



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja
Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables
Carrera de Ingeniería Agronómica

Rendimiento y contenido de antocianinas en respuesta a la modificación de la relación fuente-sumidero en periodo pre y post-antesis en un genotipo local de maíz morado (*Zea mays* L.), establecido en el sector la Argelia, ciudad de Loja.

Trabajo de titulación previa
a la obtención del título de
Ingeniera Agrónoma

AUTORA:

Veronica Aracely Maza Poma

DIRECTORA:

Dra. Marlene Lorena Molina Müller *PhD.*

Loja-Ecuador
2022

Certificación

Dra. Marlene Lorena Molina Müller *PhD.*

DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he recibido la tesis realizada por la señorita egresada de la carrera de Ingeniería Agronómica, estudiante **Veronica Aracely Maza Poma**, autora del proyecto denominado: **“Rendimiento y contenido de antocianinas en respuesta a la modificación de la relación fuente-sumidero en periodo pre y post-antesis en un genotipo local de maíz morado (*Zea mays L.*), establecido en el sector la Argelia, ciudad de Loja”**. La misma es parte de los requisitos exigidos por la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables de la Universidad nacional de Loja, por lo que autorizo su presentación a las instancias correspondientes, para proseguir con los trámites que conllevan a su titulación.

Loja, 08 de agosto del 2022



Firmado digitalmente por:
**MARLENE LORENA
MOLINA MULLER**

Dra. Marlene Lorena Molina Müller *PhD.*

**DIRECTORA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Autoría

Yo, **Veronica Aracely Maza Poma**, declaro ser autora del presente trabajo de titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes Jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi trabajo de titulación en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

Firma: 

Cédula de identidad: 1106080235

Fecha: 26 de octubre de 2022

Correo electrónico: veronica.maza@unl.edu.ec

Teléfono: 0990151979

Carta de autorización por parte de la autora para consulta, reproducción parcial o total y publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.

Yo, **Veronica Aracely Maza Poma**, declaro ser autora del trabajo de titulación denominado: **“Rendimiento y contenido de antocianinas en respuesta a la modificación de la relación fuente-sumidero en periodo pre y post-antesis en un genotipo local de maíz morado (*Zea mays* L.), establecido en el sector la Argelia, ciudad de Loja”**, como requisito para optar por el título de **Ingeniera Agrónoma**, autorizo al sistema bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la universidad, a través de su visibilidad del contenido en el Repositorio Digital Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja no se responsabiliza por el plagio o copia del trabajo de titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja a los veintiséis días del mes de octubre del dos mil veintidós.

Firma: 

Autora: Veronica Aracely Maza Poma

Cédula: 1106080235

Dirección: Amable María

Correo electrónico: veronica.maza@unl.edu.ec

Teléfono: 0990151979

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del trabajo de Titulación: PhD. Marlene Lorena Molina Müller

Dedicatoria

Con el aprecio y consideración dedico mi trabajo a mis padres Aurelia y José quienes con su amor, paciencia y confianza me han permitido cumplir mis sueños y me han apoyado incondicionalmente en cada etapa de mi vida.

A mis hermanos, Johanna, Pablo, Daisy, John y Karina por su cariño y apoyo incondicional, por ser mi ejemplo e inspiración y compartir a mi lado todos los buenos y malos momentos.

Veronica Aracely Maza Poma

Agradecimiento

En primer lugar, le agradezco a Dios, por permitirme llegar con bien y salud hasta este punto de mi vida, por las enseñanzas y lecciones en el transcurso de mi vida estudiantil.

Agradezco a mi directora de tesis, Dra. Marlene Molina Müller, por su confianza, apoyo y asesoramiento en cada una de las etapas de desarrollo de mi trabajo de titulación. Así mismo a la Universidad Nacional de Loja, por brindarme la oportunidad de formarme como una profesional, y por brindarme el escenario necesario para llevar a cabo el proceso de investigación.

A la planta docente de la carrera de ingeniería agronómica y laboratorios, por sus conocimientos brindados, especialmente a la Ing. Beatriz Guerrero, técnica del laboratorio de Bromatología de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables.

A mis amigos, Tatiana, Yamileth y Eduardo., no existen palabras que puedan expresarles el infinito agradecimiento por su ayuda en el desarrollo de mi trabajo de titulación, quienes con su apoyo y esfuerzo me permitieron concluir todas las etapas de este trabajo, compartiendo conmigo sus conocimientos.

¡Jamás olvidare su apoyo incondicional!

Veronica Aracely Maza Poma

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización del Trabajo de Titulación	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de tablas	x
Índice de figuras	xi
Índice de anexos	xii
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1 Abstract.....	3
3. Introducción	4
3.1. Objetivo general	5
3.1.1. Objetivos específicos	5
4. Marco teórico	6
4.1. Maíz (<i>Zea mays</i> L.).....	6
4.2. Clasificación taxonómica	6
4.3. Morfología	6
4.4. Fenología	8
a) Estadios vegetativos	8
b) Estadios reproductivos	9
4.5. Variedades	10
4.6. Reproducción.....	11
4.7. Generalidades del maíz morado	11
4.7.1. Requerimientos edafoclimáticos.....	11
4.7.2. Requerimientos nutricionales	12

4.7.3.	Manejo agrotécnico del cultivo.....	12
4.7.4.	Densidad	12
4.8.	Biomasa	13
4.9.	Rendimiento.....	13
4.10.	Factores que influyen en el rendimiento.....	13
4.11.	Relación fuente sumidero en el cultivo de maíz.....	13
4.12.	Modificaciones en relación fuente sumidero.....	14
4.13.	Composición química de maíz	14
4.13.1.	Antocianinas en maíz	15
4.13.2.	Estructura de antocianinas	15
4.14.	Factores que influyen en la concentración de antocianinas.....	15
4.15.	Extracción.....	16
4.16.	Usos de las antocianinas de maíz	16
5.	Metodología	17
5.1.	Localización del área de estudio.....	17
5.2.	Metodología general	17
a)	Diseño experimental	18
b)	Esquema de campo de diseño experimental	18
c)	Modelo matemático del diseño experimental	18
d)	Tratamientos	19
e)	Establecimiento del ensayo	19
f)	Manejo agronómico del ensayo	20
g)	Análisis estadístico	20
5.3.	Metodologías para cada objetivo	20
5.3.1.	Metodología para primer objetivo	20
5.3.2.	Metodología para segundo objetivo	23
6.	Resultados.....	25
6.1.	Fenología del cultivo y condiciones climáticas	25
6.2.	Índice de área foliar	26
6.4.	Rendimiento y componentes del rendimiento en variedad de maíz morado.....	27
6.5.	Contenido de antocianinas.....	30
6.6.	Análisis de correlación de variables	31

7.	Discusión	32
8.	Conclusiones	36
9.	Recomendaciones	37
10.	Bibliografía	38
11.	Anexos	44

Índice de tablas

Tabla 1. Descripción de etapas de crecimiento fenológico de maíz (<i>Zea mays</i> L.) según la escala de Ritchie y Hanway (1982).....	21
Tabla 2. Acumulación térmica en estadios vegetativos y reproductivos de maíz morado.....	26
Tabla 3. Índice de área foliar en cultivo de maíz morado, establecido en La Quinta experimental Docente La Argelia de la Universidad Nacional de Loja.	27
Tabla 4. Biomasa acumulada en el cultivo de maíz morado establecido en La Quinta experimental Docente La Argelia de la Universidad Nacional de Loja.	27
Tabla 5. Componentes del rendimiento, rendimiento e índice de cosecha en el cultivo de maíz morado establecido en La Quinta experimental Docente La Argelia de la Universidad Nacional de Loja.....	30
Tabla 6. Contenido de antocianina ciadinina-3-glucósido (mg de antocianina/100g) en granos maíz morado expuestos a tratamientos de defoliación pre y post anthesis en hojas y mazorcas.....	30
Tabla 7. Correlaciones entre variables fisiológicas y componentes del rendimiento en maíz morado establecido en el sector La Argelia.....	31

Índice de figuras

Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio en el sector “La Argelia”, cantón y provincia Loja.....	17
Figura 2. Diseño completamente al Azar Unifactorial (DCA).....	18
Figura 3. Flujograma de extracción y cuantificación de antocianinas de maíz morado en laboratorio.....	24
Figura 4. Humedad relativa, temperatura promedio diaria y fenología de maíz morado y acumulación térmica registrada.....	25
Figura 5. a; Numero de granos por planta; b: Peso 100 granos (g); c: Rendimiento ($T\ ha^{-1}$); d: IC en el cultivo de maíz morado expuesto a tratamientos de defoliación pre y post anthesis en hojas y frutos.....	29

Índice de anexos

Anexo 1. Análisis de suelo.....	44
Anexo 2. Descripción de etapas de crecimiento fenológico de maíz (<i>Zea mays</i> L.) según la escala de Ritchie y Hanway (1982) descrita en la Universidad del Estado de Iowa.....	46
Anexo 3. Análisis estadísticos.....	48
Anexo 4. Cálculos de fertilización.....	51
Anexo 5. Fotografías.....	54
Anexo 6. Certificación de traducción	55

1. Título

Rendimiento y contenido de antocianinas en respuesta a la modificación de la relación fuente-sumidero en periodo pre y post-antesis en un genotipo local de maíz morado (*Zea mays* L.), establecido en el sector la Argelia, ciudad de Loja.

2. Resumen

El maíz (*Zea mays* L.) es un alimento importante en la canasta básica alimentaria, muchas variedades criollas poseen grano pigmentado debido a la presencia de carotenoides o flavonoides del tipo antocianinas (confieren al grano color). Actualmente existe una demanda importante de colorantes naturales alternativos debido a la toxicidad de los sintéticos, esto representa una oportunidad para el desarrollo de investigaciones direccionadas al aprovechamiento de antocianinas. La presente investigación se desarrolló con el objetivo de evaluar el rendimiento y contenido de antocianinas en maíz morado en respuesta a modificaciones fuente-sumidero en periodo pre y post antesis. En el ensayo se estableció un diseño completamente al azar, con 5 tratamientos y 5 repeticiones; se seleccionaron 10 plantas en cada unidad experimenta y se aplicaron tratamientos de 50 % defoliación y retiro de mazorcas en estado vegetativo y reproductivo. Al concluir con el ensayo se estableció que los tratamientos con retiro de mazorcas en etapas reproductivas en maíz morado disminuyeron la competencia entre mazorcas en la planta y denotaron un incremento en el rendimiento. Defoliaciones redujeron el índice de área foliar, sin embargo, no se establecieron reducciones estadísticas significativas en la biomasa seca aérea de la planta, denotando un incremento de la eficiencia de uso de radiación de las hojas que quedaron. El efecto de los tratamientos tuvo influencia en la reducción del rendimiento en sus componentes, como número y peso de granos; sin embargo, no se establecieron influencia de estas variables para contenido de antocianinas, es decir, modificaciones en fuente-sumidero en maíz no influyen en el contenido de antocianinas totales en el grano.

Palabras clave: Antocianina, maíz morado, relación fuente-destino.

2.1 Abstract

Maize (*Zea mays* L.) is an important food in the basic food basket, many native varieties have pigmented grain due to the presence of carotenoids or flavonoids of the anthocyanin type (which give the grain its color). Currently, there is an important demand for alternative natural colorants due to the toxicity of synthetic ones, which represents an opportunity for the development of research directed to the use of anthocyanins. The present research was developed with the objective of evaluating the yield and anthocyanin content in purple corn in response to source-sinker modifications in the pre- and post-anthesis period. In the trial, a completely randomized design was established, with 5 treatments and 5 replications; 10 plants were selected in each experimental unit and treatments of 50% defoliation and removal of ears in vegetative and reproductive stages were applied. At the conclusion of the trial, it was established that the treatments with removal of cobs in reproductive stages in purple corn decreased competition between cobs in the plant and showed an increase in yield. Defoliations reduced the leaf area index, however, no statistically significant reductions in aerial dry plant biomass were established, indicating an increase in the radiation use efficiency of the remaining leaves. The effect of the treatments had an influence on the reduction of yield in its components, such as number and weight of grains; however, no influence of these variables was established for anthocyanin content, that is, modifications in source-sinker in corn did not influence the total anthocyanin content in the grain.

Keywords: Anthocyanin, purple corn, source-sinker relation.

3. Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) es el rubro de mayor importancia dentro de la canasta alimentaria básica de la población, a nivel mundial destaca como alimento y fuente de productos industriales. Es el cereal con mayor volumen de producción, y por el alto grado de adaptabilidad y distribución, es considerado como el segundo cultivo del mundo (Polanco & Flores, 2017).

En el litoral de Ecuador, el rendimiento de este cultivo es bajo, debido principalmente al deficiente manejo tecnológico, donde se obtiene un promedio de 5 a 6 toneladas por hectárea, cuando hay países que sobrepasan las 10 toneladas por hectárea (Bernal, 2018). Esta situación, desmedra el hecho de que Ecuador es uno de los países que produce maíz de calidad a nivel mundial.

Aunque muchas de sus características son aprovechables dentro de la industria y alimentación, hay variedades de grano pigmentado en las cuales predominan carotenoides o flavonoides del tipo antocianinas, que confieren al grano color desde rojo tenue hasta púrpura intenso. Las antocianinas son pigmentos responsables de la coloración de maíz, y su concentración varía dependiendo de la variedad, sin embargo, las investigaciones son limitadas (Sánchez, 2016).

Las antocianinas presentes en el maíz son beneficiosas en el consumo humano pues poseen características importantes y ventajas de su consumo, entre ellas, ayudan a reforzar el sistema cardiovascular, actúan como antioxidante natural, tienen acción antiviral por tanto ayudan a combatir resfriados, infecciones y alergias, poseen propiedades anticancerígenas, antitumorales, antiinflamatorios y antidiabéticos, entre otras (Rubio *et al.*, 2005). En la actualidad existe una demanda importante de colorantes naturales alternativos a los colorantes sintéticos, debido a la toxicidad en alimentos, cosméticos y productos farmacéuticos. El potencial extra que poseen estas variedades criollas de maíz, representa una oportunidad y aprovechamiento competitivo como uso en colorantes para la industria (Garzón, 2018).

Existen pocos estudios relacionados al cultivo de maíz criollo, en cuanto a modificaciones de la relación fuente-sumidero, con variaciones de densidades y biomasa en las etapas vegetativas y reproductivas de la especie, y de su influencia en el rendimiento y contenido de antocianinas.

El cultivo de maíz criollo en la provincia de Loja, es un recurso importante para los sectores rurales, producido para autoconsumo y en menor proporción para la venta, esto se explica debido a que en la provincia existen variedades mejoradas con mayores rendimientos y mayor aceptación por el consumidor, es así que en el año 2020 en la provincia de Loja se cultivaron

867 ha de maíz en grano seco con un rendimiento de 1,7 t/ha y 2,98 t/ha para cosecha en choclo (INIAP, 2021).

Las variedades criollas se caracterizan por poseer coloraciones que van desde roja a violeta o morado, esto debido a la presencia de antocianinas, pigmento natural poco aprovechado en la actualidad, con propiedades bioactivas de aprovechamiento en la industria nutracéutica, alimentaria y textil (Mendoza *et. al.*, 2017).

Considerando lo antes mencionado, la presente investigación se realizó con el fin de identificar la influencia de las modificaciones fuente-sumidero en el rendimiento y contenido de antocianina en maíz morado.

