



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD AGROPECUARIA DE RECURSOS NATURALES

RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

**“Rendimiento de dos especies de amaranto (*Amaranthus* spp.)
en asociación con fréjol (*Phaseolus* sp.) bajo distinto arreglo espacial
en el sector La Argelia, de la ciudad de Loja”**

Tesis previa a la obtención del título de
INGENIERA AGRÓNOMA

AUTORA:

GRACE KARINA GRANDA GRANDA

DIRECTORA:

Dra. MARLENE LORENA MOLINA MÜLLER

LOJA – ECUADOR

2022



CERTIFICACIÓN DE TESIS

Dra. Marlene Lorena Molina Müller PhD.

DIRECTORA DE TESIS

CERTIFICO:

Que he recibido la tesis realizada por la señorita egresada de la carrera de Ingeniería Agronómica, estudiante **Grace Karina Granda Granda**, autora de la tesis titulada: **“Rendimiento de dos especies de amaranto (*Amaranthus* spp.) en asociación con fréjol (*Phaseolus* sp.) bajo distinto arreglo espacial en el sector La Argelia, de la ciudad de Loja”**. El mismo que 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.

Loja, 16 de agosto de 2021



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

Dra. Marlene Lorena Molina Müller PhD

DIRECTORA DE TESIS.

AUTORIA

Yo, Grace Karina Granda Granda, declaro ser autora del presente trabajo de tesis 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 tesis en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

Firma:  Firmado electrónicamente por:
GRACE KARINA
GRANDA GRANDA

Autora: Grace Karina Granda Granda

Cédula: 1751797851

Fecha: 19 de enero de 2022

CARTA DE AUTORIZACIÓN

Yo, Grace Karina Granda Granda, declaro ser autor de la tesis: “**Rendimiento de dos especies de amaranto (*Amaranthus* spp.) en asociación con fréjol (*Phaseolus* sp.) bajo distinto arreglo espacial en el sector La Argelia, de la ciudad de Loja**”; como requisito para optar el grado de Ingeniero Agrónomo por lo que autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja, para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional (RDI):

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, 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 de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los 19 días del mes de enero de 2022, firma el autor.

Firma:



Autor: Grace Karina Granda Granda

Número de cédula: 1751797851

Dirección: Zapotillo – Loja - Ecuador

Correo electrónico: grace.granda07@gmail.com

Celular: 0989510561

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis: PhD. Marlene Lorena Molina Müller

Tribunal de Grado:

PhD. Mirian Irene Capa Morocho (Presidente)

PhD. Ángel Rolando Robles Carrión (Vocal)

PhD. Klever Iván Granda Mora (Vocal)

DEDICATORIA

Con todo el aprecio y consideración dedico mi trabajo a mi ejemplo de vida mis padres Eduardo y Georgina, por su amor, esfuerzo, apoyo incondicional y por inculcarme valores que sin duda alguna han hecho de mí una mejor persona.

A mis hermanos, Yinson, Iván y Alcívar por su confianza y motivación para seguir siempre adelante.

A mis amados sobrinos Sebastián, Camila, Madeline y Alejandra por ser mi inspiración y los ángeles que llenan de alegría mi vida.

Grace.

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a Dios y la Virgen del Cisne, por brindarme salud, por ser la guía en mi vida y por haberme dado la fortaleza para culminar esta etapa de mi vida.

De manera especial, agradezco a mi directora de tesis la Dra. Marlene Molina Müller, por sus consejos, asesoramiento y apoyo constante durante el desarrollo de mi proyecto. Así mismo a la Universidad Nacional de Loja, por brindarme la oportunidad de formarme como una profesional, a la planta docente de la carrera de ingeniería agronómica por sus conocimientos brindados.

A la Ing. Diana Iñiguez, técnica del Laboratorio de Suelos, Aguas y Bromatología (LASAB) a la Ing. Jamel Ruíz, técnica del Laboratorio de Sanidad Vegetal, por su predisposición durante la fase de laboratorio del trabajo de investigación.

Mi más sincero agradecimiento a mis padres, hermanos y Taty Castro, por brindarme su ayuda ante cualquier circunstancia. A Carmelita Granda y a la familia Balbuca por el cariño brindado.

Gracias infinitas a Henry Ramón, por su ayuda incondicional y por impulsarme a ser cada día mejor.

También agradezco a mis amigos, especialmente a José Alejandro, Edwin, Fabricio, Cristian, Nancy y Daniela, quienes han compartido conmigo sus conocimientos y acompañado en el desarrollo de este trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO	PÁGINA
PORTADA	I
CERTIFICACIÓN DE TESIS.....	II
AUTORIA	III
CARTA DE AUTORIZACIÓN	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
1. TÍTULO.....	1
2. RESUMEN	2
2.1 ABSTRACT.....	3
3. INTRODUCCIÓN	4
3.1. Objetivo general	5
3.2. Objetivos específicos.....	5
4. MARCO TEÓRICO.....	6
4.1. Generalidades del cultivo de amaranto.....	6

4.2.	Clasificación taxonómica del amaranto.....	6
4.3.	Requerimientos edafoclimáticos para el amaranto.....	6
4.4.	Variedades de amaranto en estudio	7
4.4.1.	<i>Amaranthus caudatus</i> var. INIAP-Alegría.	7
4.4.2.	<i>Amaranthus quitensis</i> var. INIAP-Rubí.....	8
4.5.	Fenología del cultivo de amaranto.	9
4.6.	Clasificación taxonómica del fréjol.....	9
4.7.	Requerimientos edafoclimáticos para el fréjol.....	10
4.8.	Variedad en estudio	10
4.8.1.	Fréjol INIAP 422 Blanco Belén.	10
4.9.	Rendimiento de cultivos	11
4.9.1	Componentes del rendimiento.....	11
4.9.2.	Elementos asociados a la formación del rendimiento.....	12
4.9.2.1.	Biomasa.	12
4.9.2.2.	Índice de cosecha (IC).	12
4.10.	Sistemas de producción agrícola: cultivos asociados.....	12
4.11.	Importancia de las leguminosas en cultivos asociados.....	13
4.12.	Arreglo espacial.....	13
5.	METODOLOGÍA.....	14
5.1.	Ubicación del ensayo.....	14
5.2.	Material vegetal.....	14
5.3.	Dependencias de procesamiento y análisis de muestras.....	14
5.4.	Arreglo espacial.....	15
5.5.	Establecimiento del ensayo.....	16

5.6.	Manejo agronómico del ensayo	16
5.7.	Diseño experimental y análisis estadístico	16
5.7.1.	Diseño experimental.....	16
5.7.2.	Modelo matemático del diseño experimental.	18
5.7.3.	Descripción de los tratamientos evaluados.....	18
5.7.4.	Esquema de disposición del ensayo en campo.....	19
5.7.5.	Análisis estadístico	20
5.7.6.	Variables evaluadas	20
6.	RESULTADOS	22
6.1.	Fenología del cultivo	22
6.2.	Altura de la planta y tasa de elongación del tallo.....	23
6.3.	Dinámica de crecimiento del tallo.....	24
6.4.	Diámetro del tallo y su tasa de crecimiento.....	24
6.5.	Dinámica de crecimiento del diámetro del tallo	25
6.6.	Área foliar	26
6.7.	Biomasa de las especies.....	29
6.8.	Rendimiento y sus componentes.....	29
6.8.1.	Número de granos	29
6.8.2.	Peso de mil granos.....	30
6.8.3.	Rendimiento del grano de amaranto.....	31
6.8.4.	Rendimiento de grano de fréjol.....	32
6.9.	Índice de cosecha (IC)	32
6.10.	Análisis de Correlación.....	33
7.	DISCUSIÓN.....	36
8.	CONCLUSIONES.....	42

