	Testigo	Namora	0.643	0.621	1.966
24	Tusa	Testigo	Vista florida	0.619	0.726	2.388
25	Tusa	Testigo	Uchuy	0.605	0.534	1.797
26	Bráctea	Testigo	Cajabamba	0.603	0.305	1.030
27	Bráctea	Testigo	Namora	0.602	0.191	0.646
28	Bráctea	Testigo	Vista florida	0.613	0.278	0.924
29	Bráctea	Testigo	Uchuy	0.609	0.027	0.090
30	Bráctea	Testigo	Shaullo	0.602	0.265	0.896

Nota: Porcentaje de concentración de maíz morado en 5 localidades usando los datos de la tabla 30 con la ecuación siguiente:

% Antocianina = Absorbancia (2000)/982/peso de coronta o bráctea. (Pronex, 2018).

Apéndice 2. Exposición fotográfica



Figura 8.

Siembra de maíz morado.



Figura 9.

Deshierbo y segunda fertilización nitrogenada



Figura 10.

Aporque de maíz



Figura 11.

Daño de aves a la mazorca de maíz morado



Figura 12.
Aplicación de aceite de comer en mazorca de maíz



Figura 13.
Toma de datos durante cosecha de maíz



Figura 14.
Selección de maíz por variedad



Figura 15.
Pudrición en mazorca



Figura 16.
Exposición del maíz morado en campo.

Evaluaciones de Laboratorio:



Figura 17.

Determinación del peso del beaker en la balanza analítica



Figura 19.

Colocación de beaker con imán

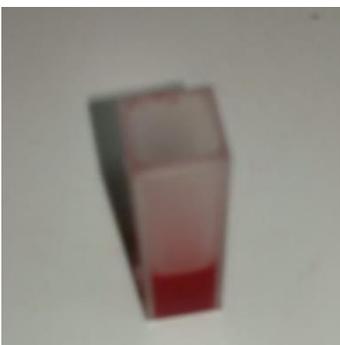


Figura 21.

Colocación de mezcla en celda



Figura 18.

Mezcla de ácido clorhídrico en alcohol



Figura 20.

Reposar a la muestra por 1 hora.



Figura 22.

Colocar la celda en el equipo electrostático

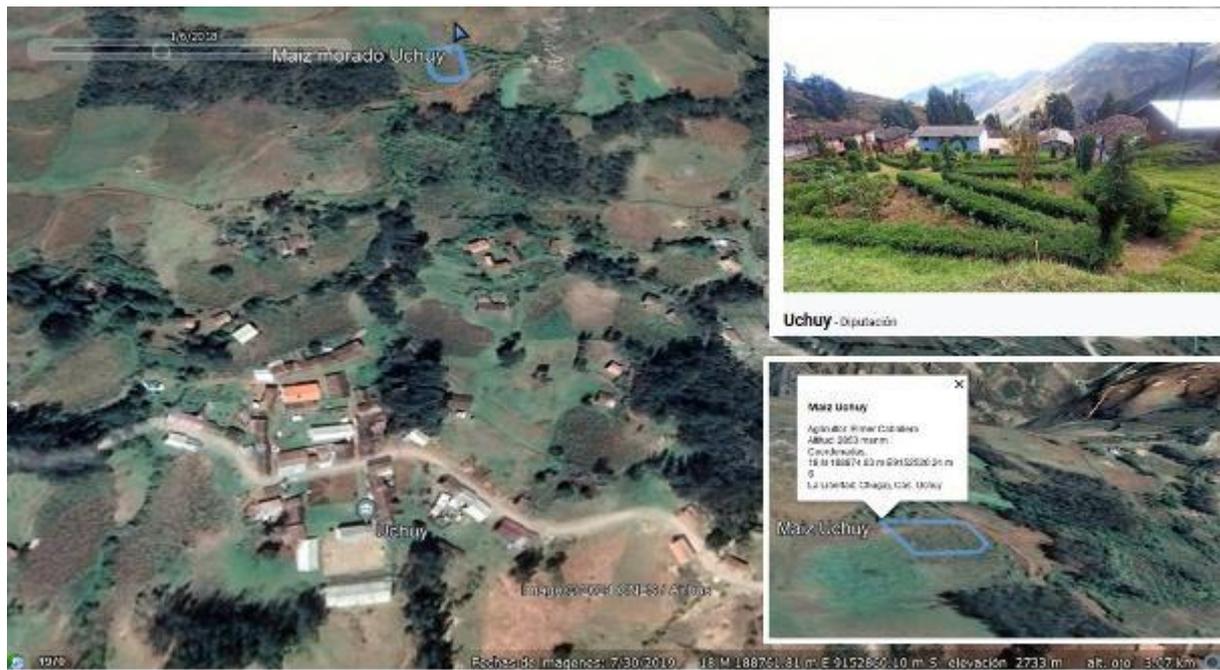


Figura 23.