3.1.Objetivo general

Determinar el rendimiento y contenido de antocianinas en respuesta a la modificación de la relación fuente-destino en periodo pre y post-antesis en un genotipo local de maíz morado establecido en el sector la Argelia, ciudad de Loja.

3.1.1. Objetivos específicos

- Evaluar el rendimiento y sus componentes en respuesta a la modificación de la relación fuente-destino en periodo pre y post-antesis en un genotipo local de maíz morado.
- Cuantificar el contenido de antocianinas obtenido en respuesta a la modificación de la relación fuente-destino en periodo pre y post-antesis en un genotipo local de maíz morado.

4. Marco teórico

4.1. Maíz (*Zea mays* L.)

El maíz (*Zea mays* L.), pertenece a la familia Poaceae o también denominada gramínea, tribu Andropogoneae, constituye uno de los granos alimenticios más antiguos y que son cultivados. El maíz morado, variedad de *Zea mays* L., tiene su origen en países de Latinoamérica como México, Bolivia y Perú, y fue introducido en numerosos países por los pigmentos que posee. En el Perú, los estudios en maíz morado revelaron la presencia de la raza ancestral primitiva Kulli y la raza incipiente Morado Canteño, así como variedades derivadas de las razas (Quispe & Arroyo, 2011).

4.2. Clasificación taxonómica

El maíz es una especie de gramínea anual originaria de América e introducida en Europa en el siglo XVII. En la actualidad, es el grano con el mayor volumen de producción a nivel mundial, incluso supera al trigo y arroz. Según Medina *et al.*, (2018), la clasificación taxonómica del maíz es la siguiente:

Reino:	Plantae
División:	Angiospermae
Clase:	Monocotyledoneae
Subclase:	Commelinidae
Orden:	Poales
Familia:	Poaceae
Subfamilia:	Panicoidea
Tribu:	Andropogoneae
Genero:	<i>Zea</i>
Especie:	<i>Zea mays</i>
Nombre científico	<i>Zea mays</i> L.

4.3. Morfología

Muchas de las características morfológicas (arquitectura) de esta especie han evolucionado, y con el tiempo han existido modificaciones en altura, inserción y número de mazorcas, ciclos de maduración, tipos de granos, número de hilera por planta, número, longitud y anchuras de hojas (Paliwal, 2011). El maíz Criollo posee plantas de 2,2 a 3,2 m de altura, de 0-2 hileras de raíces secundarias, hojas muy largas, 1-2 mazorcas en posición superior a los 0.9 m de la base de las espigas. La inflorescencia masculina es muy larga y ramificada. Las mazorcas son de medianas

a largas, cilíndricas o ligeramente cónicas, de 12 a 16 hileras de granos, de endospermo duro y tamaño mediano, no dentado. El color de los granos es amarillo-naranja. Las mazorcas tienen un diámetro de 46-53 mm con un diámetro de la tusa de 28-41 mm (Acosta, 2010).

Según Ortega (2014), las características morfológicas que presenta esta especie son las siguientes:

- El sistema radicular presenta una parte de raíces adventicias seminales que constituye cerca del 52 % de la planta, además de ser el principal sistema de anclaje, fijación y absorción de la planta, mientras que el sistema nodular es el 48% de la masa total de raíces de la planta, a nivel del suelo suele sobresalir raíces secundarias (Guacho, 2014).
- El tallo formado presenta varias estructuras básicas denominada fitómero: meristemo apical, profilo, hojas e internudos. El tallo es simple, erecto, pudiendo alcanzar alturas entre 2 y 6 metros de altura, con numerosos nudos y entrenudos (Ortega, 2014).
- En cuanto a su sistema caulinar, cuando tienen tres hojas sobre la superficie son ya visibles las plántulas. Las hojas son alargadas y de gran tamaño, lanceoladas, alternas, paralelinervias, se encuentran abrazadas al tallo por medio de la vaina. Poseen vellosidad en el haz, los extremos de las hojas son muy afilados y cortantes (Guacho, 2014).
- Las panojas son las estructuras donde se desarrolla el grano en un número variable de hileras (12 a 16) produciendo de 300 a 1 000 granos; en total, el grano constituye alrededor del 42% del peso seco de la planta.
- Las plantas poseen las inflorescencias unisexuales masculina (raquis central con hileras de espiguillas pares) y femenina (mazorca y flores protegidas por brácteas) separadas dentro de la misma planta, aunque en un principio las dos contienen flores bisexuales, existe aborto de gineceos y estambres. Al final se encuentran inflorescencias femeninas o también denominado mazorca, elote o choclo, y masculinos o espiguillas, los estilos son largos, filiformes (Chilo, 2015).
- El fruto de las plantas de maíz es indehiscente, cariósipide. El pericarpio se encuentra unido a la testa de la semilla, y en fruto maduro se evidencia pared, embrión diploide y endosperma. El peso total del grano varía dependiendo de sus constituyentes, como peso total del grano (5-6%), aleurona (2-3%), embrión (12-13%), endospermo (80-85%) (Ortega, 2014).

4.4.Fenología

La fenología se refiere al estudio de la relación entre factores climáticos y el ciclo del cultivo. La escala de Ritchie y Hanway (1982), es una de las más utilizadas en investigaciones en el cultivo de maíz, en la cual se manejan caracteres morfológicos externos y se diferencian dos periodos principales vegetativo y reproductivo (Garay & Colazo, 2015):

a) Estadios vegetativos

Según Endicott *et al.*, (2015), las etapas vegetativas de maíz se clasifican en: VE o germinación y emergencia, etapas vegetativas tempranas (V1 a V5), etapas vegetativas intermedias (V6 a V11) y en etapas tardías (V12 a VT). Según la Asociación Andes (2019), las etapas o estadios vegetativos de maíz, son los siguientes:

Etapas VE (germinación y emergencia). La etapa VE (emergencia) llega cuando el coleóptilo brota de la superficie del suelo. Las plantas de maíz pueden emerger dentro de los 5-7 días siguientes a la siembra en condiciones de temperatura y humedad ideales. La germinación es la serie de procesos que incluyen desde la imbibición o absorción de agua por parte de la semilla, hasta emergencia de la radícula. El coleóptilo emerge de la superficie del suelo (Oñate, 2016).

Etapas V3 (tres hojas verdaderas). A los 8 días posteriores a la emergencia de la planta presenta 2 hojas y a los 12 días 3 hojas. En V3, el punto de crecimiento está todavía por debajo de la superficie. El tallo no se ha alargado mucho. Los pelos de la raíz están creciendo de las raíces nodales a medida que las raíces seminales dejan de crecer. La planta, hasta el estado V4 (cuatro hojas verdaderas), carece prácticamente de tallo (Endicott *et al.*, 2015).

Etapas V6 (seis hojas verdaderas). El punto de crecimiento y la espiga se elevan por encima de la superficie del suelo, el tallo comienza a alargarse. El sistema de raíces nodales crece a partir de los 3 o 4 nudos más bajos del tallo. El desarrollo de los macollos (hijuelos) depende de cada variedad, densidad de población, fertilidad y otras condiciones. En esta etapa se hace visible el collar de la hoja 6 (Deras, 2018).

Etapas V9 (nueve hojas verdaderas). La disección de una planta en etapa V9 muestra varios brotes de mazorcas (mazorcas potenciales). Estos se desarrollan en todos los nudos de la parte aérea, excepto los últimos 6 a 8 nudos debajo de la espiga. La espiga comienza a desarrollarse rápidamente. Para V10, el tiempo entre etapas de hojas nuevas se acorta a alrededor de dos a tres días (Endicott *et al.*, 2015).

Etapa V10 (diez hojas verdaderas). Cerca de V10, la planta de maíz comienza un rápido y sostenido incremento en el consumo de nutrientes y acumulación de peso seco, lo cual continuará hasta llegar a los estadios reproductivos. Se requieren altas cantidades de nutrientes y agua del suelo para cumplir con la demanda (Caiza, 2015).

Etapa V12 (doce hojas verdaderas). Aunque las espigas potenciales se forman justo antes de la formación de la panoja (V5), el número de hileras en cada espiga y el tamaño de la espiga se establecen en V12.

Etapa VT (Panojamiento). Se inicia aproximadamente 2-3 días antes de la emergencia de barbas, tiempo durante el cual la planta de maíz ha alcanzado su altura final y comienza la liberación del polen. El tiempo entre VT y R1 puede variar considerablemente en función del cultivar y de las condiciones ambientales (Figura 1.). El tiempo entre Vt y R1 puede variar considerablemente en función de cultivar y de las condiciones ambientales (Guzmán, 2017).

b) Estadios reproductivos

Según Endicott *et al.*, (2015), existe una etapa de transición de VT a R1, crucial para la determinación del rendimiento de los granos, en donde el brote de mazorcas superior se convierte en dominante. El desarrollo vegetativo está completo y la planta casi alcanza la máxima altura y pasa a estado reproductivo. Los seis estadios reproductivos que se describen a continuación se refieren principalmente al desarrollo del grano y sus partes.

Etapa R1 (emergencia de estigmas). La etapa R1 comienza cuando algunos estigmas son visibles fuera de las vainas. La etapa R1 empieza cuando algunos estigmas son visibles fuera de las vainas, 66 días después de la emergencia. Se requieren entre 2 y 3 días para que todas las barbas de una espiga queden expuestas y sean polinizadas. La polinización ocurre cuando una vez que un grano de polen cae en un estigma (polinización), se forma un tubo polínico, y lleva alrededor de 24 horas hacer crecer el estigma hacia abajo hasta el óvulo. Una vez que alcanza el óvulo, se produce la fertilización y el óvulo se convierte en un grano (Guzmán, 2017).

Etapa R2 (etapa de “Blíster”). La R2 ocurre de 10 a 14 días después de la aparición de los estigmas y se la denomina la etapa de “blíster”. Los granos en desarrollo tienen alrededor del 85 por ciento de humedad, se asemejan a un blíster, y el endospermo y el fluido interno son claros. A medida que los granos se expanden, las glumas se vuelven menos visibles (Endicott *et al.*, 2015).

Etapas R3 (grano lechoso). La R3 ocurre de 18 a 22 días después de la aparición de los estigmas, el grano es de color amarillo y su endospermo interno es blanco lechoso por la acumulación de almidón. Los granos presentan una rápida acumulación de materia seca y contiene aproximadamente 80% de humedad. Los granos presentan una rápida acumulación de materia seca y contiene aproximadamente 80% de humedad (Guzmán, 2017).

Etapas R4 (grano pastoso). La R4 ocurre de 24 a 28 días después de la aparición de los estigmas. La continua acumulación de almidón en el endospermo provoca que el fluido interno se transforme en una consistencia pastosa. Normalmente en esta etapa ya se han formado cuatro hojas embrionarias y el embrión ha crecido considerablemente en tamaño con respecto a la etapa R3 (Endicott *et al.*, 2015).

Etapas R5 (grano dentado) La R5 ocurre de 35 a 42 días después de la aparición de los estigmas y representa casi la mitad del tiempo de desarrollo reproductivo. Los granos se secan comenzando por la parte superior donde aparece una capa dura de almidón de color blanco. Condiciones adversas en esta etapa reducirán el rendimiento a través de una disminución del peso de los granos y no del número de granos (Ortega, 2014).

Se forma una línea “lechosa”, que crea una separación entre el almidón duro y el almidón suave. Su generación tiene lugar en la corona del grano y avanza hacia la base, o punta del grano, lo que normalmente toma alrededor de tres a cuatro semanas (Endicott *et al.*, 2015).

Etapas R6 (madurez fisiológica) La R6 ocurre de 60 a 65 días después de la aparición de los estigmas. Cuando todos los granos en la espiga han alcanzado su máximo peso seco o máxima acumulación de materia seca y se forma una abscisión marrón o negra en la zona de inserción del grano a la mazorca (punto negro o capa negra) (Ortega, 2014).

4.5. Variedades

En el Ecuador existe una gran diversidad genética, representada por alrededor de 29 razas de maíz, de las cuales 18 se han encontrado en la sierra y se caracterizan por ser de tipo harinoso y semiduros y las restantes se encuentran en la región litoral, siendo maíces de tipo duro cristalino. Entre las cuales se destacan Canguil, Sabanero Ecuatoriano, Cuzco Ecuatoriano, Mishca, Complejo Mishca-Chillo, Complejo Mishca-Huandango, Complejo Mishca-Kcello, Patillo Ecuatoriano, Racimo de Uva, Kcello Ecuatoriano, Chillo, Chulpi Ecuatoriano, Huandango, Montaña Ecuatoriano, Morochón, Blanco Harinoso Dentado, Cónico Dentado, Uchima, Clavito, Tusilla, Gallina, Pojoso Chico Ecuatoriano, Candela, Maíz Cubano, Tuxpeño,

Chococoño), seis de las cuales no están bien definidas (Blanco Blandito, Cholito Ecuatoriano, Yunga, Enano Gigante, Yunquillano, Yunqueño Ecuatoriano (Espinosa *et al.*, 2009).

Según el Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Ecuador posee materiales locales de maíz como el racimo de uva (maíz negro) y chulpis prolíficos (dos mazorcas) con el propósito de proporcionar a los agricultores nuevas alternativas de producción. El maíz morado (*Zea mays* L.) es integrante de la raza Kculli, una de las 52 razas que aún se cultiva en los Andes. Es único en el mundo por tener los granos, brácteas y la coronta (tusa) de color morado a negro debido a las antocianinas que poseen (Medina *et al.*, 2020).

4.6.Reproducción

En términos de producción, la panoja puede producir más de 1 000 000 de granos de polen, y la mazorca puede producir más de 1 000 estigmas, en consecuencia, hay aproximadamente de 1 000 a 1 500 veces más granos de polen que estigmas producidos. En teoría, de 20 a 30 plantas podrían fertilizar todos los estigmas en 1 acre (0,405 hectáreas), pero no todo el polen desprendido por una planta cae en un estigma (Endicott *et al.*, 2015).

4.7.Generalidades del maíz morado

Zea mays L. variedad morado, es una variedad genética la cual crece y es cultivada desde los 500 a 2 800 m.s.n.m en distintos tipos de climas y suelos, el cual crece en suelos desde ácidos a básicos en un rango de 5,0 a 8,0 de pH, posee una mazorca (tusa y grano) constituido en un 85% por grano y 15% por coronta (tusa), este fruto contiene el pigmento denominado antocianina, que se encuentra en mayor cantidad en la coronta y en menor proporción en el pericarpio (cáscara) del grano, siendo uno de los principales alimentos en la dieta peruana, utilizado frecuentemente en la preparación de bebidas como la chicha morada y postres como la mazamorra morada (Guillén, 2014).

4.7.1. Requerimientos edafoclimáticos

El maíz posee un rápido desarrollo vegetativo, alcanza hasta 5 m de altura, aunque normalmente su promedio varía de 2 a 2,50 metros en algunas variedades (Ortigoza *et al.*, 2019). En suelos idóneos para el cultivo del maíz como los de textura media (francos), fértiles, bien drenados, profundos y con elevada capacidad de retención para el agua. Crece bien en suelos con pH entre 5,5 y 7,8 fuera de estos límites suele aumentar o disminuir la disponibilidad de ciertos elementos y se produce toxicidad o carencia. Cuando el pH es inferior a 5,5 a menudo hay problemas de toxicidad por aluminio y manganeso, además de carencia de fósforo y magnesio; con un pH superior a 8,0 (o superior a 7,0 en suelos calcáreos) (Deras, 2018).