9. RECOMENDACIONES	43
10. BIBLIOGRAFÍA.....	44
11. ANEXOS	51
11.1. Anexo 1. Descripción de las etapas de crecimiento fenológico del amaranto basados en el código BBCH.....	51
11.2. Anexo 2. Análisis de suelo.....	53
11.3. Anexo 3. Registro fotográfico.....	55

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA	PÁGINA
Tabla 1: Descriptores morfológicos y agronómicos del amaranto INIAP Alegría.....	8
Tabla 2. Características morfológicas y agronómicas del amaranto INIAP - Rubí.....	9
Tabla 3. Descriptores morfológicos y agronómicos de la variedad de fréjol INIAP 422.	11
Tabla 4: Delineamiento del diseño experimental.	17
Tabla 5. Unidades experimentales, repeticiones y factores.....	17
Tabla 6. Tratamientos aplicados en el ensayo	19
Tabla 7. Medidas de la altura de planta y tasa de crecimiento de dos especies de amaranto en asociación con fréjol.	23
Tabla 8. Diámetro del tallo y tasa de crecimiento de dos especies de amaranto en asociación con fréjol.....	25
Tabla 9. Medidas del área foliar de dos genotipos de amaranto en un cultivo en asociación bajo distinto arreglo espacial.	28
Tabla 10. Correlación de variables medidas en el genotipo alegría.....	33
Tabla 11. Correlación de variables medidas en el genotipo rubí.	34
Tabla 12. Correlación de variables medidas en fréjol.	35

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
Figura 1. Mapa de ubicación del campo experimental, sector los molinos (UNL), barrio La Argelia, Loja.	14
Figura 2. Arreglo espacial utilizado para el asocio entre <i>Amaranthus caudatus</i> var. alegría con fréjol, y <i>Amaranthus quitensis</i> var. rubí con fréjol.....	15
Figura 3: Esquema del diseño experimental y tratamientos distribuidos en campo.....	19
Figura 4. Fenología de <i>Amaranthus quitensis</i> . y <i>Amaranthus caudatus</i>	22
figura 5. Dinámica de crecimiento del tallo de las plantas de dos especies de amaranto.	24
Figura 6. Dinámica de crecimiento del diámetro de dos especies de amaranto en asociación con fréjol bajo distinto arreglo espacial.	26
Figura 7. Curvas de regresión obtenidas entre el ancho y largo de las hojas.	27
Figura 8. Área foliar del fréjol en asocio con amaranto.....	28
Figura 9. Biomasa seca de las plantas de amaranto y fréjol.....	29
Figura 10. Número de granos de amaranto y fréjol obtenidos en 1 m ²	30
Figura 11. Peso de mil granos de los dos genotipos de amaranto	31
figura 12. Rendimiento de los genotipos de amaranto	31
Figura 13. Rendimiento de fréjol de acuerdo a los tratamientos	32
Figura 14. Índice de cosecha de los genotipos de amaranto	33
Figura 15. Preparación del terreno e implementación del diseño experimental.....	55

Figura 16. Siembra de las dos especies de amaranto y el fréjol	55
Figura 17. Monitoreo de enfermedades	55
Figura 18. Visita e indicaciones de la directora de tesis	55
Figura 19. Aplicación de fertilizantes	55
Figura 20. Deshierbe y aporcado de los cultivos	55
Figura 21. Registro fenológico	56
Figura 22. Registro de la altura de las plantas	56
Figura 23. Selección de muestras para la biomasa de los cultivos	56
Figura 24. Secado de muestras en la estufa.....	56
Figura 25. Pesaje de mil granos de amaranto	56
Figura 26. Pesaje de granos de fréjol	56
Figura 27. Amaranto variedad Alegría.....	56
Figura 28. Amaranto variedad Rubi.....	56
Figura 29. Grano de amaranto variedad Alegría.....	56
Figura 30. Grano de amaranto variedad Rubí.....	56

“Rendimiento de dos especies de amaranto (*Amaranthus* spp.) en asociación con fréjol (*Phaseolus* sp.) bajo distinto arreglo espacial en el sector La Argelia, de la ciudad de Loja”

2. RESUMEN

El amaranto (*Amaranthus* spp), destaca por su alto valor nutricional, actualmente es considerado como uno de los alimentos más apreciados a nivel mundial. En Ecuador se cultivan 50 ha, con un rendimiento promedio de 1 a 3 t ha⁻¹. Sin embargo, en la provincia de Loja no existe registro que indique su producción. Dentro de los manejos culturales, la asociación de cultivos y el arreglo espacial son factores que, al utilizarlos adecuadamente, pueden potenciar el rendimiento de los cultivos. Con estos antecedentes, la presente investigación tuvo como objetivo determinar el rendimiento de *Amaranthus* spp. en asociación con *Phaseolus* sp. bajo distinto arreglo espacial. El ensayo se realizó bajo un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) en arreglo bifactorial, con nueve tratamientos y tres repeticiones. Las especies estudiadas fueron *Amaranthus caudatus* var. Alegría y *Amaranthus quitensis* var. Rubí, asociadas con fréjol (INIAP 422 Blanco Belén). Durante el ciclo de los cultivos se registraron las variables: fenología, altura de la planta, diámetro del tallo, tasa de elongación del tallo, dinámica de crecimiento y área foliar; las variables biomasa, número de granos, peso de mil granos, rendimiento e índice de cosecha, fueron registradas cuando los cultivos llegaron a madurez fisiológica. Los resultados obtenidos mostraron que el rendimiento de amaranto superó a la media nacional con producciones de 7.90 t ha⁻¹ en Alegría y 4.76 t ha⁻¹ en Rubí; en fréjol el rendimiento presentó rangos desde 0.44 hasta 1.7 t ha⁻¹, los cuales se encuentran dentro de los parámetros de producción nacional.

Palabras clave: Amaranthaceae, Fabaceae, cultivos asociados, distancia entre hileras

2.1 ABSTRACT

Amaranth (*Amaranthus* spp) is known for its high nutritional value and is currently considered one of the most highly valued foods in the world. In Ecuador, 50 ha are cultivated, with an average yield of 1 to 3 t ha⁻¹. However, in the province of Loja there is no record of its production. Within cultural management, crop association and spatial arrangement are factors that, when used properly, can enhance crop yields. With this background, the objective of this research was to determine the yield of *Amaranthus* spp. in association with *Phaseolus* sp. under different spatial arrangement. The trial was conducted under a completely randomized block design (DBCA), in a bifactorial arrangement, with nine treatments and three replications. The species studied were *Amaranthus caudatus* var. Alegría and *Amaranthus quitensis* var. Rubí, associated with bean (INIAP 422 Blanco Belén). During the crop cycle, the following variables were recorded: phenology, plant height, stem diameter, stem elongation rate, growth dynamics and leaf area; the variables biomass, number of grains, thousand grains weight, yield and harvest index were recorded when the crops reached physiological maturity. The results obtained showed that amaranth yields exceeded the national average with productions of 7.90 t ha⁻¹ in Alegría and 4.76 t ha⁻¹ in Rubi; bean yields ranged from 0.44 to 1.7 t ha⁻¹, which are within the national production parameters.

Keywords: Amaranthaceae, Fabaceae, associated crops, inter-row spacing.

3. INTRODUCCIÓN

Prácticas agronómicas como el arreglo espacial y la asociación de cultivos, son aspectos importantes en la determinación del rendimiento potencial y final de un cultivo (Morla *et al.*, 2017).

El arreglo espacial puede influir en la supresión de enfermedades; es considerado como una alternativa para aumentar la producción (Kremen y Miles, 2012) mientras que, los cultivos asociados, aprovechan de mejor manera el terreno, y reducen el riesgo de perder toda la producción, en comparación con los monocultivos (Salazar, 2016).

En la mayoría de los cultivos asociados se opta por el uso de leguminosas, estas plantas son capaces de fijar nitrógeno atmosférico, de esta manera existe alta disponibilidad de dicho recurso, por ende, menor competencia entre los cultivos que se han asociado (Permingeat, 2018).