Georreferenciación de la localidad de Uchuy – Región La Libertad



Figura 24.

Georreferenciación de la localidad de Vista Florida – Región La Libertad

Apéndice 3. Resultado de análisis de suelo.



PERÚ
Ministerio de Agricultura y Riego



Inia
Instituto Nacional de Innovación Agraria

"Año del Buen Servicio al Ciudadano"

LABORATORIO DE SERVICIO DE SUELOS

NOMBRE : **PNIA 012_PIT - JEAN PAUL DIAZ**

PROCEDENCIA: **Cajabamba** Fecha: **23/11/2017**

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

Nombre Parcela	Código Laboratorio	P Ppm	K Ppm	pH	M.O %	Al mg/100g	Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase Textural
	SU1304-EEBI-17	10.90	300.0	6.4	1.65	--	--	--	--	--

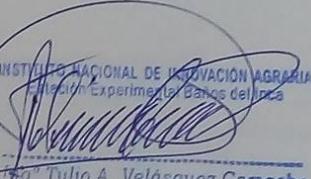
INTERPRETACIÓN

Fósforo (P) : MEDIO
 Potasio (K) : MEDIO
 pH (reacción) : **LIGERAMENTE ACIDO**
 Materia orgánica (M.O) : BAJO
 Clase textural : --

RECOMENDACIONES DE NUTRIENTES
Cultivo a Sembrar: MAIZ

NUTRIENTES	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CAL	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CAL	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CAL
	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Ton/ha	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Ton/ha	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Ton/ha
Cantidad	125	60	45	--								

Recomendaciones y Observaciones Especiales: **APLICAR 3.00 TON/HA ESTIERCOL BIEN DESCOMPUESTO**

Tullio A. Velásquez Camacho
JEFE LABORATORIO DE SUELOS

T: (051) 076 348386
 www.inia.gob.pe
 binca@inia.gob.pe



Trabajando para todos los peruanos

FOLIO:



LABORATORIO DE SERVICIO DE SUELOS

NOMBRE : **PNIA MAIZ**

PROCEDENCIA: Baños del Inca - Shaullo

Fecha: **06/10/2017**

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

Nombre Parcela	Código Laboratorio	P Ppm	K Ppm	pH	M.O %	Al meq/100g	Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase Textural
	SU0839-EEBI-17	11.45	250.0	5.4	1.01	0.10	--	--	--	--

INTERPRETACIÓN

Fósforo (P) : MEDIO
 Potasio (K) : BAJO
 pH (reacción) : **FUERTEMENTE ACIDO**
 Materia orgánica (M.O) : MUY BAJO
 Clase textural : --

RECOMENDACIONES DE NUTRIENTES

Cultivo a Sembrar: MAIZ

NUTRIENTES	N Kg/ha	P ₂ O ₅ Kg/ha	K ₂ O Kg/ha	CAL Ton/ha	N Kg/ha	P ₂ O ₅ Kg/ha	K ₂ O Kg/ha	CAL Ton/ha	N Kg/ha	P ₂ O ₅ Kg/ha	K ₂ O Kg/ha	CAL Ton/ha
Cantidad	120	60	50	--								

Recomendaciones y Observaciones Especiales: **APLICAR 3.00 TON/HA DE ESTIÉRCOL BIEN DESCOMPUESTO**



INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN AGRARIA
 Estación Experimental Baños del Inca

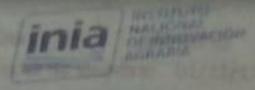
 Ing^o Julio A. Velásquez Camacho
 JEFE LABORATORIO DE SUELOS



PERU

Ministerio de Agricultura y Riego

Año del Buen Servicio al Ciudadano



LABORATORIO DE SERVICIO DE SUELOS

NOMBRE : PNIA MAIZ

Fecha: 06/10/2017

PROCEDENCIA: Namora - La Perla

RESULTADOS DEL ANALISIS

Nombre Parcela	Código Laboratorio	P Ppm	K Ppm	pH	M.O %	Al meq/100g	Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase Textural
	SU0841-EEBI-17	25.76	280.0	6.0	0.59	--	--	--	--	--

INTERPRETACIÓN

Fósforo (P) : ALTO
 Potasio (K) : MEDIO
 pH (reacción) : MODERADAMENTE ACIDO
 Materia orgánica (M.O) : MUY BAJO
 Clase textural : --

RECOMENDACIONES DE NUTRIENTES

Cultivo a Sembrar: MAIZ

NUTRIENTES	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CAL	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CAL	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Ton/ha	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Ton/ha	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha
Cantidad	120	50	45	--							

Recomendaciones y Observaciones Especiales: **APLICAR 3.00 TON/HA DE ESTIÉRCOL BIEN DESCOMPUESTO**



INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN AGRARIA
 Estación Experimental Baños del Inca