4.7.2. Requerimientos nutricionales

Nitrógeno. El Nitrógeno interviene en la formación de la clorofila, de las proteínas, de las vitaminas y de las fuentes de energía.

Fósforo. El fósforo no presenta movilidad en el suelo, por lo que debe realizarse una fertilización localizada con el total de la dosis a la siembra. Para facilitar su absorción por parte de las raíces, el fósforo debe aplicarse ubicándolo a 7 u 8 cm al lado de la hilera de siembra y 1 ó 2 cm por debajo de la semilla (Guillén, 2014).

Potasio. El potasio es muy importante para el vigor de las cañas y el buen crecimiento de la parte aérea del maíz. Un déficit de potasio se manifiesta en una amarillez de los bordes de las hojas inferiores. Además, se produce un debilitamiento de las raíces y una fragilidad en la caña hacia la madurez (Barros, 2011).

Las fertilizaciones son necesarias en tres momentos del crecimiento de la planta, V0 (siembra), V6 (25-30 dde) y V10 (40-42 dde), el 20% del fertilizante en el primero y, 40% en el segundo y último momento, para una proporción de 20-40-40%, con el fin de aumentar la eficiencia en el uso del N en el cultivo. En los tratamientos con fertilización de síntesis química industrial, se aplica el fertilizante 12-24-12 a una dosis de 90 kg N/ha (2250 g/distribuidos en la unidad experimental en parcelas de 30 m²), de acuerdo con los requerimientos del cultivo (Rodríguez & García, 2018).

4.7.3. Manejo agrotécnico del cultivo.

La labranza mínima es un método beneficioso para agricultores que tienen terrenos inclinados o con buen drenaje. Si la maleza tiene más de 50 cm de alto, se realiza una chapoda (corte del follaje seco) y, entre 8 a 15 días después, se debe aplicar un herbicida quemante como Paraquat o un traslocable como Glifosato. Si la preparación del suelo es mecanizada, es conveniente realizar un paso de arado, dos o tres pasos de rastra y si fuera posible, realizar una nivelación del suelo. Las rastreadas se pueden hacer a 15 ó 20 cm de profundidad dependiendo del tipo del suelo; el último paso de rastra es recomendable hacerlo antes de la siembra (Deras, 2018).

4.7.4. Densidad

El distanciamiento entre surco puede variar entre 0,80 a 0,90 cm y; entre plantas, 0,40 – 0,50 m, depositando 2 semillas en cada una de ellas, para obtener una densidad de 50.000 plantas por hectárea (Deras, 2018).

4.8. Biomasa

Mediante estudios realizados se menciona que la eficiencia en el desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz depende de la cantidad de biomasa que se distribuye hacia el grano, la tasa de crecimiento del cultivo es considerado un índice específico que refleja la productividad del cultivo, por lo que las plantas de maíz que alcanzan alturas más elevadas tienen rendimientos potenciales más altos, a pesar de ser esta una variable que depende de un número elevado de factores como el ambiente y la variedad de la semilla (Guamán *et al.*, 2020).

4.9. Rendimiento

Los rendimientos de grano de maíz varían entre genotipos, lo cual, dificulta la selección de cultivares con mayor adaptación a las condiciones ambientales de una misma localidad (Aguilar *et al.*, 2015). El maíz es considerado un cultivo transitorio. Según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), en el año 2019, la producción de maíz duro fue de 1 479 770 Tm, la superficie sembrada fue de 849 355 hectáreas, donde los cultivos importantes y de mayor producción a nivel nacional fueron; maíz duro seco, el arroz en cáscara y papa. A nivel nacional, la superficie sembrada de maíz duro, para este mismo año fue de 334 767 hectáreas; mientras que la superficie cosechada representó 322 846 hectáreas (INEC, 2019).

4.10. Factores que influyen en el rendimiento

En diferentes investigaciones se ha determinado que existen factores cuya variabilidad determina el rendimiento del cultivo, estos factores se evalúan por diferentes métodos. Algunos de los cuales influyen en el rendimiento son: longitud de la mazorca, diámetro de la mazorca y peso de la mazorca, número de hojas, altura de la planta, altura de inserción a la mazorca, y mazorcas por planta. Además de peso de 100 granos (P100 G, g), número de granos (NG, m²), número de hileras (NH) y número de granos por hilera (NGH) (Aguilar *et al.*, 2015).

4.11. Relación fuente sumidero en el cultivo de maíz

El rendimiento de un cultivo depende de la capacidad de acumular biomasa en los órganos cosechables, por lo que un incremento proporcional de la biomasa destinada a tales órganos asegura un incremento del rendimiento. Los asimilados, producidos por la fotosíntesis en los órganos “fuente” (principalmente las hojas), pueden ser almacenados o distribuidos vía floema entre los diferentes órganos “destino” de una planta (Meza, 2013).

En el cultivo de maíz, el balance de carbono en la planta está determinado por la reducción, asimilación y partición de carbono a las actividades como crecimiento, mantención y

acumulación de reservas, determinando así el rendimiento de las plantas, el cual también depende de la cantidad de biomasa que se distribuye al grano (Solorio & Martínez, 2016).

Este balance es el resultado de la demanda de carbono que ejercen los órganos sumideros (frutos, raíces y hojas en expansión) y las diferentes actividades que realiza la planta; y la oferta de carbono asimilado por los órganos fuente (principalmente hojas). Esta relación entre oferta y demanda de carbohidratos es conocida como la relación fuente-sumidero (Meza, 2013).

El elevado grado de translocación es un importante factor en el mantenimiento de altas tasas fotosintéticas en muchas plantas, de igual forma una inadecuada utilización de fotoasimilados y bajas tasas de translocación pueden resultar en una reducción de la fotosíntesis, manifestando una estrecha relación entre la potencia de fuente y la potencia de demanda en diferentes especies, incluyendo al maíz. Una mayor eficiencia en el uso de la radiación conlleva a valores máximos más elevados en la tasa de asimilación neta (TAN) y en los potenciales entre los órganos fuente y sumidero y por tanto a una mayor acumulación de biomasa en momentos próximos a la madurez fisiológica alcanzándose mayores rendimientos (Hernández & Soto, 2012).

4.12. Modificaciones en relación fuente sumidero.

El rendimiento de un cultivo depende de la capacidad de acumular biomasa en los órganos cosechables. Los asimilados, producidos por la fotosíntesis en las hojas (fuente), pueden ser almacenados o distribuidos vía floema entre diferentes órganos (destinos) de la planta. Modificaciones en las fuentes de fotoasimilados pueden modificar la concentración de traslocación de nutrientes hacia los órganos destino u órganos cosechables. En un ensayo en el cual se modificó la fuente de la planta mediante defoliaciones de cuatro a ocho hojas antes y durante el llenado de granos, se obtuvo una disminución del rendimiento (Ochoa *et al.*, 2012).

De igual manera al realizarse defoliaciones en una asociación maíz-frijol durante la prefloración se observó alteraciones en los componentes del rendimiento, rendimiento de grano, biomasa e índice de cosecha. En maíz la reducción de la fuente de fotosintatos ocasiona una disminución en el número de granos y en el rendimiento (Delgado *et al.*, 2018).

4.13. Composición química de maíz

Los componentes químicos en el maíz morado son: ácido salicílico, grasas, resinas, saponinas, sales de potasio y sodio, azufre y fósforo, y sus compuestos fenólicos, estos actúan como antioxidantes, secuestrando especies reactivas de oxígeno e inhibiendo las enzimas productoras de radicales libres (Guillén *et al.*, 2014).

4.13.1. Antocianinas en maíz

El vocablo antocianina deriva del griego *anthos* (flor) y *kyanos* (azul oscuro). Las antocianinas son encargadas de dar pigmentación rojiza, azulada o violeta de la mayoría de frutas y flores. Las plantas producen antocianinas, las cuales son metabolitos, secundarios (flavonoides) con propiedades antioxidantes que pueden incidir favorablemente sobre la salud al reducir la manifestación de enfermedades coronarias (Aguilera *et al.*, 2011).

4.13.2. Estructura de antocianinas

Las antocianinas son glucósidos de antocianidinas, pertenecientes a la familia de los flavonoides, compuestos por dos anillos aromáticos A y B unidos por una cadena de 3 C. Variaciones estructurales del anillo B resultan en seis antocianidinas conocidas. El color de las antocianinas depende del número y orientación de los grupos hidroxilo y metoxilo de la molécula (Garzón, 2008).

El color de las antocianinas depende de varios factores intrínsecos, como son los sustituyentes glicosídicos en las posiciones 3 y/o 5 con mono, di o trisacáridos y de acilación incrementando su solubilidad; demostrando que producen efectos en el tono de las antocianinas hacia las tonalidades púrpura y la posición de los mismos en el grupo flavilio (Guillén *et al.*, 2014).

4.14. Factores que influyen en la concentración de antocianinas

Las antocianinas están presentes en diferentes órganos de las plantas, tales como frutas, flores, tallos, hojas y raíces. Estos pigmentos son normalmente encontrados disueltos uniformemente en la solución vacuolar de células epidérmicas. Sin embargo, en ciertas especies, las antocianinas son localizadas en regiones discretas de la vacuola celular, llamadas antocianoplastos. La principal fuente de antocianinas son frutas rojas, principalmente bayas y uvas rojas, cereales, principalmente maíz morado, vegetales y vino rojo entre las bebidas (Aguilera *et al.*, 2011).

Las antocianinas empiezan a sintetizarse en etapas tempranas y continúan durante todo el ciclo del cultivo, a los 30 dds (etapa V9) se observa presencia de antocianinas en la vaina y láminas foliares del maíz. Durante la etapa de crecimiento y desarrollo en V12 se observa que la síntesis de antocianinas inicia en la parte basal de la planta para continuar en sentido acrópeto (de la base hacia el ápice) pigmentando en las vainas y láminas foliares de más edad.

La síntesis de antocianinas también se observa durante la etapa reproductiva de aparición de estigmas (R1) y etapa de ampolla o blíster (R2), 70 días después de siembra en donde ya es posible separar las brácteas, el raquis y el pedúnculo del estilo (mazorca tierna y lechosa)

superior. En esta etapa fenológica, el único órgano que no se encuentra pigmentado es el olote (parte central de la mazorca). De igual manera, durante el período comprendido entre 77 y 138 dds (R3-R6) se observa que en todos los órganos se sintetiza y acumula de antocianinas, el grano especialmente a partir de 90 dds es decir iniciando la etapa R4 (Mendoza, 2012).

4.15. Extracción

El contenido de antocianinas de raquis y de brácteas se midió mediante el método descrito por Jing y Giusti (2007) y Gorriti *et al.* (2009), y caracterizado mediante el método cromatográfico de HPLC (High Performance Liquid Chromatography) (Medina *et al.*, 2020).

En las últimas décadas se han realizado diversos estudios sobre las antocianinas del maíz, algunos con la finalidad de detectar su presencia en poblaciones nativas, razas y materiales mejorados, para estimar la concentración del pigmento y para definir los tipos de antocianinas (Mendoza *et al.*, 2017). Varios estudios sobre antocianinas en maíz se han realizado con un número limitado de muestras para cada color de grano, pero hay pocos estudios acerca de la variabilidad de antocianinas y actividad antioxidante entre recolectas de una misma raza y color de grano (Salinas *et al.*, 2012).

4.16. Usos de las antocianinas de maíz

Actualmente, el uso de colorantes sintéticos en alimentos ha sido cuestionado en los países desarrollados, ya que el consumo indiscriminado está ligado con el desarrollo de enfermedades degenerativas como algunos tipos de cáncer, además poseen propiedades funcionales debido a compuestos bioactivos (Guillén *et al.*, 2014).

En este contexto, nace la necesidad de sustituir estos compuestos sintéticos por otros naturales como las antocianinas presentes en el maíz, existiendo también muchas ventajas de su consumo, entre ellas, ayudar a reforzar el sistema cardiovascular, acción antiviral, anticancerígenas, entre otras (Rubio *et al.*, 2005).

5. Metodología

5.1. Localización del área de estudio

Esta investigación se realizó en la Quinta Experimental Docente “La Argelia” de la Universidad Nacional de Loja, parroquia San Sebastián, barrio La Argelia, cantón y provincia Loja (Figura 1). La misma se encuentra ubicada en las siguientes coordenadas. Latitud: 04° 02' 47" S Longitud: 79° 12' 59" W y Altitud: 2,135 m.s.n.m.

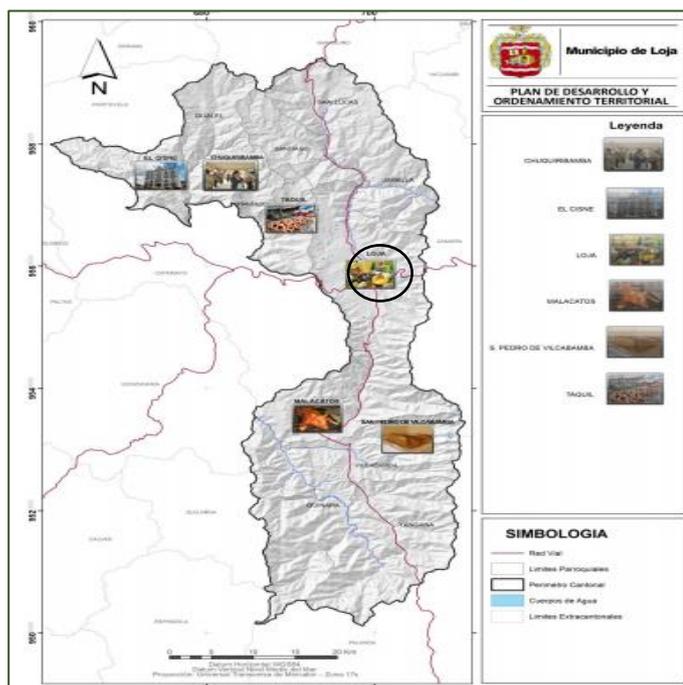


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio en el sector “La Argelia”, cantón y provincia Loja.
Fuente: Municipio de Loja

Según el sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge el sector “La Argelia” se establece como bosque húmedo, con un clima templado frío. Según la estación meteorológica “La Argelia”, 2015; en un registro de 42 años, las condiciones climáticas son las siguientes: una precipitación anual de 906,9 mm/año, temperatura media anual de 15,5 °C, temperatura máxima de 27,8 °C, temperatura mínima 3°C, humedad relativa máxima de 78 %, humedad relativa mínima de 72 %, humedad relativa media 74 % y una velocidad del viento media 3,1 m/s.

5.2. Metodología general

Esta investigación se realizó utilizando una variedad criolla de maíz morado “moteado” para todo el ensayo. Previo a la instalación se realizó un análisis de suelo para realizar un plan de fertilización y corrección.

a) Diseño experimental

El diseño experimental fue un diseño completamente al azar, con 5 tratamientos y 5 repeticiones (Figura 2).

b) Esquema de campo de diseño experimental

Se establecieron unidades experimentales de 3x3 m, con una densidad de 0,75x 0,2 m por planta. Se elaboraron caminos internos y externos a las unidades experimentales de 1 metro de distancia.