El amaranto (*Amaranthus* spp), se ha cultivado desde tiempos ancestrales, fue uno de los alimentos más preciados por los Mayas, Incas y Aztecas debido, principalmente, a su valor nutricional (Algara, 2016). Su calidad nutritiva sobrepasa a algunos cereales de uso común, como el trigo, el arroz, la avena y el maíz. El amaranto, no contiene gluten, es decir, las personas con intolerancia a este componente, o celiaquía, puedan consumirlo (Martínez, 2016). Al ser una planta con múltiples beneficios para la salud y nutrición, lo hacen llamativo para el mercado nacional e internacional (Romero, 2011).

A pesar de los múltiples beneficios que posee el cultivo de amaranto, en Ecuador, solo existen 50 ha cultivadas y su rendimiento fluctúa entre 1.5 y 3 t ha⁻¹. A nivel nacional, ha sido desplazado de los campos de cultivo hasta casi desaparecer como especie alimenticia, se encuentra refugiado en pequeñas parcelas de las provincias de Imbabura, Pichincha y Chimborazo, las cuales, tienen potencialidad alta para su producción (93 % de su superficie) (González *et al.*, 2013).

La provincia de Loja, cuenta con una potencialidad de producción del 80 % de su superficie, sin embargo, no existe registro que indique ¿cuál es el rendimiento que pudiera alcanzar dicho cultivo en la provincia? (Jiménez *et al.*, 2018). La escasa investigación en este cultivo hace que los pocos productores se enfrenten a desafíos tecnológicos y productivos, con rendimientos pobres e incluso nulos (Peralta, 2012).

Considerando los antecedentes formulados, la presente investigación se basa en la determinación del rendimiento del cultivo de amaranto en la ciudad de Loja, en asocio con fréjol bajo distintos arreglos espaciales; ello, con la finalidad de dar a conocer los alcances productivos de este cultivo, y potenciar su siembra dentro de la provincia.

Con el propósito de orientar el desarrollo de la investigación se plantearon los siguientes objetivos:

3.1. Objetivo general

Determinar el rendimiento de *Amaranthus* spp. en asociación con *Phaseolus* sp. bajo distinto arreglo espacial.

3.2. Objetivos específicos

- Identificar el efecto que ejerce el fréjol (*Phaseolus* sp.) sobre el rendimiento de dos especies de *Amaranthus* spp. en un cultivo asociado.
- Determinar el arreglo espacial que incrementa el rendimiento en un cultivo asociado de *Amaranthus* spp. con *Phaseolus* sp.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. Generalidades del cultivo de amaranto

Los amarantos graníferos se encuentran distribuidos a partir de México, extendiéndose en el interior de Guatemala y el sur-oeste de Estados Unidos. En Sudamérica, se encuentran desde el sur de Ecuador, Perú y Bolivia, hasta el norte de Argentina. Se cree que el amaranto fue domesticado junto con el maíz, su cultivo se inició hace unos 5 000 años; restos arqueológicos han revelado que sus hojas y semillas eran utilizadas como alimento de habitantes prehispánicos. Después de la conquista de América, el amaranto emigró desde México, Guatemala y los Andes peruanos, a Europa, África, India, y Asia (Reinaudi *et al.*, 2011).

4.2. Clasificación taxonómica del amaranto

De acuerdo a Wolosik y Markowska., (2019), la clasificación taxonómica del amaranto es la siguiente:

Reino: Plantae

Subreino: Tracheobionta

Supervisión: Spermatophyta

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Caryophyllidae

Orden: Caryophyllales

Familia: Amaranthaceae

Género: *Amaranthus* L.

Especies: *Amaranthus caudatus* L.

Amaranthus quitensis Kunth.

4.3. Requerimientos edafoclimáticos para el amaranto

Las especies del género *Amaranthus*, han sido cultivadas desde el nivel del mar hasta los 3 200 m.s.n.m., por ello, la elevación no es considerada una limitante para su adaptación. El amaranto presenta una óptima germinación cuando los rangos de temperatura se encuentran entre 16 °C

y 35 °C; para un adecuado desarrollo la temperatura ideal es de 21 °C, ya que, temperaturas inferiores a 8 °C afectan el crecimiento del cultivo. El amaranto puede ser cultivado en una amplia diversidad de suelos, se desarrolla con éxito en suelos neutros o básicos con un pH arriba de 6 (Espitia *et al.*, 2010).

4.4. Variedades de amaranto en estudio

4.4.1. *Amaranthus caudatus* var. INIAP-Alegría.

4.4.1.1 Origen.

INIAP-Alegría (*Amaranthus caudatus* var. Alegría) fue obtenido por selección de la variedad “Alan García”, introducida desde Perú y seleccionada en la Estación Experimental Santa Catalina entre 1987 y 1988. En el año de 1994, se entregó como la primera variedad mejorada de amaranto de grano blanco (Peralta, 2012).

4.4.1.2. *Características importantes.*

Es una variedad precoz, se cosecha entre los 5 y 6 meses después de la siembra. Se adapta en localidades entre los 2 000 y 2 800 m.s.n.m. La temperatura ideal para su desarrollo es de 15 °C; con precipitaciones de 300 a 600 mm en el ciclo. Prefiere suelos francos, con un pH que va de 6 a 7.5. Produce de 1 a 3 t ha⁻¹, en ambientes favorables (Peralta, 2012).

4.4.1.3. *Características de interés morfológico y agronómico.*

Peralta (2012), indica los principales descriptores morfológicos y agronómicos que caracterizan a la variedad INIAP Alegría (Tabla 1).

Tabla 1: Descriptores morfológicos y agronómicos del amaranto INIAP Alegría.

Descriptores morfológicos y agronómicos	Parámetros de medición
Altura de planta (cm):	70 a 180
Días al panojamiento:	50 a 60
Color de la panoja joven:	Rosado pálido
Días a floración:	70 a 90
Color de la panoja en flor:	Rosado
Color de la panoja adulta:	Rosado intenso
Color del grano seco:	Blanco a crema
Peso de 1000 granos:	1 g
Días a la cosecha en seco:	150 a 180

Fuente: Peralta, 2012.

4.4.2. *Amaranthus quitensis* var. INIAP-Rubí.

4.4.2.1. Origen.

INIAP - Rubí (*Amaranthus quitensis* var. Rubí), se originó en el año 2001, a partir de una muestra colectada en la provincia de Chimborazo. Luego de distintas evaluaciones, para conocer sus posibilidades productivas, se posicionó como la línea promisoras con mejor adaptabilidad a diversos ambientes, tolerancia a enfermedades, y aceptación por los agricultores. En el 2013, se presentó como la primera variedad de ataco mejorada por selección, es así, que Ecuador, se convirtió en el primer país en generar, promover y utilizar una variedad de amaranto de grano negro (Peralta *et al.*, 2013)

4.4.2.2. Características importantes.

Peralta *et al.* (2013), mencionan que INIAP - Rubí es una variedad que se cosecha entre 5 y 6 meses después de la siembra. Se adapta en localidades entre los 1 800 y 3 000 m.s.n.m. Adicional a ello, produce de 1 a 1.6 t ha⁻¹.

4.4.2.3. Características de interés morfológico y agronómico.

El amaranto INIAP - Rubí presenta buenas características morfológicas y agronómicas (Tabla 2)

Tabla 2. Características morfológicas y agronómicas del amaranto INIAP - Rubí.