- ✓ **Tamaño parcela:** 3 metros de ancho y 3 metros de largo
- ✓ **Hileras por parcela:** 5 hileras
- ✓ **Espaciado:** 75 cm entre hilera y 20 cm entre plantas.
- ✓ **Distancia entre parcelas:** 1,50 metros.
- ✓ **Número total de parcelas (UE):** 25 parcelas.

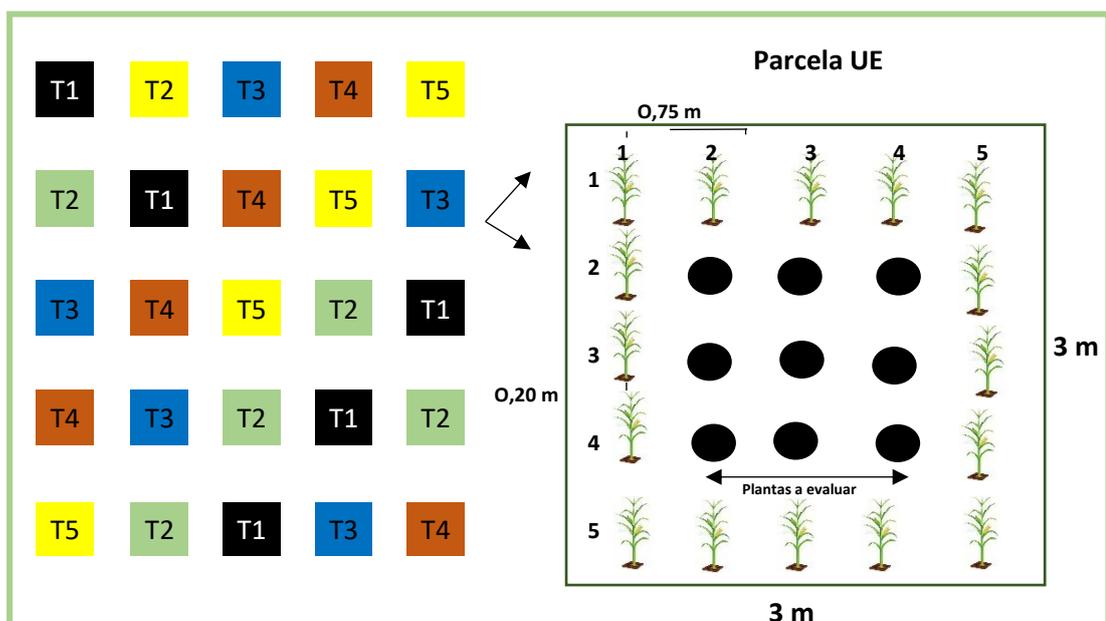


Figura 2. Diseño completamente al Azar Unifactorial (DCA)

c) Modelo matemático del diseño experimental

Considerando que se realizó un diseño completamente al azar, el modelo matemático a utilizar fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + t_i + E_{ij}$$

$i = 1, \dots, t$

$t = \text{número de tratamientos}$

$j = 1, \dots, n;$

n=número de repeticiones por tratamiento

Dónde:

μ =Media general o efecto del medio.

t_i =Efectos del i-ésimo tratamientos

E_{ij} = Error experimental

d) Tratamientos

Una vez establecidos las unidades experimentales, se destinaron 5 tratamientos y 5 repeticiones, incluido un control, dando un total de 25 unidades experimentales en todo el ensayo. Los tratamientos se aplicaron en 10 plantas por parcela seleccionadas en base a su etapa fenológica. Los tratamientos que se utilizaron fueron los siguientes:

- ✚ **T1:** Control
- ✚ **T2:** 50 porciento de defoliación pre-antesis.
- ✚ **T3:** 50 porciento de defoliación post-antesis.
- ✚ **T4:** 50 porciento de retiro de mazorcas en R1 o *Silking*, pre-antesis.
- ✚ **T5:** 50 porciento de retiro de mazorcas en R3, en post-antesis

El criterio de selección para el retiro de mazorcas fue el tamaño, madurez y ubicación dentro de la planta. Los tratamientos se aplicaron en las 3 hileras centrales de cada unidad experimental. Se realizaron defoliaciones del 50% del total de órganos fuente (hojas) en etapas vegetativa (VT) y reproductiva (R1 o aparición de estigmas), correspondientes a los tratamientos 2 y 3; además, se realizó retiro del 50 % de órganos reproductivo en etapa reproductiva R1 (aparición de estigmas) y R3 (grano lechoso) o llenado de granos.

e) Establecimiento del ensayo

La preparación de terreno se realizó con maquinaria agrícola (arado y rastra) a una profundidad de 0,3 m. Luego de nivelar, se estableció el diseño experimental planteado (Figura 2.) y se delimitó cada unidad de producción de 3 x 3 m, con sus respectivos caminos internos, bordes de cabecera, laterales y surcado.

Se realizó un análisis químico del suelo para la determinación de posibles correcciones. Se tomaron 15 submuestras de suelo en zigzag a una profundidad de 0,2 m y se mezclaron para obtener una muestra de 1 kg se suelo. Con el análisis se realizó un plan de fertilización (Anexo 6) y encalado. Según el análisis de suelo se denotó un pH de 5,99 (ligeramente ácido), y para su respectiva corrección se aplicó 5,2 ton/ha de carbonato de calcio (cal agrícola), es decir 117 kg/225m² de cal. La fecha de siembra se estableció el día 23 de septiembre de 2021, con un arreglo espacial de 0,75 entre surco y 0,2 m entre planta.

f) Manejo agronómico del ensayo

Se estableció el ensayo en los meses de septiembre (2021) hasta marzo (2022), se realizó monitoreos semanales para identificar plagas y enfermedades en el cultivo. Se controló arvenses (malezas) cada 15 días dependiendo de la severidad. Adicionalmente se llevó a cabo fertilizaciones parcializadas en tres etapas fenológicas, siembra, V6 y VT. Se tomó un registro fenológico de datos desde siembra hasta madurez fisiológica.

Después de culminar el ciclo del cultivo se cosechó y seleccionó muestras de grano de maíz que fueron trasladadas al laboratorio de bromatología de la Universidad Nacional de Loja, para sus respectivos análisis.

g) Análisis estadístico

En cuanto a la base de datos obtenida, se realizó un análisis de supuestos para corroborar la normalidad de los datos, y posteriormente proceder con un análisis estadístico, el cual consistió en un análisis de varianza (ANOVA) para determinar la existencia o no de diferencias significativas entre los tratamientos. En caso de existir diferencias significativas entre los tratamientos, se aplicó un Test de Tukey (95%) para identificar al mejor tratamiento. Posteriormente, se realizó un análisis de correlación de Pearson (95%) para identificar si existía relación entre las variables cuantitativas.

Todos los análisis antes mencionados se desarrollaron mediante el software estadístico InfoStat versión español 2015 (INFOSTAT, 2015) y las gráficas se realizaron en GraphPad Prism 7.

5.3. Metodologías para cada objetivo

5.3.1. Metodología para primer objetivo

Evaluar el rendimiento y sus componentes en respuesta a la modificación de la relación fuente-sumidero en periodo pre y post-antesis en un genotipo local de maíz.

a) Duración de etapas fenológicas

La duración de las diferentes etapas fenológicas del cultivo se registró en función de los cambios morfológicos y fisiológicos de la planta, utilizando la escala de Ritchie y Hanway (1982), citado y descrita en la Universidad del Estado de Iowa (Endicott *et al.*, 2015) como sistema del cuello de la hoja (Tabla 1). Cada estadio del cultivo se estableció cuando el 50% del total de plantas se encontraron en el mismo estadio fenológico. Los datos se recolectaron en función de nombre, código y descripción de cada etapa, además se consideró los días después de siembra.

Tabla 1. Descripción de etapas de crecimiento fenológico de maíz (*Zea mays* L.) según la escala de Ritchie y Hanway (1982).

Etapas vegetativas		Etapas reproductivas	
VE	Emergencia	R1	Aparición de los estigmas
V1	Primera hoja	R2	Blíster
V2	Segunda hoja	R3	Grano lechoso
V3	Tercera hoja	R4	Grano pastoso
V(n)	Enésima hoja	R5	Grano dentado
VT	Aparición de las panojas	R6	Grano maduro

La temperatura acumulada se determinó en unidades de tiempo térmico (TT), usando una temperatura base del cultivo de maíz de 7,5 °C (García & López, 2012):

$$TT (\text{°C d}) = \sum n (T_m - T_b)$$

Donde, TT es el tiempo térmico, T_m la temperatura media diaria, T_b la temperatura base y n el número de días.

b) Índice de área foliar (IAF)

Se determinó el IAF de 5 plantas de cada repetición, cuando el 50 % del cultivo alcanzó el estado fenológico prefloración o R3. Se obtuvo el área total por planta sumando los valores de cada hoja (largo x ancho x 0,75) utilizando el factor de ajuste para el cultivo de maíz (Tinoco, *et al.*, 2008). A continuación, se aplicó la fórmula (Días *et al.*, 2015):

$$IAF = \frac{(\text{área foliar})(\text{densidad población})}{\text{área sembrada}}$$

c) Biomasa seca aérea

Se tomaron muestras de plantas de las hileras centrales a 3 cm de la base del tallo para análisis de biomasa en la etapa R5. El peso seco de las muestras se determinó en hojas y tallos después de secar en horno durante tres días a 60 ± 5 °C, luego se pesó en una balanza granataria.

d) Rendimiento y componentes del rendimiento.

El rendimiento se obtuvo luego de la cosecha, se recolectaron las mazorcas de cada uno de los tratamientos, y se colocaron en fundas de papel previamente identificadas.

- Peso de raquis

Se realizó el desgrane de cada mazorca separando en fundas de papel, distinguiendo la parte media del grano y el raquis. Posteriormente se llevó a la estufa durante tres días a 60 ± 5 ° C, luego se pesó en la balanza granataria hasta que las muestras presentaran un peso constante, estableciendo el peso de raquis.

- **Número de granos por mazorca y peso de 100 granos**

Cada mazorca y raquis correspondiente a cada tratamiento se pesó en una balanza granataria, luego se contabilizó 100 semillas para luego pesar. Se estableció el número de granos por mazorca y planta en cada tratamiento para posteriormente expresarlo en número de granos por metro cuadrado en cada tratamiento.

- **Número de mazorcas por planta**

Al momento de la cosecha se contabilizó el número de mazorcas por planta dentro de cada tratamiento. Considerando las filas centrales que fueron utilizadas para la aplicación de tratamientos.

- **Rendimiento**

El rendimiento se obtuvo después de la cosecha, y previamente establecidos los componentes del rendimiento. Se tomaron en cuenta tanto número de mazorcas, número de granos por mazorcas y peso de grano. Para todos los tratamientos se utilizó semilla con 0 % de humedad, es decir previamente secada en estufa durante tres días a 60 ± 5 ° C hasta obtener un peso constante. Una vez obtenidos los componentes del rendimiento del maíz, se utilizó la siguiente fórmula (Carpio *et al.*, 2017):

$$R = NG \text{ m}^{-2} * PG$$

Donde:

R = rendimiento

$NG \text{ m}^{-2}$ = número de granos por metro cuadrado

PG = peso de granos

A continuación, se realizó la transformación a tonelada hectárea para su respectivo análisis.

e) **Índice de cosecha (IC)**

Se obtuvo después de la cosecha, una vez determinada la biomasa seca aérea y el rendimiento de cada unidad experimental, correspondiente a cada repetición y tratamiento. Se utilizó la siguiente fórmula (Larramendi *et al.*, 2016):

$$IC = \frac{\text{Rendimiento de grano (g m}^{-2}\text{)}}{\text{Biomasa aérea total (g m}^{-2}\text{)}} * 100$$

5.3.2. Metodología para segundo objetivo

Cuantificar el contenido de antocianinas obtenido en respuesta a la modificación de la relación fuente-destino en periodo pre y post-antesis un genotipo de maíz morado local de maíz.

El análisis del contenido de antocianinas se desarrolló en el laboratorio de bromatología y suelos de la Universidad Nacional de Loja, mediante lectura ultravioleta utilizando el método de pH diferencial, de acuerdo a Giusti & Wroslad (2001) modificado.

Al realizar la cosecha en cada tratamiento se tomó los granos de la parte central de la mazorca y se separaron en fundas de papel debidamente identificadas y llevadas a la estufa durante tres días a 60 ± 5 ° C. Una vez obtenida la materia seca se procedió a moler los granos y así obtener la muestra triturada.

- **Extracción.** Se pesó entre 10, 20 y 30 gramos, dependiendo de la coloración de la muestra. Se procedió a realizar 6 extracciones con metanol CH₃OH (70 %) acidificado con ácido clorhídrico al 0,01%, utilizando la relación 1 gramo de muestra:7,5 ml de CH₃OH (70%).
- Después de concentrar las muestras, se centrifugaron hasta quitar todo el sedimento, se calcularon concentraciones y dependiendo de cada muestra se realizó el cálculo de v/v, con un volumen final de 25 ml con pH 1 y pH 4,5 (Figura 3).
- **Medición de absorbancias.** Se realizó mediciones de absorbancia con pH 1 y pH 4,5 a 520 y 700 nm. Se finalizó aplicando la siguiente fórmula:
- **Fórmula de antocianina:** La fórmula de antocianinas se determinó utilizando la fórmula de acuerdo a Giusti & Wroslad (2001):

A= Absorbancia

PM= 449,2 g/mol de antocianina de muestra (Cianidina -3- glucósido)

FD= Factor de dilución volumen final/volumen de la muestra

e= Coeficiente de absorvidad molar 26900 L/mol*cm

l= Ancho de cubeta en cm.

$$A = \frac{A*PM*FD*1000}{e*l}$$

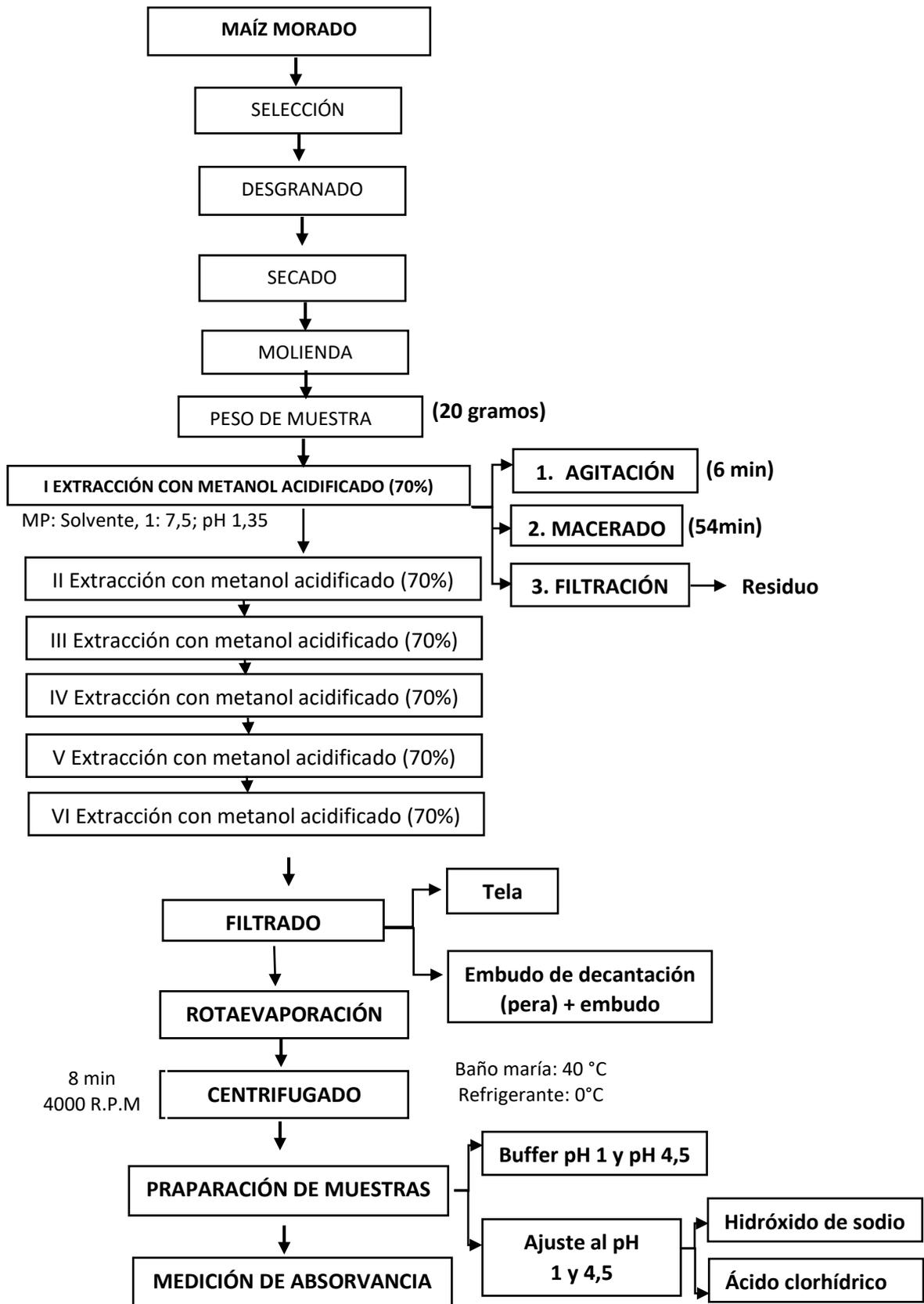


Figura 3. Flujograma de extracción y cuantificación de antocianinas de maíz morado en laboratorio.