Descriptor morfológico y agronómico	Parámetro de medición
Altura de planta (cm):	124 a 230
Días al panojamiento:	60 a 112
Color de la panoja joven:	Morado, Rubí
Días a floración: floración:	75 a 140
Color de la panoja en flor:	Morado Rubí
Color de la panoja adulta:	Morado Rubí
Color del grano seco:	Negro
Número de semillas por g:	1 800
Días a la cosecha en seco:	150 a 180

Fuente: Peralta *et al.*, 2013

4.5. Fenología del cultivo de amaranto.

La escala BBCH (Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie), es un sistema para identificar los estadios de crecimiento y desarrollo de especies vegetales pertenecientes a las angiospermas (Meier *et al.*, 2010). Para realizar la descripción de los estadios fenológicos, se utilizan características fenotípicas claramente identificables, debido a que los cambios fenológicos están relacionados con el clima (Hernández *et al.*, 2010).

Los autores Martínez *et al.* (2019), han descrito las etapas de crecimiento del amaranto, dividiendo su ciclo de vida en dos fases: vegetativa y reproductiva. La fase vegetativa inicia cuando los cotiledones han emergido por completo y termina cuando el crecimiento longitudinal del tallo principal se detiene, el crecimiento longitudinal del tallo principal ocurre en paralelo con el desarrollo de las hojas. Por su parte, la fase reproductiva, empieza con la emergencia de la panícula (la panícula aún está rodeada de hojas), y finaliza, una vez alcanzada la madurez fisiológica (grano maduro).

4.6. Clasificación taxonómica del fréjol

Según, Matos. (2020), la clasificación taxonómica para el cultivo de fréjol es la siguiente:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Rosidae

Orden: Fabales

Familia: Fabaceae

Subfamilia: Faboideae

Género: *Phaseolus*

Especie: *Phaseolus vulgaris* L.

4.7. Requerimientos edafoclimáticos para el fréjol

El fréjol, es una planta que se adapta a suelos de textura franca (arcilloso, arenoso y limoso); tolera la acidez (pH) de 5.5. a 6.6., sin embargo, no tolera suelos encharcados. Esta planta germina adecuadamente a 21 °C, y presenta un desarrollo favorable de 18 °C a 25 °C, con un óptimo de 20 °C. Temperaturas superiores a 40 °C y las heladas perjudican el cuajado, el desarrollo y llenado de vainas. Necesita entre 300 a 400 mm de lluvia. Para la inducción de la floración el fotoperiodo óptimo es de 8 a 14 horas (Albán, 2012).

4.8. Variedad en estudio

4.8.1. Fréjol INIAP 422 Blanco Belén.

4.8.1.1. Origen.

INIAP 422 Blanco Belén, se originó en el año 1997 a partir del cruzamiento entre las líneas WAB 82 x INIAP 417 Blanco Imbabura, en el CIAT (Cali, Colombia). Esta variedad se liberó en Loja en el año 2003 (Peralta *et al.*, 2014)

4.8.1.2. Características importantes.

Peralta *et al.* (2014), señala que es una variedad de tipo arbustivo (sin guía), y su grano es de color blanco y grande. Genéticamente, es una variedad resistente a roya. Se adapta muy bien desde los 1 000 a 2 200 m.s.n.m (valles de Cañar, Azuay y Loja). Cuando las condiciones son óptimas, presenta rendimientos en grano seco de 2000 kg por hectárea.

4.8.1.3. Descriptores de interés morfológico y agronómico.

Peralta *et al.* (2014), expresan que el fréjol INIAP 422 Blanco Belén, tiene características que lo hacen una variedad relevante (Tabla 3).

Tabla 3. Descriptores morfológicos y agronómicos de la variedad de fréjol INIAP 422.

Descriptores morfológicos y agronómicos	Parámetros de medición
Altura de planta (cm):	46 cm
Días a floración:	43
Color de la flor:	Blanco
Forma del grano:	Alargado/aplanado
Color del grano seco:	Blanco
Peso de 100 granos:	62 g
Días a la cosecha en verde:	79
Días a la cosecha en seco:	99
Número de granos por vaina	3 a 5

Fuente: Peralta *et al.* 2014.

4.9. Rendimiento de cultivos

4.9.1 Componentes del rendimiento.

El rendimiento de grano resulta de los procesos de crecimiento y desarrollo de las plantas, inicia desde la fase vegetativa, pasa a la etapa reproductiva y termina con la etapa de llenado del grano. Los componentes de rendimiento más importantes son: la cantidad de granos por metro cuadrado (producto del éxito reproductivo y la formación de semillas) y el peso promedio de grano individual (producto de la tasa de llenado de granos y la duración) (Jagadish *et al.*, 2014).

4.9.1.1. Peso de granos.

El peso potencial que puede alcanzar el grano difiere del peso alcanzado a madurez fisiológica, debido a factores agronómicos y ambientales (fecha de siembra, densidad de población, temperatura, estrés hídrico) y a factores intrínsecos del genotipo (ciclo ontogénico, relaciones fuente-demanda, tolerancia a estrés biótico y abiótico), que pueden limitar la disponibilidad de asimilados durante la etapa de llenado del grano (Mendoza *et al.*, 2012).

4.9.1.2. Número de granos.

Es el componente que mejor explica las variaciones en la productividad de los cultivos. El número de granos depende de la tasa de crecimiento del cultivo en la etapa reproductiva y de la duración de la misma (Peña *et al.*, 2004).

4.9.2. Elementos asociados a la formación del rendimiento

Existen otros atributos que influyen en el proceso de formación del rendimiento, los cuáles, se mencionan a continuación:

4.9.2.1. Biomasa.

Este atributo, al inicio del crecimiento de las plantas es lento, pero luego, aumenta hasta alcanzar una tasa máxima cuando finaliza el llenado de grano y disminuye al llegar a madurez fisiológica. Por otra parte, los procesos que vinculan la producción de biomasa con el rendimiento son la generación de la estructura de dosel, la producción de biomasa a través del proceso de fotosíntesis y la partición de la biomasa (Clozza, 2010).

4.9.2.2. Índice de cosecha (IC).

Es una forma de medir la eficiencia con la cual las plantas producen granos a través del uso del agua, la luz y los nutrientes (Soto y Hernández, 2012). El IC, se encuentra relacionado con el peso acumulado en los órganos cosechados entre el total de la biomasa producida en parte aérea de la planta: mientras mayor sea el índice de cosecha es más beneficioso para el rendimiento (Duan *et al.*, 2018).

4.10. Sistemas de producción agrícola: cultivos asociados

La asociación de cultivos es una práctica válida en la agricultura ecológica, fundamentada en la aportación de una mayor biodiversidad al ecosistema agrario (Brooker *et al.*, 2015). Los cultivos asociados comparten un espacio de terreno en el que se desarrollan y crecen dos o más, mismos que coinciden en el tiempo durante parte de su ciclo vegetativo (Salazar, 2016).

Dependiendo de su distribución en el espacio y en el tiempo, se distinguen modalidades diferentes de cultivos asociados:

- Cultivos mezclados: los cultivos se disponen de forma desordenada, no entre filas ni dentro de las mismas.
- Cultivos intercalados: las especies que constituyen el cultivo asociado se disponen en filas completas y alternándose en hileras diferentes.
- Cultivos en franjas: los cultivos se distribuyen en grupos de dos o más hileras, sin perder la relación de sinergia entre las especies.

- Cultivos de relevo: coinciden en el terreno de plantación durante algún tiempo, sin embargo, no son establecidos en la misma fecha y su desarrollo vegetativo es distinto (Salazar, 2016).

La competitividad entre las especies asociadas es el factor clave para determinar la productividad del asocio, es por ello, que las interacciones de los cultivos asociados se pueden clasificar, según tengan efectos inhibidores o estimulantes en los rendimientos:

- Policultivo comensalístico: la interacción entre las especies tiene un efecto positivo sobre una especie y en la otra especie no ejerce ningún efecto.
- Policultivo amensalístico: la interacción entre las especies tiene un efecto negativo en una especie y ningún efecto observable en la otra.
- Policultivo monopolístico: la interacción entre las especies tiene un efecto positivo en una especie y un efecto negativo neto en la otra.
- Policultivo inhibitorio: la interacción entre los cultivos tiene un efecto negativo sobre todas las especies (Garrido, 2017).

4.11. Importancia de las leguminosas en cultivos asociados

La integración de leguminosas en los sistemas de producción, es una opción para mejorar la fertilidad del suelo. Son especies capaces de fijar N de la atmósfera y mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo. Pueden reducir la erosión, aumentar la actividad biológica en el suelo, controlar arvenses y plagas (Castillo *et al.*, 2010). Resultados reportados por Altieri y Nicholls. (2000), ponen en evidencia las ventajas productivas de las asociaciones entre diversos cultivos como es el caso del maíz/fréjol con un incremento de rendimiento hasta del 38 %.

4.12. Arreglo espacial

Es la forma en que se encuentran distribuidas las plantas en el campo (Kermah *et al.*, 2017). Se obtienen mediante la modificación del distanciamiento entre hileras de siembra, por lo que van a estar influyendo en la productividad de los cultivos (Satorre *et al.*, 2010). Va a incidir sobre el crecimiento de las plantas, al variar las distancias van a existir diferencias en el área foliar y la capacidad productiva de las especies que se han utilizado para ser asociadas (Alberto *et al.*, 2008).

5. METODOLOGÍA

5.1. Ubicación del ensayo

El ensayo de campo se desarrolló en la Quinta Experimental Docente “La Argelia”, de la Universidad Nacional de Loja (Figura 1). El lugar se encuentra ubicado a 2 135 m.s.n.m., con latitud de 04° 02’ 47” S y longitud de 79° 12’ 59” O. La temperatura media anual es de 16.3 °C, con una precipitación anual promedio 1 058 mm, sus suelos son de naturaleza franco limoso con un pH de 5 a 6.

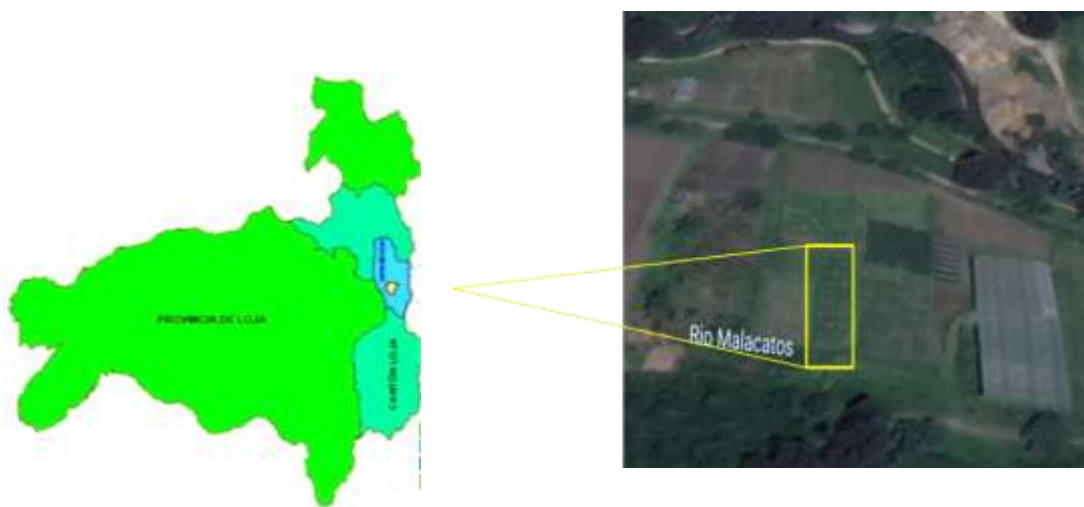


Figura 1. Mapa de ubicación del campo experimental, sector los Molinos (UNL), Barrio La Argelia, Loja.

5.2. Material vegetal

Se utilizaron dos especies de amarantho, *Amaranthus caudatus* var. Alegría y *Amaranthus quitensis* var. Rubí, asociadas con fréjol (*Phaseolus vulgaris* var. Blanco Belén).

5.3. Dependencias de procesamiento y análisis de muestras

Previo a la implementación del ensayo, se realizó un análisis de suelo que permitió conocer el estado nutricional del campo experimental. Posteriormente, con los resultados obtenidos, se elaboró un plan de fertilización para cubrir las demandas nutricionales de los cultivos utilizados.

El análisis de muestras vegetales fue realizado en el Laboratorio de Suelos, Aguas y Bromatología (LASAB) de la Universidad Nacional de Loja, ubicado en el Barrio La Argelia

a 04° 00' 00" de latitud Sur y 79° 12' 00". Las actividades desarrolladas fueron: secado y pesaje de 210 muestras de fréjol y 240 de amaranto para determinar la biomasa, número de granos de los cultivos, y peso de cada una de las muestras. Adicional a ello, se hizo el conteo y secado de 21 muestras de 1 000 de granos de fréjol y 24 muestras de 1 000 granos de amaranto.

5.4. Arreglo espacial

Se diseñaron y aplicaron 4 arreglos espaciales, basados en el distanciamiento entre hileras, tanto para el asocio entre *Amaranthus caudatus* var. Alegría con fréjol como para el asocio entre *Amaranthus quitensis* var. Rubí con fréjol. Los arreglos se muestran en la Figura 2, donde los amarantos son las plantas grandes y el fréjol las plantas pequeñas:

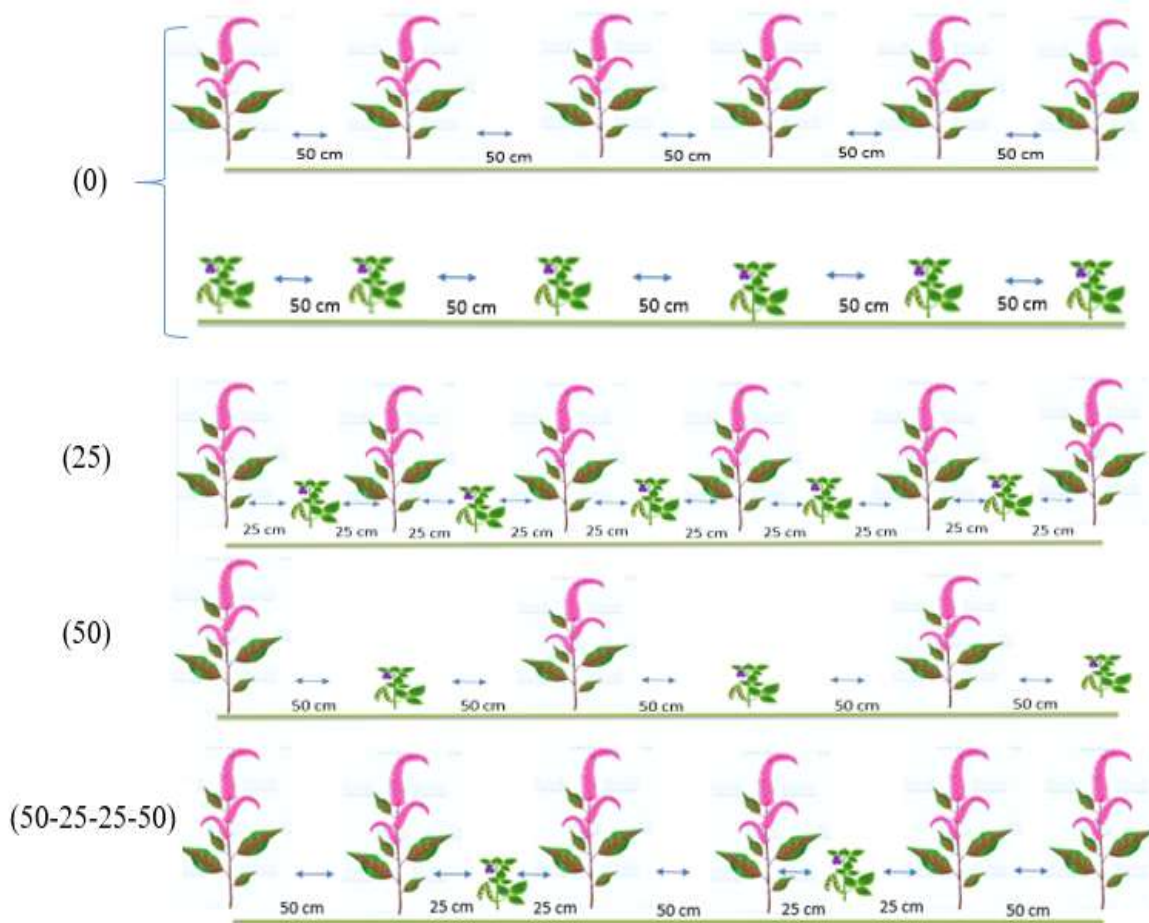


Figura 2. Arreglo espacial utilizado para el asocio entre *Amaranthus caudatus* var. Alegría con fréjol, y *Amaranthus quitensis* var. Rubí con fréjol

5.5. Establecimiento del ensayo

Se realizó el arado y pase de rastra en el terreno a una profundidad de 0.20 m. Seguido de ello, se dividió los bloques y parcelas, se delimitó de acuerdo al diseño experimental planteado (Anexo 3; Fig. 15). El 25 de diciembre del 2020, se efectuó la siembra siguiendo cuatro arreglos espaciales (Anexo 3; Fig. 16). Debido al tamaño de la semilla de amaranto, la siembra se realizó a chorro continuo, mientras que el fréjol se estableció a 0.30 m entre planta y planta.

5.6. Manejo agronómico del ensayo

Con la finalidad de mantener el ensayo en óptimas condiciones se hicieron monitoreos constantes para identificar las principales plagas y enfermedades en los cultivos (Anexo 3; Fig. 17 y 18). Adicionalmente se llevó a cabo la fertilización (Anexo 3; Fig. 19); se controló la invasión de arvenses cada 15 días y el aporque en las plantas de amaranto, cuando estas midieron entre 0.50 y 0.60 m, ello debido a la tendencia que tiene esta planta para acamarse (Anexo 3; Fig. 20).

Durante el periodo de diciembre 2020 a junio de 2021, se llevó el registro de datos (Anexo 3; Fig. 21 y 22); en ambos cultivos, la cosecha se efectuó de forma manual, cuando el grano alcanzó la madurez fisiológica. Finalmente, las muestras seleccionadas fueron trasladadas al laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional de Loja, para sus respectivos análisis (Anexo 3; Fig. 23, 24, 25, 26).

5.7. Diseño experimental y análisis estadístico

5.7.1. Diseño experimental

La investigación se estableció bajo un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), con arreglo bifactorial. Los factores considerados fueron el genotipo de amaranto (2 niveles) y arreglo espacial (4 niveles), cuya combinación de los distintos niveles de cada factor dio origen a 8 tratamientos que, con sus respectivas 3 repeticiones, abarcó un total de 24 UE. A estos elementos, se adicionó un testigo referencial, con tres repeticiones, correspondiente a un monocultivo de fréjol, con el objetivo de abarcar elementos argumentativos para la comprensión y discusión de los resultados.

Por lo tanto, el experimento contempló un total de 9 tratamientos, con tres repeticiones y un total de 27 UE (Tabla 4).

Tabla 4: Delineamiento del diseño experimental.

Diseño	Cantidad
Número de tratamientos:	9
Número de repeticiones por tratamiento:	3
Número total de unidades experimentales:	27
Unidad experimental:	Parcela
Tamaño parcela:	2.50 m de ancho 2 m de largo
Distancia entre parcelas:	1,00 m

En la Tabla 5, se muestra a detalle las unidades experimentales, repeticiones y factores con sus niveles. Se incluye como control referencial el fréjol (Unidades Experimentales: 25, 26 y 27).

Tabla 5. Unidades experimentales, repeticiones y factores.

Unidad experimental	Repetición	Factor 1	Factor 2
		Genotipo (2 niveles)	Arreglo (4 niveles)
1	1	Rubí	50 cm (Monocultivo)
2	2	Rubí	50 cm (Monocultivo)
3	3	Rubí	50 cm (Monocultivo)
4	1	Rubí	25 cm (Amaranto + Fréjol)
5	2	Rubí	25 cm (Amaranto + Fréjol)
6	3	Rubí	25 cm (Amaranto + Fréjol)
7	1	Rubí	50 cm (Amaranto + Fréjol)
8	2	Rubí	50 cm (Amaranto + Fréjol)
9	3	Rubí	50 cm (Amaranto + Fréjol)
10	1	Rubí	50-25-25-50 cm (Amaranto + Fréjol)
11	2	Rubí	50-25-25-50 cm (Amaranto + Fréjol)
12	3	Rubí	50-25-25-50 cm(Amaranto + Fréjol)
13	1	Alegría	50 cm (Monocultivo)
14	2	Alegría	50 cm (Monocultivo)
15	3	Alegría	50 cm (Monocultivo)
16	1	Alegría	25 cm (Amaranto + Fréjol)
17	2	Alegría	25 cm (Amaranto + Fréjol)
18	3	Alegría	25 cm (Amaranto + Fréjol)
19	1	Alegría	50 cm (Amaranto + Fréjol)

20	2	Alegría	50 cm (Amaranto + Fréjol)
21	3	Alegría	50 cm (Amaranto + Fréjol)
22	1	Alegría	50-25-25-50 cm (Amaranto + Fréjol)
23	2	Alegría	50-25-25-50 cm (Amaranto + Fréjol)
24	3	Alegría	50-25-25-50 cm (Amaranto + Fréjol)
25*	1	Fréjol	50 cm (Monocultivo Fréjol)
26*	2	Fréjol	50 cm (Monocultivo Fréjol)
27*	3	Fréjol	50 cm (Monocultivo Fréjol)

* Unidades experimentales del testigo referencial, correspondiente a monocultivo de fréjol.

5.7.2. Modelo matemático del diseño experimental.

El modelo matemático empleado fue:

$$Y_{ijk} = \mu + \omega_i + \beta_j + (\omega\beta)_{ij} + P_k + \epsilon_{ijk}$$

$i = 1, 2$ $a =$ nivel del factor A (Genotipo)

$j = 1,2,3,4$ $b =$ nivel del factor B (Arreglo espacial)

$k=1,2,3,\dots$ $n =$ Bloques

$Y_{ijk} =$ Variable respuesta

$\mu =$ Media global de la variable respuesta

$\omega_i =$ Efecto del factor genotipo ($i = 1,2$)

$\beta_j =$ Efecto del factor arreglo espacial ($j = 1,2,3,4$)

$(\omega\beta)_{ij} =$ Efecto de interacción entre el factor genotipo y arreglo espacial
($i=1,2$; $j= 1,2,3,4$)

$P_k =$ Efecto bloque

$\epsilon_{ijk} =$ Error experimental

5.7.3. Descripción de los tratamientos evaluados

A continuación, en la Tabla 6, se muestran los 9 tratamientos evaluados:

Tabla 6. Tratamientos aplicados en el ensayo

Tratamiento	Genotipo	Arreglo
R(0)	Rubí	50 cm (Monocultivo)
RF(25)	Rubí	25 cm (Amaranto + Fréjol)
RF(50)	Rubí	50 cm (Amaranto + Fréjol)
RF (50-25-25-50)	Rubí	50-25-25-50 cm (Amaranto + Fréjol)
A(0)	Alegría	50 cm (Monocultivo)
AF(25)	Alegría	25 cm (Amaranto + Fréjol)
AF(50)	Alegría	50 cm (Amaranto + Fréjol)
AF(50-25-25-50)	Alegría	50-25-25-50 cm (Amaranto + Fréjol)
F(0)	Fréjol	50 cm (Monocultivo)

Rubí: *Amaranthus quitensis* var.; **Alegría:** *Amaranthus caudatus* var.; **Fréjol:** *Phaseolus vulgaris*. Los números que se muestran la columna del arreglo indican la distancia entre hileras. Simbología tratamientos: **R:** Rubí; **RF:** Rubí asociado con fréjol; **A:** Alegría; **AF:** Alegría asociado con fréjol; **F:** fréjol; números en paréntesis indican distancias entre hilera de acuerdo con el arreglo espacial.