6. Resultados

6.1. Fenología del cultivo y condiciones climáticas

En la Figura 3, se muestran las condiciones climáticas en las que se desarrolló el cultivo de maíz morado y su duración fenológica en las etapas vegetativas y reproductivas. Se evidencia una duración de la fenología de 169 días desde la siembra hasta su cosecha. En este periodo de desarrollo de la planta, se observó en el día 1 dds (días después de siembra) la temperatura más baja con 19,56 °C mientras que para los días -02 y -03 daa (días antes de antesis) se evidenciaron las temperaturas más altas de 21,80 y 21,95 °C respectivamente, es decir en plena prefloración.

Con respecto a la humedad relativa presentada, se observan los valores más altos a los 86-89 dds con valores que varían desde lo 75,20 % hasta los 78,43% de humedad, las épocas más secas se presentaron al inicio del ciclo fenológico, durante la emergencia de las plántulas, sin embargo, el valor mínimo correspondió a 60,75 % a los 6 dds.

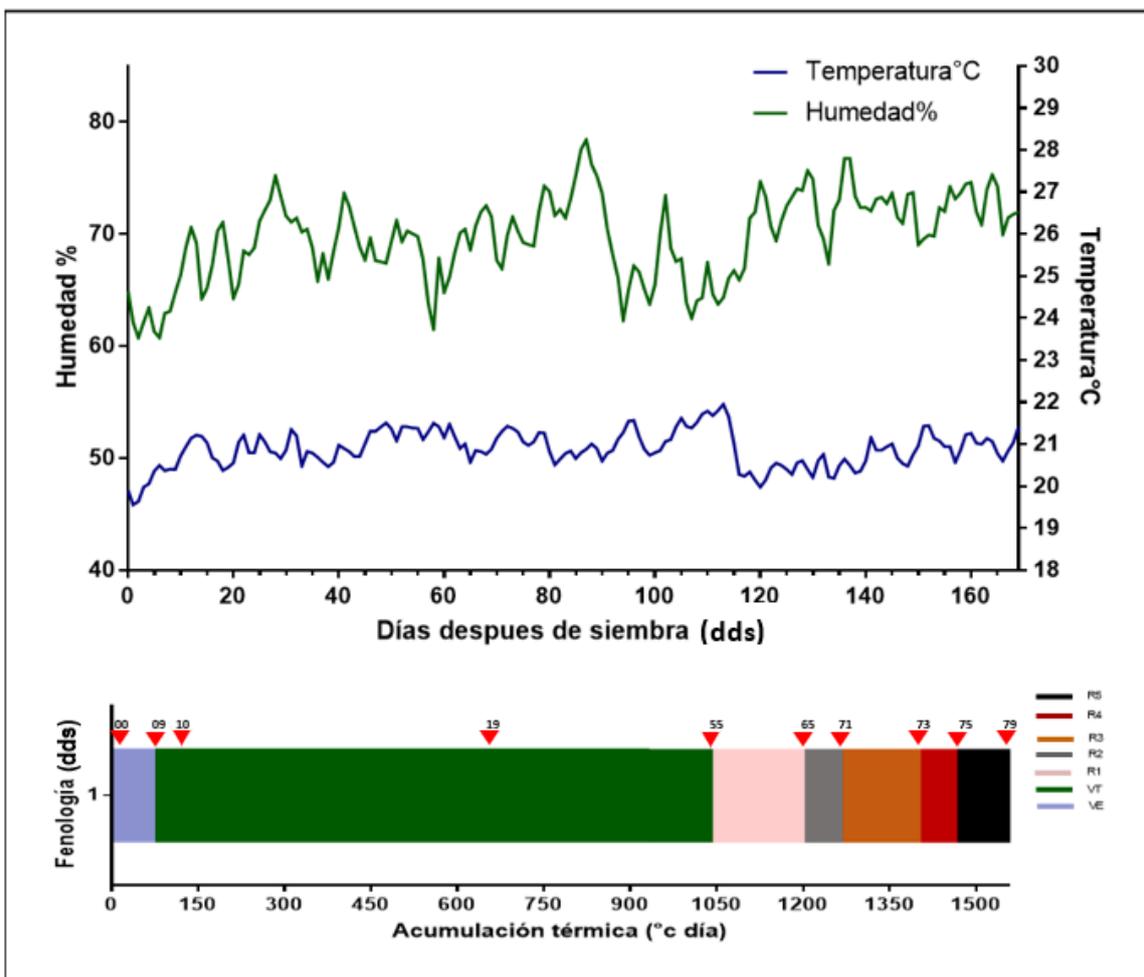


Figura 4. Humedad relativa, temperatura promedio diaria, fenología de maíz morado y acumulación térmica registrada. Las barras muestran la fenología del cultivo desde la siembra. Las fases fenológicas se muestran desde emergencia a grano dentado. Azul: emergencia; Verde: etapa vegetativa; Rosado: aparición de estigmas R1; Gris: Formación de grano R2; Naranja: grano lechoso R3; Rojo: grano pastoso R4 y Negro: grano dentado R5. Triángulos rojos muestran la escala BBCH.

El ciclo del cultivo tuvo una duración de 169 días (2276,28 °Cd) hasta su cosecha y no se establecieron diferencias por tratamientos. La emergencia de las plántulas BBCH 09 se observó alcanzados los 7 dds (100,38 °Cd), y posteriormente la aparición de la primera y segunda hoja a los 10-13 dds, su enésima hoja desplegada se observó alcanzados los 69 dds (1031,13 °Cd), posteriormente se evidenció un acelerado crecimiento del tallo y aparición de entrenudos a los 95 dds (1492,76 °Cd).

Los estadios reproductivos como aparición de estigmas R1 (BBCH 65), Blíster R2 (BBCH 71), grano lechoso R3 (BBCH 73), grano pastoso R4 (BBCH 75) y grano dentado R5 (BBCH 79) iniciaron a los 128 dds (1730,46 °Cd) y culminó a los 169 dds (2276,28 °Cd) como se identifica a continuación (Tabla 2).

Tabla 2. Acumulación térmica en estadios vegetativos y reproductivos de maíz morado.

Descripción etapas	Código	dds	Código BBCH	Tiempo Térmico (°C día)	Tiempo térmico acumulado (°C día)
Germinación	VE	7	09	100,38	100,38
Vegetativo	VT	111	55	1406,68	1507,05
Aparición de los estigmas	R1	128	65	223,40	1730,46
Formación de grano	R2	136	71	103,52	1833,98
Grano lechoso	R3	151	73	198,93	2032,91
Grano pastoso	R4	157	75	81,10	2114,00
Grano dentado	R5	169	79	162,27	2276,28

6.2. Índice de área foliar

El índice de área foliar en el cultivo de maíz morado presentó diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p < 0,001$; $p \leq 0,05$). El tratamiento 1 o control es el que presentó la media más alta, sin embargo, en el análisis realizado se evidencia que es estadísticamente igual a los tratamientos 4 y 5 que corresponden a retiro de mazorca en etapa reproductiva. Los tratamientos de defoliación pre y post anthesis obtuvieron menor media, y se identifican estadísticamente iguales (Tabla 3).

Tabla 3. Índice de área foliar en cultivo de maíz morado, establecido en La Quinta experimental Docente La Argelia de la Universidad Nacional de Loja.

Tratamiento	Media	Significancia
1	6,05	a
2	3,02	b
3	2,93	b
4	5,44	a
5	5,92	a

**Letras iguales en sentido vertical no expresan diferencia estadística significativa mediante prueba de Tukey (Alfa<0,05). Los valores son medias de cinco repeticiones. T1 (Control), T2 (defoliación pre antesis), T3 (defoliación post antesis), T4 (retiro de mazorca R1) y T5 (retiro de mazorca en etapa R3).*

6.3.Biomasa

La acumulación de biomasa total de las plantas al final del ciclo del cultivo en maíz morado no presentó diferencias significativas en ninguno de los tratamientos (Tabla 4), sin embargo, se observa que el tratamiento control o T1, es el tratamiento que obtuvo mayor media con respecto a los demás, cabe denotar que el T3 (defoliación) y T5 (Retiro de mazorca en R3) también presentaron medias importantes comparables con el resto de tratamientos.

Tabla 4. Biomasa acumulada en el cultivo de maíz morado expuestos a tratamientos de defoliación pre y post antesis en hojas y mazorcas en el cultivo de maíz morado establecido en La Quinta experimental Docente La Argelia de la Universidad Nacional de Loja.

Tratamiento	Media (g m ⁻²)
1	2340,79
2	1803,59
3	2119,4
4	1912,74
5	2199,4
Error estándar	155,99
Significancia	ns

T1 (Control), T2 (defoliación pre antesis), T3 (defoliación post antesis), T4 (retiro de mazorca o silking R1) y T5 (retiro de mazorca en etapa R3). Los valores son medias de cinco repeticiones; ns = no significativo.

6.4.Rendimiento y componentes del rendimiento en variedad de maíz morado.

Se encontraron diferencias significativas entre tratamientos para las variables, número de granos, peso de grano, rendimiento e índice de cosecha (Tabla 5).

El número de granos en el cultivo de maíz evidencia una reducción con la aplicación de los tratamientos de defoliación pre y post antesis (T2 y T3) con respecto al control (T1); sin embargo, también se observa una media importante en el tratamiento 5 o retiro de mazorcas en

R1(T4) (Figura 5, a). El peso de grano en los diferentes tratamientos tuvo un comportamiento similar evidenciándose mayores valores en las medias de los tratamientos con defoliaciones en etapa reproductiva, y denotando una reducción con respecto al control en los tratamientos T2 y T3 (defoliaciones).

El rendimiento está relacionado con variables de número y peso de grano. Aunque se observa un efecto de los tratamientos en el número de granos al evidenciarse una reducción, ésta no influyó en ningún tipo de compensación en el peso del grano (g) es decir, aunque con la reducción del número de granos se redujo la competencia dentro de la mazorca no influyó a un incremento en el peso de grano, según los datos de las medias de cada uno de los tratamientos. La variación en el número de granos y peso, aunque en menor medida, influyó en el rendimiento total por plantas en cada tratamiento (Figura 5. a,b).

La media más alta para rendimiento se encontró en el tratamiento T4 con una media de 214,93 granos a comparación del control con una media de 190,07 granos planta⁻¹; en los demás tratamientos se observa una reducción significativa. Con defoliaciones en las hojas de las plantas de cada tratamiento y en los dos momentos de aplicación (pre y post anthesis).

El IC fue diferente entre todos los tratamientos establecidos, este componente se vio alterado por la influencia de los tratamientos en el rendimiento y biomasa por tanto se observó un comportamiento similar a la de las demás variables evaluadas y establecidas (Figura 5, d).

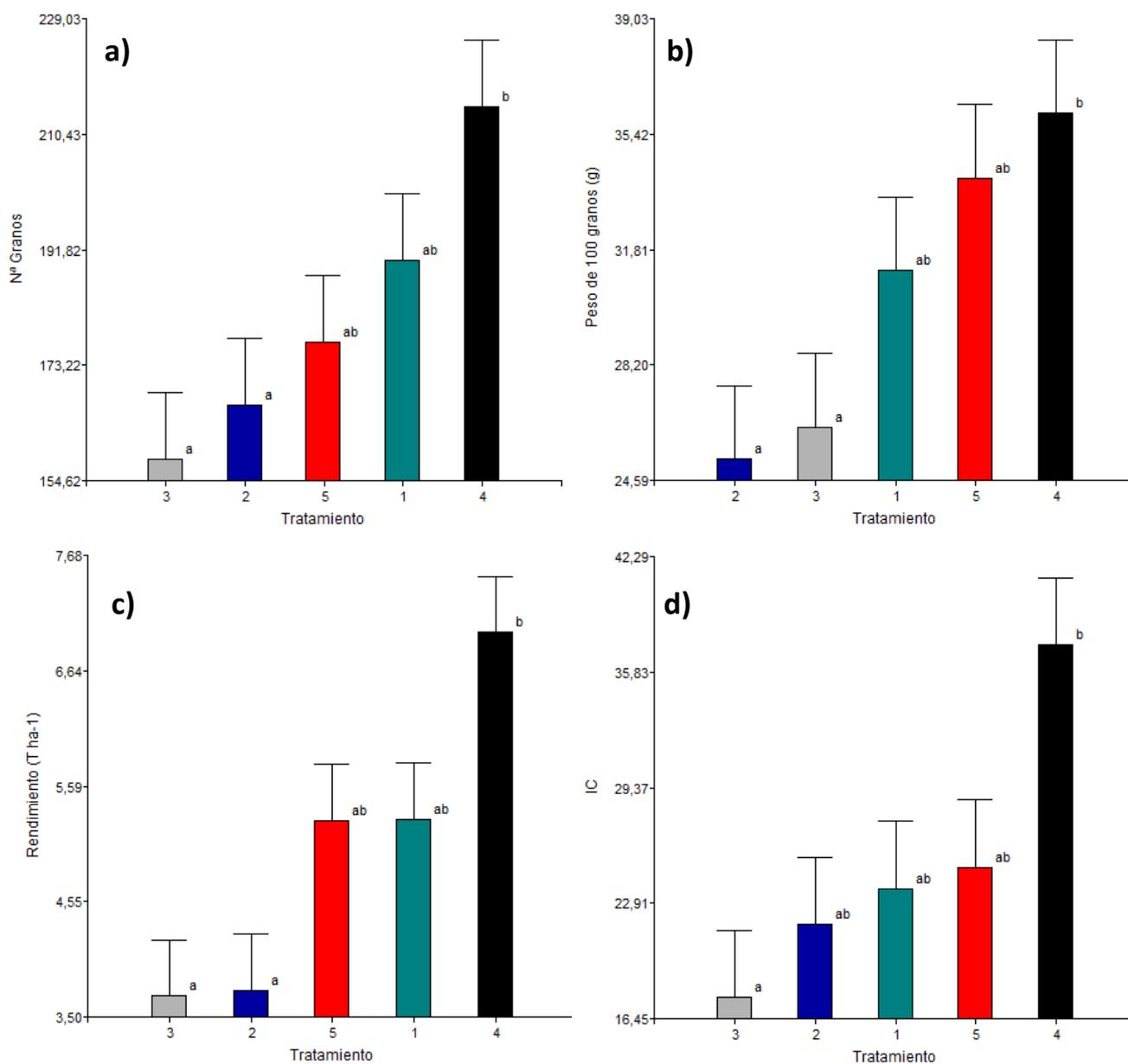


Figura 5. a; Número de granos por planta; b: Peso 100 granos (g); c: Rendimiento (T ha⁻¹); d: IC en el cultivo de maíz morado expuesto a tratamientos de defoliación pre y post antesis en hojas y frutos. T1 (Control), T2 (defoliación pre antesis), T3 (defoliación post antesis), T4 (retiro de mazorca o *silking* R1) y T5 (retiro de mazorca en etapa R3).