5.7.4. Esquema de disposición del ensayo en campo

La Figura 3, muestra los nueve tratamientos distribuidos en el ensayo de campo, cada uno con tres repeticiones.

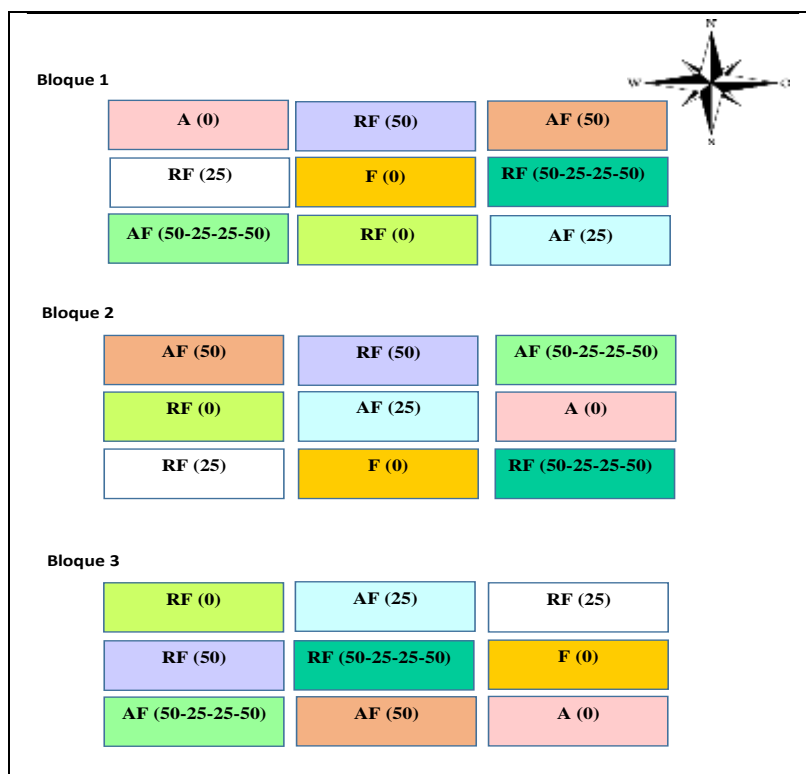


Figura 3: Esquema del diseño experimental y tratamientos distribuidos en campo.

5.7.5. Análisis estadístico

Se realizó un Análisis de Varianza (ANOVA) para determinar si existieron o no diferencias significativas entre los tratamientos. En los casos donde hubo diferencias significativas entre los tratamientos, se aplicó el Test de Comparaciones Múltiples de Tukey (95 %), para identificar el mejor tratamiento, en base a la variable dependiente analizada (en todos los casos se verificaron los supuestos de homogeneidad y normalidad de varianzas). Posterior a ello, para estimar si existió relación entre variables cuantitativas, se elaboró una matriz de correlación, empleando el Coeficiente de Correlación de Pearson (95 %).

Para el análisis de varianza (ANOVA) y el Test de Comparaciones Múltiples de Tukey, se utilizó el Software InfoStat Para ejecutar la matriz de correlación, se empleó el Software JMP de SAS.

5.7.6. Variables evaluadas

Fenología: Semanalmente, se registró la fenología del cultivo de amaranto usando la escala BBCH (Martínez *et al.*, 2019b). Cada cambio de etapa fue asignado cuando el 50 % de las plantas de cada parcela cambian de un estado a otro.

Altura de planta: De 5 plantas de amaranto seleccionadas al azar de cada parcela, se registró esta variable, utilizando una cinta métrica, midiendo desde el cuello de la planta hasta el ápice de la misma (cm). Las lecturas se efectuaron cada 15 días desde el inicio del ensayo.

Tasa de elongación del tallo y dinámica de crecimiento: La tasa de elongación del tallo, se estimó ajustando los datos de la altura a un modelo bilineal, mediante la técnica de optimización interactiva con el Software Table Curve v5.01.

Para la dinámica de crecimiento del tallo, los valores se ajustarán a una función sigmoidea, utilizando el Software GraphPad Prism 8.01.

El diámetro de tallo: Fue medido de 5 plantas tomadas al azar, utilizando un calibrador Vernier (pie de rey), a 5 cm del nivel del suelo. Las lecturas se llevaron a cabo, con una frecuencia de 15 días desde el inicio del ensayo.

Las variables que se describen a continuación fueron medidas para las dos especies de amaranto y para el fréjol

Área foliar (AF): Se seleccionaron 25 hojas al azar, en distinto estado de desarrollo, para obtener una ecuación que estime el área foliar, para lo cual, se midió el largo y ancho con una cinta en centímetros, y por medio de fotografía y Photoshop, se obtuvo el área foliar de las hojas. Con estos datos por medio de regresión, se estimó la ecuación para el área foliar.

Biomasa de los cultivos: En madurez fisiológica se tomaron 5 plantas de la parcela, las cuales, se secaron a 70 ± 5 °C por 48 h, posterior a ello, se pesó la biomasa total en una balanza granataria.

Número de granos: Se realizó un conteo manual del número de granos por planta, y por panoja, se consideró 5 plantas de cada parcela.

Peso de 1000 granos: Se procedió a pesar una muestra representativa de 1000 granos de cada parcela en una balanza granataria. Los granos previamente se secaron en estufa a 60 °C por 48 h. El peso se expresó en gramos.

Rendimiento del grano: Se cosecharon 5 plantas, y se determinó el número de granos por planta y el peso promedio de grano. El rendimiento se calculó como el producto de:

Número de granos m⁻² * Peso promedio de grano (g).

Índice de cosecha (IC): Se obtuvo al determinar el rendimiento en g/m² de cada unidad experimental, y luego se dividió para la biomasa de la superficie cosechada (g/m²).

$$IC = \frac{\text{rendimiento del grano}}{\text{biomasa aerea total}} \times 100$$

6. RESULTADOS

6.1. Fenología del cultivo

La Figura 4, muestra la escala fenológica de las dos especies de amaranto. Para la variedad Rubí, el ciclo del cultivo fue de 180 días, mientras que la variedad Alegría, tuvo un ciclo de 175 días.

La aparición de las dos hojas verdaderas (BBCH 11), se produjo a los 16 días en la variedad Alegría, y a los 19 días en la variedad Rubí, el crecimiento longitudinal del tallo se dio en paralelo con el desarrollo de las hojas, en ambas variedades la fase vegetativa presentó un rápido aumento tanto en el crecimiento como en el desarrollo del follaje de la planta. El cambio de fase vegetativa a la reproductiva, (el 50 % de las plantas presentaban emergencia de la inflorescencia BBCH 50), inició a los 64 días en la variedad Rubí y a los 57 días en la variedad Alegría. El comienzo de antesis (BBCH 60), se presentó alrededor de 90 días en la variedad Rubí, para la variedad Alegría esta fase fue alcanzada a los 83 días después de la siembra.