Para las variables largo de raquis y peso de raquis no se encontraron diferencias significativas, aunque se aprecia medias mayores para el largo de raquis al tratamiento control o T1 y T5. En el caso del peso de raquis se estableció como media más alta T5 (Tabla 5).

Según el análisis realizado en el número de granos, peso de granos, rendimiento e índice de cosecha T4 es estadísticamente diferente al resto de tratamientos; y se observa la influencia negativa de las defoliaciones en el rendimiento y en sus componentes.

Tabla 5. Componentes del rendimiento, rendimiento e índice de cosecha en el cultivo de maíz morado establecido en La Quinta experimental Docente La Argelia de la Universidad Nacional de Loja.

Tratamiento	Numero de granos (m ²)	Peso de 100 granos (g)	Largo de raquis (cm)	peso de raquis (g)	Índice de cosecha	Rendimiento (T ha ⁻¹)
1	190,07 ab	31,16 ab	14,73	5,81	23,72 ab	5,29 ab
2	166,73 b	25,25 b	15,77	5,05	21,72 ab	3,74 b
3	158,00 b	26,26 b	14,67	4,49	17,73 b	3,69 b
4	214,93 a	36,07 a	14,53	5,25	37,34 a	6,98 a
5	177 ab	34,04 ab	13,63	6,62	24,93 ab	5,29 ab
E. st	10,72	0,02	0,46	0,73	0,018	0,51
p	*	*	ns	ns	*	***

*Letras iguales en sentido vertical no expresan diferencia estadística significativa mediante prueba de Tukey (Alfa < 0,05). Los valores son medias de cinco repeticiones; ns = no significativo; * efecto significativo p<0,05; ** efecto significativo p<0,01; *** efecto significativo p<0,001: E. st = error estándar.

6.5. Contenido de antocianinas

De acuerdo al análisis de varianza, no existen diferencias significativas entre los tratamientos. Se denota que el tratamiento T3 es superior. No se establece influencia de los tratamientos en el contenido de antocianinas de granos de maíz. Entre las medias, se denota un menor contenido de antocianinas en el tratamiento 4, con 94,05 ml de antocianina por cada 100 gramos de muestra; mientras que en el tratamiento 3 o defoliación post anthesis existe la mayor concentración con 166,79 ml (Tabla 6).

Tabla 6. Contenido de antocianina cianidina-3-glucósido (mg de antocianina/100g) en granos maíz morado expuestos a tratamientos de defoliación pre y post anthesis en hojas y mazorcas. T1 (Control), T2 (defoliación pre anthesis), T3 (defoliación post anthesis), T4 (retiro de mazorca o silking R1) y T5 (retiro de mazorca en etapa R3).

Tratamiento	Media (mg de antocianina/100g)
1	149,82
2	156,49
3	166,79
4	94,05
5	121,59

6.6. Análisis de correlación de variables

La Tabla 7 muestra las principales correlaciones entre variables: biomasa, peso de grano, rendimiento, índice de cosecha, índice de área foliar, largo de raquis, peso de raquis y número de mazorcas por planta.

Los análisis de correlaciones se realizaron con el coeficiente de correlación de Pearson $>0,6$ y un nivel de significancia ($p < 0,05$). Las variables que presentaron mayor correlación son las siguientes: Índice de cosecha obtuvo correlaciones altas para número de grano ($r=0,65$; $p < 0,001$), biomasa ($r=0,55$; $p < 0,01$), peso de grano ($r=0,81$; $p < 0,0001$) y rendimiento ($r=0,87$; $p < 0,0001$).

El rendimiento obtuvo mayores correlaciones con número de granos ($r=0,82$; $p < 0,0001$) y peso de grano ($r=0,87$; $p < 0,0001$) y finalmente Peso de grano correlacionado con número de grano ($r=0,45$; $p < 0,05$).

Tabla 7. Correlaciones entre variables fisiológicas y componentes del rendimiento en maíz morado establecido en el sector La Argelia.

	B	PG	R	IC	IAF	LR	PR	NM
NG	0,01 ns	0,45*	0,82***	0,65***	-0,17 ns	-0,08 ns	0,01 ns	-0,16 ns
B		-0,38 ns	-0,12ns	-0,55**	-0,09 ns	-0,05 ns	0,18 ns	0,01 ns
PG			0,87***	0,81***	0,02 ns	-0,21 ns	0,42*	0,17 ns
R				-0,87***	-0,1 ns	-0,16 ns	0,21 ns	-0,1 ns
IC					-0,01 ns	-0,18 ns	0,18 ns	0,01 ns
IAF						0,04 ns	-0,06 ns	-0,02 ns
LR							0,19 ns	-0,05 ns
PR								0,09 ns

NG (número de granos), B (biomasa), PG (peso de grano), R (rendimiento), IC (índice de cosecha), IAF (índice de área foliar), LR (largo de raquis), PR (peso de raquis) y NMP (número de mazorcas por planta). Los valores son los coeficientes de Pearson de cinco repeticiones. ns efecto no significativo; * efecto significativo $p < 0,001$.

7. Discusión

La aplicación de los tratamientos de defoliación y retiro de mazorca tuvo influencia en el índice de área foliar, rendimiento e índice de cosecha. Al presentarse una reducción del 50% en el área de las hojas, conllevó a que los tratamientos control (T1) y retiro de mazorcas (T4 y T5) en etapa reproductiva obtuvieron mayores promedios de área foliar, estableciéndose estadísticamente iguales. Estos resultados concuerdan con las investigaciones realizadas por Covarrubias (2014), quien evaluó el efecto de cuatro niveles de defoliación (0, 1, 3 y 5 hojas por planta), sobre el área foliar y el rendimiento de grano de una línea pura de maíz y en donde se obtuvo una disminución significativa en el índice de área foliar (IAF), cuando el cultivo fue sometido a una defoliación más severa.

Se observa que no existen diferencias significativas en cuanto a la acumulación de biomasa entre tratamientos. Según Vélchez (2022), este hecho entre variables se explica posiblemente por la mejora de la tasa fotosintética por unidad de área foliar en las hojas que quedaron. En este contexto, Hernández & Soto (2016), señalan que la tasa de crecimiento está relacionada con la radiación que las hojas intercepten y de la eficiencia de conversión de esta en materia seca durante el ciclo de crecimiento, la cual depende de los recursos disponibles y del genotipo.

El rendimiento fue influenciado por la aplicación de los tratamientos de defoliación en órganos fuente, se denota que los valores más bajos se presentaron en plantas con tratamiento defoliación en etapa R1, así mismo lo reporta Papucci (2019), quien evaluó en el cultivo de maíz, los efectos de defoliaciones por daño sobre el rendimiento, peso de grano (P1000) y peso hectolítrico (PH), simulando un daño foliar (DF), aplicados en 8 periodos (2007-2014) en etapas R1-15, R1 y R+15, y en donde se encontró la mayor disminución del rendimiento en el tratamientos con quiebre de nervadura central en plena etapa R1. Según Ahumada & Cabada (2017) esto se debe a la intensidad y el momento del estrés, pues en este estadio es donde se fija el número potencial de granos por espiga.

Las defoliaciones en hojas en pre y postantesis evidenciaron una reducción en el número de granos explicándose por la disminución del índice de área foliar y la menor distribución de fotoasimilados en las etapas críticas de establecimiento de esta variable. Al realizarse reducciones de fuentes de fotoasimilados en etapa reproductiva R1 se redujo la capacidad fotosintética, pues esta aumenta hasta la madurez, disminuyendo luego con la edad. Así lo confirman Hernández & Soto (2016), quienes aseveran que, a valores más elevados de

eficiencia en el uso de la radiación y persistencia de área foliar, además de mayores acumulados de masa seca e IAF en estadios más próximos a la cosecha, implican una mayor eficiencia del cultivo y, por ende, un mayor rendimiento.

Modificaciones en las fuentes de fotoasimilados pueden variar la concentración de traslocación de nutrientes hacia los órganos destino u órganos cosechables. En un ensayo en el cual se modificó la fuente de la planta mediante defoliaciones de cuatro a ocho hojas antes y durante el llenado de granos, se obtuvo una disminución del rendimiento (Ochoa *et al.*, 2012). Esto se ratifica con los resultados obtenidos en un ensayo con defoliaciones en una asociación maíz-frijol en donde, durante la prefloración se observó alteraciones en los componentes del rendimiento, rendimiento de grano, biomasa e índice de cosecha, estableciendo que la reducción de la fuente de fotosintatos ocasiona una disminución en el número de granos y en el rendimiento en maíz (Delgado *et al.*, 2018).

En una investigación realizada en maíz se observó que el efecto de la defoliación en post-floración provocó caídas del peso de grano (-17%) determinadas por un acortamiento en la duración del llenado efectivo sin afectar la tasa de llenado (Gambín *et al.*, 2016); esto se contrasta con otra investigación en donde la reducción de fuente durante el llenado efectivo impactó negativamente sobre el peso de grano a través de un acortamiento del llenado y se destaca que la calidad de los granos se vio alterada, disminuyendo el porcentaje de aceite, proteína y almidón (Rivelli *et al.*, 2016).

Aunque se observa un efecto negativo de los tratamientos de defoliación en el número de granos, ésta no influyó en ningún tipo de compensación en el peso del grano, pues la manipulación fuente-sumidero se contrarresta, lo que causa un efecto nulo en el peso del grano, pero aún sí es notable la disminución en el rendimiento (debido a la reducción del número de granos) (Abeledo *et al.*, 2020). El periodo alrededor de la floración no sólo define el número de granos por planta, sino también el potencial del peso de grano. Esto revela que el periodo alrededor de la floración es más crítico en el establecimiento del rendimiento potencial de grano en esta especie (Gambín, 2016). Según Ahumada & Cabada (2017) la defoliación más próxima al momento de madurez fisiológica, no tiene gran influencia frente a defoliaciones severas, debido a que los granos ya están formados y el proceso de llenado de los mismos se encuentra en etapas finales.

Según Oveysi *et al.*, (2017), las defoliaciones post anthesis no limitan la capacidad de sumidero ni la potencia de la fuente (masa biológica), un mayor índice de cosecha establece que la

distribución de materia seca a los granos (relacionada con la capacidad de sumidero) no es afectada, lo que puede atribuirse a la utilización de gradientes de presión hidrostática y osmótica entre los granos y las hojas restantes después de la defoliación. El rendimiento fue mayor y altamente significativo para el tratamiento con retiro de mazorca en etapa reproductiva R1, esto evidenciando que la reducción de competencia en el establecimiento de la mazorca permite el incremento del rendimiento en el fruto. Sin embargo, Uhart & Andrade., (2016), aseguran que la reducción de la fuente de asimilados aumenta la duración del llenado del grano, mientras que la reducción de la capacidad de los sumideros reproductivos disminuyó la tasa de crecimiento de la mazorca.

El largo y peso de raquis no mostraron diferencias significativas entre tratamientos, estableciéndose poca variabilidad entre las medias, no se evidenció un efecto en positivo o negativo en estos valores, sin embargo, Uitzil *et al.*, (2016) asegura que, con defoliaciones artificiales en etapas reproductivas, se presentan reducciones en la longitud de la mazorca, la masa de la mazorca, la masa de grano y diámetro de la mazorca, aseverando que el daño al área foliar de la planta, incluso en la madurez fisiológica, afecta negativamente a los componentes del rendimiento del maíz.

La asimilación de antocianinas en las plantas de maíz morado se observa en el tallo durante las primeras etapas de crecimiento; después de los 70 dds se inicia en hojas y brácteas; en el grano la síntesis inicia durante la etapa reproductiva R2 (blíster) y R3 (grano lechoso) (Mendoza, 2018). Esta etapa de llenado de grano es la etapa crítica de establecimiento del rendimiento y en la que la planta se encuentra distribuyendo los foto asimilados desde los órganos fuente hacia su destino o fruto (mazorcas); no obstante no se establecieron diferencias significativas en el contenido de antocianinas totales en el grano de maíz morado, aunque se pudo identificar una media no significativa menor en el tratamiento de retiro del 50% de órganos femeninos en etapa R1 o formación de fruto y mayor en tratamientos con defoliaciones post anthesis. Las defoliaciones en el cultivo no demarcaron una reducción significativa en el contenido de antocianinas, por tanto, no existe influencia de las modificaciones fuente-sumidero en etapas vegetativas y reproductivas en el contenido de antocianos en maíz.

Aunque es limitada la información acerca de la influencia de modificaciones fuente-sumidero en el contenido de antocianinas, sí se ha establecido que las posibles diferenciaciones en esta variable están únicamente determinadas por la variedad o genotipo. Bautista (2016), determinó

que el rendimiento y el mayor contenido de antocianinas está relacionado con la variedad que se cultive y, no influye en el perfil de antocianinas o agliconas.

Las correlaciones realizadas a las variables de estudio identificaron correlaciones altas ($p > 0,001$) entre el rendimiento y número, peso de grano e índice de cosecha. La biomasa se encuentra relacionada a la variable índice de cosecha ($p > 0,01$).

Los rendimientos obtenidos en el presente ensayo se encuentran muy por debajo del promedio nacional, sin embargo, es necesario considerar las condiciones ambientales en las que se desarrolló el presente en ensayo, en el cual se evidenció los mayores rangos de temperatura de todo el ciclo de desarrollo, alrededor de los 113 dds, periodo en el cual el cultivo se encontraba en de plena floración, es decir periodo crítico para el establecimiento del rendimiento; de acuerdo con Valera *et al.*, (2017), las etapas cercanas a la floración son las de mayor susceptibilidad a alteraciones en la temperatura ambiental, debido especialmente a que durante estas etapas se definen los componentes principales del rendimiento de grano.

8. Conclusiones

- Modificaciones en la relación fuente-sumidero en periodo pre y post-antesis en maíz morado influyen en el número de granos, rendimiento e índice de cosecha.
- Los tratamientos con retiro de mazorcas en etapas reproductivas en maíz morado disminuyeron la competencia entre mazorcas en la planta y denotaron un incremento en el rendimiento, obteniendo valores que alcanzan los 6,98 T ha⁻¹.
- Defoliaciones redujeron el índice de área foliar, sin embargo, no se establecieron reducciones estadísticas significativas en la biomasa seca aérea de la planta, denotando un incremento de la eficiencia de uso de radiación de las hojas que quedaron.
- Defoliaciones en periodo pre y post antesis y retiro de mazorcas en etapas tempranas y tardías de reproducción no influyeron en el contenido de antocianinas en grano de maíz.

9. Recomendaciones

Implementar nuevas investigaciones de tipo experimental que incorporen más genotipos, localidades de estudio y pisos altitudinales, en el que se establezcan las posibles variaciones e incidencia de las condiciones de desarrollo en el contenido de antocianinas con defoliaciones y retiro de mazorcas pre-post antesis.

Desarrollar nuevas estrategias y metodologías para la extracción, análisis y cuantificación de antocianina en maíz y demás cultivos de interés agronómico que permitan incrementar y complementar resultados en tiempos oportunos.

Profundizar en el estudio de antocianinas en grano y corontas de maíz morado, abarcando composición química de los demás elementos que se encuentran en el mismo.

10. Bibliografía

- Abeledo, G., Savín, R., & Slafer, G. (2020). La senescencia del maíz bajo relaciones contrastantes de fuente-sumidero durante el periodo de llenado de grano . *Botánica Ambiental y Experimental*.
- Acosta , R. (2019). *El cultivo del maíz, su origen y clasificación*. Cuba : Cultivos Tropicales .
- Aguilar , C., Salvador , J., Aguilar , I., Apolinar , J., Conde , V., & Santos , A. (2015). *Rentabilidad y rentabilidad de maíz, en función del genotipo, biofertilizante y nitrógeno, en clima cálido*. Morelos, México: Agroecosistemas Tropical y subtropical.
- Aguilera , M., Reza , M., Chew , R., & Meza, J. (2011). *Propiedades Funcionales de las Antocianinas*. Sonora, México : Biotecnia.
- Álvarez, F. (2015). *Fertilización y densidad de plantas en el rendimiento de maíz*. Scielo, 7.
- Asociación Andes. (2019). *Manual de desarrollo vegetativo del maíz* . Lima, Perú : Oxfam Novib .
- Barros , A. (2011). *Manual de recomendaciones. Cultivo de maíz en grano*. Chile: Check Chile.
- Bautista , R. (2016). *Antocianina y rendimiento de variedades de maíz morado (Zea mays L.) Bajo labranza de conservación*. Ayacucho, 2016. SCIELO, 6.
- Bernal, M. (2018). *El productor, expectativas de las cosechas 2019*. *El Productor*, 28.
- Cabada , S., & Ahumada, M. (2017). Incidencia del daño foliar sobre el rendimiento del cultivo de maíz (Zea mays). *INTA*.
- Caiza , J. (2015). *Determinación del balance hídrico en el cultivo de maíz duro (Zea mays L.) BALZAR, GUAYAS*. Quito-Ecuador : Universidad central del ecuador .
- Carpio, C., Salvador, J., Aguilar, I., Mejía, J., Conde, V., & Santos, A. (2017). Eficiencia agronómica, rendimiento y rentabilidad de genotipos de maíz en función del nitrógeno. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* , 10.
- Cervantes, F., Gasca, M., Andrio, E., Mendoza, M., Guevara, L., Vázquez, F., & Rodríguez, S. (2014). *Densidad de población y correlaciones fenotípicas en caracteres agronomicos y de rendimiento en genotipos de maíz*. *Ciencia y tecnología Agropecuaria*.

- Chaqui, C. (2013). *Formación de una variedad experimental de maíz amarillo suave (Zea mays L.) TIPO "MISHCA" a partir de medios hermanos y hermanos completos. Tumbaco, pichincha. Quito – ecuador: universidad central del ecuador.*
- Chilo, E. (2015). *Caracterización morfológica y evaluación fenológica de sesenta y cinco entradas de maíz (zea mays l.) del banco de germoplasma del cica -k'ayra-cusco. Kayra-cusco: ciuf-unsaac.*
- Cirillo, A. (2011). *Efecto de densidades y fecha de siembra en cinco localidades (EEAs del INTA) del área maicera sin limitaciones hídricas. Buenos Aires : INTA .*
- Covarrubias, A. (2014). *Efecto de cuatro niveles de defoliación sobre el rendimiento de una línea pura de maíz. Universidad de Talca.*
- Delgado , R., Salvador , J., Díaz , R., Santos , T., Morales , E., & Sosa , E. (2018). *Defoliación en maíz y su efecto sobre el rendimiento de frijol-maíz en asociación de frijol-maíz en asociación. México: Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.*
- Deras , H. (2018). *Cultivo de Maíz (Zea mays L.). Centa: Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal.*
- Deras, H. (2018). *Guía técnica: El cultivo de maíz. Salvador : IICA.*
- Díaz, E., Morales, E., Mora, O., & Domínguez , A. (2015). Atenuación de luz, radiación interceptada y rendimiento de maíz en función del fósforo. *Terra latinoamericana*, 9.
- Endicott, S., Brueland, B., Keith, R., Schon, R., Bremer, C., Farnham, D., . . . Carter, P. (2015). *Maíz, crecimiento y desarrollo. México : PIONNER.*
- Enz, M., & Dachler, C. (1998). *Compendio para la identificación de los estadios fenológicos de los estadios fenológicos de especies mono-y dicotiledoneas cultivadas. Barcelona .*
- ESPAC. (2020). *Encuesta de. Quito, Ecuador : INEC .*
- Espinosa , E., Mendoza , M., Castillo , F., Ortíz , J., Delgado , A., & Carrillo , A. (2009). *Acumulación de antocianinas en pericarpio y aleurona del grano y sus efectos genéticos en poblaciones criollas de maíz pigmentado. México : Scielo, Revista fitotecnia mexicana.*
- Gambín, B., Borrás , L., & Otegui, M. (2016). Relaciones fuente-sumidero y diferencias de peso del grano en híbridos templados de maíz. *SCIENCE DIRECT.*

- Garay, A., & Colazo, J. (2015). El cultivo de maíz en San Luis. San Luis: INTA.
- García, A., & López, C. (2012). Temperatura base y tasa de extensión foliar del maíz. *Revista fitotécnica de México*, 6.
- Garzón, G. (2018). *Las antocianinas como colorantes naturales y compuestos bioactivos*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Giusti, M., & Wroslad, R. (2001). *Characterization and measurements of anthocyanins by UV-VIS spectroscopy*. New York: John Wiley & Sons.
- González, N., Silos, H., Estrada, J., Chávez, J., & Tejero, L. (2016). Características y propiedades del maíz (*Zea mays* L.). *Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12.
- González, S. (2018). *Centros de acopio*. Loja: MAG.
- González, F. (2019). “Respuesta al nivel nutricional en el rendimiento y concentración de antocianinas en tres variedades de maíz morado (*zea mays* l.)”. *La molienda*.
- Guacho, E. (2014). “*caracterización agro-morfológica del maíz (zea mays l.) de la localidad san josé de chazo*. Riobamba-Ecuador: Escuela Politécnica de Chimborazo.
- Guamán, R., Desiderio, T., Villavicencio, Á., Ulloa, S., & Romero, E. (2020). *Evaluación del desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz (Zea mays L.) utilizando cuatro híbridos*. Quito, Ecuador: Scielo.
- Guillén, J., Mori, S., & Paucar, L. (2014). Características y propiedades funcionales del maíz morado (*Zea mays* L.) var. subnigrovioláceo. *Scientia Agropecuaria*, 2.
- Guzmán, D. (2017). “*Etapas fenológicas del maíz (zea mays l.) Var. Tusilla bajo las condiciones climáticas del cantón cumandá, provincia de chimborazo*. Cumandá: Universidad Técnica de Ambato.
- Hernández, N., & Soto, C. (2012). *Influencia de tres fechas de Siembra sobre el crecimiento y la relación fuente- demanda del cultivo del maíz (Zea mays L.)*. La Habana: Scielo.
- Hernández, N., & Soto, F. (2016). *Determinación de índices de eficiencia en los cultivos de maíz y sorgo establecidos en diferentes fechas de siembra y su influencia sobre el rendimiento. Cultivos tropicales*.

- INEC. (2019). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC)* . Quito, Ecuador : Instituto Nacional de Estadísticas y Censos .
- INIAP. (2018). *Varietades mejoradas en Ecuador* . Quito, Ecuador : Agencia Iberoamericana para la difusión de la ciencia y la tecnología .
- Larramendi, L., Guevara, F., Ovando, J., González , J., & Ortiz, R. (2016). Crecimiento e índice de cosecha de variedades locales de maíz (*Zea mays L.*) en comunidades de la región frailesca de chiapas, méxico. *INCA* , 9.
- Lopez, E. (2015). Semillas de la economía campesina. *SEMILLAS*, 10.
- 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*. México : Scielo, Scientia Agropecuaria.
- Medina , T., Cañedo , D., Aguirre , C., & Tello, H. (2018). *Línea de base de la diversidad genética del maíz peruano con fines de bioseguridad*. Lima, Perú: GRUPO RASO.
- 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*.
- Mendoza , C. (2018). *Las antocianinas del maíz: su distribución en la planta y producción*. Texcoco : Productividad Genética .
- Mendoza, G., Mendoza , M., Delgado , A., Castillo , F., Yamakake , K., & Cruz , S. (2017). *Antocianinas totales y parámetros de color en líneas de maíz morado*. México-Texcoco: Revista fitotécnica Mexicana .
- Meza , F. (2013). Relaciones fuente sumidero en brotes de vid. Chile : scielo.
- Meza , T. (2010). *Determinación y extracción del contenido de antocianinas de cuatro variedades de maíz morado*. Abancay: Apurimac .
- Ochoa , M., Urrutia , J., Gonzales , G., Rodríguez , M., & Díaz , M. (2012). *Defoliación inferior de plantas de maíz (zea mays l) y su efecto en la producción de grano*. México: Scielo .

- Oñate, L. (2016). *“Duración de las etapas fenológicas y profundidad radicular del cultivo de maíz (zea mays L.) Var. Blanco harinoso criollo, bajo las condiciones climáticas del cantón cevallos.* Cevallos: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO.
- Ortega , I. (2014). *Maíz I (Zea mays).* Madrid, España : Reduca .
- Ospina , D., Benavides , J., Zuñiga, O., & Muñoz , C. (2018). Fotosíntesis y rendimiento de biomasa en ají Tabasco, rábano y maíz sometidos a agua tratada magnéticamente. *Universidad del Valle*, 21.
- Oveysi, M., Mirhadi, M., Madani, H., Nourmohammadi, G., Zarghami, R., & Madani, A. (2017). El impacto de las restricción de la fuente en la formación del rendimiento del maíz (Zea mays L.) debido a la deficiencia de agua. *Agronomía y mejora vegetal*.
- Paliwal, R. (2011). *El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción.* Roma, Italia: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentación (FAO).
- Paliwal, R. (2012). *Introducción al maíz y su importancia.* Champaign.
- Papucci, S., Gonzalez, A., Cruciani, M., & González, M. (2019). Efecto del daño foliar y el ambiente sobre el rendimiento en el cultivo de maiz. *Ciencias Agronómicas*.
- Polanco, A., & Flores, T. (2017). *Bases para una política de i&d e innovación de la cadena de valor del maíz.* Mexico: Foro Consultivo Científico y Tecnológico.
- Quispe, F., & Arroyo, K. (2011). *Características morfológicas y químicas de 3 cultivares de maíz morado (Zea mays L.) en Arequipa - Perú.* Arequipa - Perú: Scielo, Revista de la Sociedad Química del Perú.
- Ramírez, Z., López, A., Briones, F., & Valera, S. (2017). Efecto de la Temperatura sobre las Fases de Floración de Maíz Tropical en Tamaulipas. *Agronomía y ciencias*.
- Rivelli, G., Navarrete, R., & Maddonni, G. (2016). Impacto de un estrés térmico pre-floración sobre el peso y la calidad de los granos de maíz (Zea mays L.) ante cambios en la relación fuente-destino post-floración. *Agronomía y ambiente*, 12.
- Rodríguez, A., & García, Y. (2018). *Eficiencia de uso del nitrógeno en maíz fertilizado de fora orgánica y mineral.* Costa Rica: Agronomía Mesoamericana.

- Salinas , Y., Pérez , J., Vázquez , G., Aragón , F., & Velázquez , G. (2012). *Atocianinas y Actividad Antioxidante en maíces (Zea mays L.) de las razas Chalqueño, Elotes cónicos y Bolita*. Salamanca, España: Agrocienza.
- Salinas , Y., Rubio , D., & Díaz, A. (2005). Extracción y uso de pigmentos del grano de maíz (ZEA MAYS L.) como colorantes en yogur". *SCIELO* , 6.
- Sánchez , M., Ubaldo , C., Valenzuela , N., Sánchez, C., Jiménez , M., & Villanueva, C. (2016). *Densidad de siembra y crecimiento de maíces forrajeros*. Costa rica : agronomía mesoamericana.
- Solorio , M., & Martinez , Á. (2016). La biomasa de los sistemas productivos de maíz nativo (zea mays) como alternativa. *iNT. Contam. Ambie*, 18.
- Tinoco, C., Ramírez , A., Villareal , E., & Ruiz , A. (2008). *Arreglo espacial de híbridos de maíz, índice de área foliar y rendimiento**. México: Agricultura Técnica en Mexico.
- Uhart, S., & Andrade, F. (2016). Relaciones fuente-sumidero en el maíz cultivado en una zona de clima frío. *INTA*.
- Uitzil, A., Queiróz, V., Olivoto, T., Nardino, M., Carvalho, I., Ferrari, M., . . . Henrique, G. (2016). Componentes del rendimiento de los híbridos basados en la población de plantas y la defoliación artificial. *Revista Australiana de Ciencias y Aplicadas* , 13.
- Vílchez, C. (2022). Efecto de la defoliación inferior en el rendimiento del *Zea mays* “MAÍZ AMARILLO”. *Universidad Nacional Faustino Sánchez Carrión*.
- Villaroel , F. (2014). *Maíz, importancia, ciclo fenologico*. Paraguay : Agroalimentación .

11. Anexos

Anexo 1. Análisis de suelo

 AGROCALIDAD AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL FITO Y ZOOSANITARIO	LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Telef.: 023828860 Ext. 2080	PGT/SFA/09-FO01
	INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO	Rev. 5

Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N° E-SAE LEN 21.004

Informe N°: LN-SFA-E21-0723
 Fecha emisión Informe: 15/06/2021

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante¹: Verónica Aracely Maza Poma
Dirección¹: Amable María – Virgenpamba **Teléfono¹:** 0990151979
Provincia¹: Loja **Cantón¹:** Loja **Correo Electrónico¹:** veronicamaz@gmail.com
N° Orden de Trabajo: 11-2021-169
N° Factura/Documento: 012-001-0927

DATOS DE LA MUESTRA:

Tipo de muestra¹: Suelo	Conservación de la muestra: Lugar fresco y seco	
Cultivo¹: Maíz – fréjol		
Provincia¹: Loja	Coordenadas¹:	X: 700174
Cantón¹: Loja		Y: 9553690
Parroquia¹: Punzara		Altitud: 2142
Muestreado por¹: Verónica Maza		
Fecha de muestreo¹: 28-05-2021	Fecha de inicio de análisis: 02-06-2021	
Fecha de recepción de la muestra: 02-06-2021	Fecha de finalización de análisis: 15-06-2021	

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA ¹	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-21-0749	TV-UNL-2106	pH a 25 °C	Electrométrico PEE/SFA/06 EPA 9045D	---	5,99
		Materia Orgánica*	Volumétrico PEE/SFA/09	%	1,30
		Nitrógeno*	Volumétrico PEE/SFA/09	%	0,06
		Fósforo*	Colorimétrico PEE/SFA/11	mg/kg	34,3
		Potasio*	Absorción Atómica PEE/SFA/12	cmol/kg	0,24
		Calcio*	Absorción Atómica PEE/SFA/12	cmol/kg	4,04
		Magnesio*	Absorción Atómica PEE/SFA/12	cmol/kg	0,56
		Hierro*	Absorción Atómica PEE/SFA/13	mg/kg	270,4
		Manganeso*	Absorción Atómica PEE/SFA/13	mg/kg	13,17
		Cobre*	Absorción Atómica PEE/SFA/13	mg/kg	2,97
		Zinc*	Absorción Atómica PEE/SFA/13	mg/kg	1,79
		CIC*	Cálculo PEE/SFA/14	cmol/kg	12,60

Analizado por: Katty Pastás, Pablo Atapuma

 AGROCALIDAD AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL FITO Y ZOOSANITARIO	LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 023828860 Ext. 2080	PGT/SFA/09-FO01
		Rev. 5
	INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO	Hoja 2 de 2

Observaciones:

- Informe revisado por: Luis Cacuango
- El laboratorio no es responsable del muestreo por lo que los resultados se aplican a la muestra como se recibió.
- Los ensayos marcados con (*) NO están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.
- Las interpretaciones que se indican a continuación, están FUERA del alcance de acreditación del SAE.

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS - REGIÓN SIERRA										
PARÁMETRO	MO (%)	N (%)	P (mg/kg)	K (cmol/kg)	Ca (cmol/kg)	Mg (cmol/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)
BAJO	<3,0	<0,15	<10,0	<0,20	<2,0	<0,5	<20,0	<5,0	<1,0	<3,0
MEDIO	3,0 - 5,0	0,15 - 0,30	10,0 - 20,0	0,20 - 0,38	2,0 - 5,0	0,5 - 1,5	20,0 - 40,0	5,0 - 15,0	1,0 - 4,0	3,0 - 7,0
ALTO	>5,0	>0,30	>20,0	>0,38	>5,0	>1,5	>40,0	>15,0	>4,0	>7,0

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS - REGIÓN SIERRA, COSTA Y AMAZONÍA					
	ÁCIDO	LIGERAMENTE ÁCIDO	PRÁCTICAMENTE NEUTRO	LIGERAMENTE ALCALINO	ALCALINO
pH	≤ 5,5	> 5,5 – 6,5	> 6,5 – 7,5	> 7,5 – 8,0	> 8,0

FUENTE: INIAP. EESC. 2002



Escanea este código QR para:
 LUIS CACUANGO
 CACUANGO
 PONTIACERO

Q. A. Luis Cacuango
 Responsable de Laboratorio
 Suelos, Foliar y Aguas

Anexo 2. Descripción de etapas de crecimiento fenológico de maíz (*Zea mays* L.) según la escala de Ritchie y Hanway (1982) descrita en la Universidad del Estado de Iowa.

Etapas del sistema del cuello de la hoja, desarrollado en la Universidad del Estado de Iowa.			
	Etapas	Código	Descripción
Etapas vegetativas	Emergencia	VE	La radícula emerge, de tres a cuatro raíces adicionales emergen de la semilla. Estas raíces y la radícula forman el sistema de raíces seminales. La planta de maíz demuestra la emergencia “hipógea”, en la que el cotiledón permanece debajo de la superficie. El mesocotilo, o primer nodo interno, se alarga y empuja la punta del coleóptilo hacia la superficie del suelo. Cuando el coleóptilo rompe la superficie del suelo, se ha producido la emergencia (VE).
	Primera hoja	V1	Las hojas embrionarias crecen a través del coleóptilo, y la primera hoja verdadera (con punta redondeada) emerge y se cuenta como la hoja de la V1 durante las etapas tempranas. Las hojas posteriores tienen extremos puntiagudos. Mínima elongación del tallo (nodo interno). Antes de la V5, el punto de crecimiento está por debajo de la superficie del suelo, y se inician todos los brotes de la mazorca y las hojas. El punto de crecimiento se desplaza por encima de la superficie del suelo alrededor de la V6,
	Segunda hoja	V2	
	Tercera hoja	V3	El punto de crecimiento se desplaza por encima de la superficie del suelo alrededor de la V6,
	Enésima hoja	V(n)	La VT ocurre cuando la última rama de panoja ha emergido y se extiende hacia afuera. La VT se superpone con la R1 cuando los estigmas visibles aparecen antes de que la panoja emerja completamente. El desarrollo vegetativo ahora está completo: la planta casi alcanza la máxima altura; las células del tallo continúan lignificándose
	Aparición de panojas	VT	La R1 ocurre cuando los estigmas son visibles fuera de las chalas. Una vez que un grano de polen cae en un estigma (polinización), se forma un tubo polínico, y lleva alrededor de 24 horas hacer crecer el estigma hacia abajo hasta el óvulo. Una vez que alcanza el óvulo, se produce la fertilización y el óvulo se convierte en un grano. En esta etapa, los granos están casi completamente envueltos en glumas (sépalos), y son blancos con un contenido claro y acuoso.
Etapas Reproductivas	Aparición de estigmas	R1	La R2 ocurre de 10 a 14 días después de la aparición de los estigmas y se la denomina la etapa de “blíster”. Los granos en desarrollo tienen alrededor del 85 % de humedad, se asemejan a un blíster, y el endospermo y el fluido interno son claros.
	Blíster	R2	

	Grano lechoso	R3	La R3 ocurre de 18 a 22 días después de la aparición de los estigmas cuando los granos comienzan a mostrar el color final. Los granos tienen alrededor del 80 por ciento de humedad, el líquido interior es blanco lechoso por el almidón (endospermo) acumulado, y llenan totalmente el espacio entre las hileras de granos.
	Grano pastoso	R4	La R4 ocurre de 24 a 28 días después de la aparición de los estigmas. Los granos tienen alrededor del 70 por ciento de humedad, y el líquido interior se espesa y forma una consistencia pastosa, como de masa. Los granos obtienen su color final y alrededor de la mitad de su peso seco maduro.
	Grano dentado	R5	La R5 ocurre de 35 a 42 días después de la aparición de los estigmas y representa casi la mitad del tiempo de desarrollo reproductivo. Los granos están compuestos de una capa externa de almidón duro que rodea un núcleo suave de almidón. Cuando el núcleo más suave de almidón comienza a perder humedad y se reduce, se forma una hendidura en la parte superior del grano
	Grano maduro	R6	La R6 ocurre de 60 a 65 días después de la aparición de los estigmas. La humedad de los granos es de aproximadamente el 35 por ciento, los granos se consideran maduros fisiológicamente y han alcanzado su peso seco máximo.

Anexo 3. Análisis Estadísticos

Tabla 1. Numero de granos en maíz morado expuestos a tratamientos de defoliación pre y post antesis en hojas y mazorcas. T1 (Control), T2 (defoliación pre antesis), T3 (defoliación post antesis), T4 (retiro de mazorca o *silking* R1) y T5 (retiro de mazorca en etapa R3).

Tratamientos	Media	Error estándar	Significancia
T3	158,0	10,72	a
T2	166,73	10,72	a
T5	177,0	10,72	ab
T1	190,07	10,72	ab
T4	214,93	10,72	b

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$.

Tabla 2. Peso de 100 de granos en maíz morado expuestos a tratamientos de defoliación pre y post antesis en hojas y mazorcas. T1 (Control), T2 (defoliación pre antesis), T3 (defoliación post antesis), T4 (retiro de mazorca o *silking* R1) y T5 (retiro de mazorca en etapa R3).

Tratamientos	Media	Error estándar	Significancia
T2	25,25	2,30	a
T3	26,26	2,30	a
T1	31,15	2,30	ab
T5	34,04	2,30	ab
T4	36,07	2,30	b

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$.

Tabla 3. Rendimiento en maíz morado expuestos a tratamientos de defoliación pre y post antesis en hojas y mazorcas. T1 (Control), T2 (defoliación pre antesis), T3 (defoliación post antesis), T4 (retiro de mazorca o *silking* R1) y T5 (retiro de mazorca en etapa R3).

Tratamientos	Media	Error estándar	Significancia
T3	3,69	0,51	a
T2	3,74	0,51	a
T5	5,28	0,51	ab
T1	5,29	0,51	ab
T4	6,99	0,51	b

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$.

Tabla 4. Índice de cosecha en maíz morado expuestos a tratamientos de defoliación pre y post antesis en hojas y mazorcas. T1 (Control), T2 (defoliación pre antesis), T3 (defoliación post antesis), T4 (retiro de mazorca o *silking* R1) y T5 (retiro de mazorca en etapa R3).

Tratamientos	Media	Error estándar	Significancia
T3	17,63	3,78	a
T2	27,71	3,78	a
T1	23,72	3,78	ab
T5	24,93	3,78	ab
T4	37,34	3,78	b

Letras distintas en sentido vertical indican diferencias estadísticas significativas, Tukey $p < 0,05$.

Tabla 5. Cuadro de Análisis de la Varianza de biomasa en maíz morado expuestos a tratamientos de defoliación pre y post antesis en hojas y mazorcas. T1 (Control), T2 (defoliación pre antesis), T3 (defoliación post antesis), T4 (retiro de mazorca o *silking* R1) y T5 (retiro de mazorca en etapa R3).

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	939967,79	4	234991,95	1,93	0,1444
Tratamiento	939967,79	4	234991,95	1,93	0,1444
Error	2433327,72	20	121666,39		
Total	3373295,50	24			

Tabla 6. Cuadro de Análisis de la Varianza Largo de raquis en maíz morado expuestos a tratamientos de defoliación pre y post antesis en hojas y mazorcas. T1 (Control), T2 (defoliación pre antesis), T3 (defoliación post antesis), T4 (retiro de mazorca o *silking* R1) y T5 (retiro de mazorca en etapa R3).

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	11,77	4	2,94	2,83	0,0521
Tratamiento	11,77	4	2,94	2,83	0,0521
Error	20,80	20	1,04		
Total	32,57	24			

Tabla 7. Cuadro de Análisis de la Varianza de Peso de raquis en maíz morado expuestos a tratamientos de defoliación pre y post antesis en hojas y mazorcas. T1 (Control), T2 (defoliación pre antesis), T3 (defoliación post antesis), T4 (retiro de mazorca o *silking* R1) y T5 (retiro de mazorca en etapa R3).

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	13,10	4	3,27	1,24	0,3247
Tratamiento	13,10	4	3,27	1,24	0,3247
Error	52,67	20	2,63		
Total	65,77	24			

Tabla 8. Cuadro de Análisis de la Varianza de índice de área foliar en maíz morado expuestos a tratamientos de defoliación pre y post antesis en hojas y mazorcas. T1 (Control), T2 (defoliación pre antesis), T3 (defoliación post antesis), T4 (retiro de mazorca o *silking* R1) y T5 (retiro de mazorca en etapa R3).

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,44	4	0,36	0,51	0,7256
Tratamiento	1,44	4	0,36	0,51	0,7256
Error	14,02	20	0,70		
Total	15,47	24			

Anexo 4. Cálculos de fertilización

Demanda nutricional (Tn/ha)					
	N	P2O5	K2O	CaO	MgO
Requerimiento	22	4	19	3	3
Rendimiento esperado Tn/ha	220	40	190	30	30

Resultado del análisis de suelo (ppm)					
Parámetro	Unidad	Valor	Parámetro	Unidad	Valor
M.O	%	1,3	CaO	ppm	809,6
P	ppm	34,3	MgO	ppm	68,1
K	ppm	93,8			

Extracción de Nutrientes por el cultivo (promedio) en Kg/ha					
Parámetro	Unidad	Valor	Parámetro	Unidad	Valor
M.O	%	1,3	CaO	Ppm	809,6
P	ppm	34,3	MgO	ppm	68,1
K	ppm	93,8			

Da (gr/cm3)	1,3	Vol suelo	2000
Profundidad. (m)	0,20	Peso suelo	2,6

Parámetro	Elementos en el suelo en kg/ha	Porcentaje de asimilación de las plantas	Eficiencia de nutrientes por riego gravedad	Elementos disponibles para la planta
M.O	33800			
N total	1690	2	0,5	33,8
P2O5	204,22	15	0,25	30,63
K2O	292,66	20	0,5	58,53
CaO	2944,84	2	0,4	58,90
MgO	293,57	2	0,4	5,87

Dosis de nutrientes para el cultivo					
DN = (REQ Cultivo - REQ Análisis) /EFIC					
Elemento	Valor	Unidad	Valor	Unidad	
N	194,4	Kg/Ha	CaO	-142,24	Kg/Ha
P2O5	-14,53	Kg/Ha	MgO	5,321	Kg/Ha
K2O	-45,06	Kg/Ha			

Dosis recomendada de fertilizantes Kg/ha			
Fert Kg por parcelas (225m ²)			
K2O	Muriato de potasio	-75,104	-
N	Urea	422,609	9,509
MgO	Sulfato de magnesio	33,261	0,748
P2O5	18-46-0	-31,594	-

Anexo 5. Fotografías



Figura 1. Preparación de terreno



Figura 2. Encalamiento de terreno



Figura 3. Cultivo en etapa fenológica V5



Figura 4. Cultivo de maíz en etapa V7



Figura 5. Etapa reproductiva R1



Figura 6. Etapa reproductiva R3



Figura 7. Control de etapa fenológica



Figura 8. Defoliaciones preantesis



Figura 9. Retiro de mazorcas en etapa R1



Figura 10. Secado de grano de maíz



Figura 11. Preparación de muestra



Figura 12. Extracción de antocianinas



Figura 13. Filtrado de extracto



Figura 14. Pesaje de mazorcas



Figura 15. Control de cuantificación



Figura 16. Extractos para medición

Anexo 6. Certificación de traducción

CERTIFICACIÓN

Loja, 21 de octubre del 2022

Lcda. Cinthya Jackeline Gaona Castillo

DOCENTE DE INGLÉS EN LA UNIDAD EDUCATIVA “LICEO NAVAL DE QUITO”

CERTIFICO:

Que la traducción del documento adjunto por la señorita de **Veronica Aracely Maza Poma** con número de cédula **1106080235**, cuyo tema de investigación titulada: **“Rendimiento y contenido de antocianinas en respuesta a la modificación de la relación fuente-sumidero en periodo pre y post-antesis en un genotipo local de maíz morado (*Zea mays* L.), establecido en el sector la Argelia, ciudad de Loja”**, ha sido realizada por la Lcda. Cinthya Gaona Castillo, docente de Inglés en la Unidad Educativa Liceo Naval de Quito.



Lcda. Cinthya Gaona Castillo
CI.: 1150463980

DOCENTE DE LA CATEDRA DE INGLÉS