El desarrollo de los frutos y semillas (BBCH 71), en la cual los primeros granos visibles han alcanzado la mitad de su tamaño final, fue alcanzada a los 126 días en Rubí, y a los 121 días en Alegría. El estadio BBCH 75, presenta granos inmaduros (los granos muestran consistencia lechosa), la variedad Rubí la alcanzó a los 133 y Alegría a los 130 días. Finalmente, se dio la madurez fisiológica (BBCH 89), observándose un grano maduro con contenido seco de color marfil opaco, listo para cosechar, se alcanzó a los 179 en Rubí y a los 175 días en Alegría.

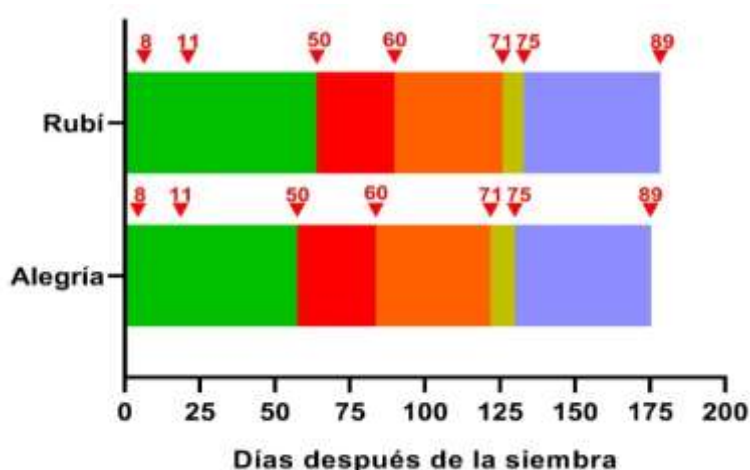


Figura 4. Fenología de *Amaranthus quitensis* var. Rubí y *Amaranthus caudatus* var. Alegría; Números y triángulos rojos muestran la escala BBCH. Verde: fase vegetativa (BBCH9-17); Rojo: emergencia de la inflorescencia (BBCH50-59); Naranja: antesis (BBCH60-69); dorado: desarrollo de frutos y semillas (BBCH71-75); azul: maduración de semillas (BBCH80-89)

6.2. Altura de la planta y tasa de elongación del tallo

De acuerdo al análisis, no existe diferencias significativas entre los tratamientos para la variable altura de la planta. Sin embargo, cabe mencionar que, el genotipo Alegría alcanzó 202 cm en el tratamiento testigo (A0) y Rubí alcanzó 189.24 cm, en el tratamiento RF (50-25-25-50). La tasa de elongación, presentó diferencia significativa entre los genotipos (p-valor = 0.0092; p-valor < 0.001), Alegría fue la variedad con mayor tasa de elongación 2.76 cm/día mientras que Rubí, presentó la menor tasa con 2.04 cm/día. Con respecto al tiempo para alcanzar la altura máxima, existió diferencia altamente significativa entre los genotipos (p-valor = 0.0001; p-valor < 0.001), donde Alegría alcanzó su altura máxima a los 102.88 días, y Rubí lo obtuvo a los 113.85 días (Tabla 7).

Tabla 7. Medidas de la altura de planta y tasa de crecimiento de dos especies de amaranto en asociación con frejol.

GENOTIPO	ARREGLO ESPACIAL	ALTURA (cm)	TASA cm / día	TIEMPO (Días)
<i>Amaranthus caudatus</i> var. Alegría	A (0)	202	2.76	102.88
	F (25)	177	2.38	100.71
	F (50)	176.80	2.54	103.26
	F (50 -25-25-50)	176.83	2.43	101.72
<i>Amaranthus quitensis</i> var. Rubí	R (0)	152	2.16	112.92
	F (25)	179	2.04	117.14
	F (50)	181.67	2.26	113.85
	F (50 -25-25-50)	189.24	2.38	110.64
E.ST		4.63	0.06	1.48
Genotipo		n.s	***	***
Arreglo		n.s	n.s	n.s
Genotipo x Arreglo		n.s	n.s	n.s

Los valores son medias de tres repeticiones. ns=efecto no significativo; * efecto significativo p<0,05; ** efecto significativo p<0,01; *** efecto significativo p<0,001. E.ST, indica el error estándar de las medias.

6.3. Dinámica de crecimiento del tallo

La Figura 5, muestra la dinámica de crecimiento del tallo. Alegría inicio su crecimiento activo a los 30 días después de la siembra, alcanzando una altura máxima de 202 cm a los 102 días, mientras que, el crecimiento de Rubí comenzó a los 35 días y alcanzó una altura de 189.24 cm a los 110 días.

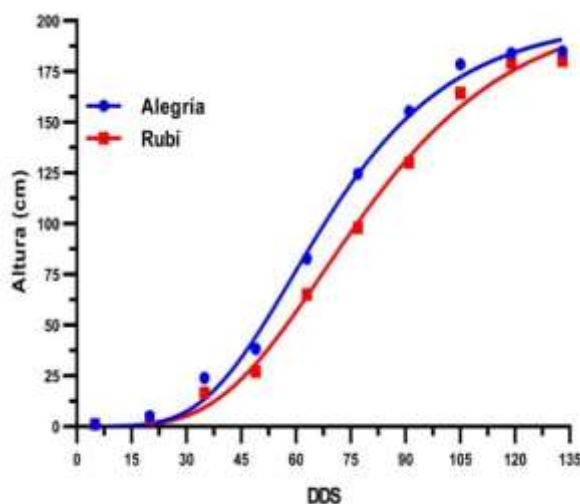


Figura 5. Dinámica de crecimiento del tallo de las plantas de dos especies de amaranto. Curva azul representa al amaranto Alegría y curva roja al amaranto Rubí. Cada punto es el promedio de tres repeticiones. Días después de la siembra (DDS).

6.4. Diámetro del tallo y su tasa de crecimiento.

Existen diferencias significativas para el diámetro del tallo con respecto al factor genotipo (p -valor = 0.037; p -valor < 0.05): Alegría presentó una media de 29.38 cm, y Rubí con 26.23 cm.

En el caso de la tasa de crecimiento del diámetro, se presentaron diferencias significativas para el genotipo y el arreglo espacial. En el caso del genotipo, se manifestaron diferencias significativas (p -valor = 0.02; p -valor < 0.05), Alegría tuvo la mejor tasa de crecimiento (0.49), mientras que la tasa de crecimiento de Rubí fue de 0.36. Con respecto al arreglo espacial, se manifestaron diferencias altamente significativas (p -valor = 0.0008; p -valor < 0.001), siendo el arreglo F (50) con el que se obtuvo la tasa de crecimiento más alta (0.49), y el arreglo F (25), el que tuvo la tasa de crecimiento más baja (0.29).

El tiempo para alcanzar el mayor diámetro no presento diferencias significativas, no obstante, Alegría tardó 83.55 días y para Rubí 86.52 días (Tabla 8).

Tabla 8. Diámetro del tallo y tasa de crecimiento de dos especies de amaranto en asociación con fréjol.

TRATAMIENTO	DIAMETRO (cm)	TASA (cm/día)	TIEMPO (Días)
A (0)	28.75	0.46	81.22
R (0)	21.89	0.40	80.38
AF (25)	23.55	0.36	80.87
RF (25)	20.99	0.29	92.25
AF (50)	29.38	0.49	83.55
RF (50)	26.23	0.43	86.52
AF (50 -25-25-50)	23.36	0.36	80.72
RF (50 -25-25-50)	23.45	0.35	90.15
E.ST	0.82	0.01	1.51
Genotipo	*	*	ns
Arreglo	ns	***	ns
Genotipo x Arreglo	ns	ns	ns

Los valores son medias de tres repeticiones. ns=efecto no significativo; * efecto significativo $p < 0,05$; ** efecto significativo $p < 0,01$; *** efecto significativo $p < 0,001$. E.ST, indica el error estándar de las medias.

6.5. Dinámica de crecimiento del diámetro del tallo

En la Figura 6, se muestra el crecimiento activo del diámetro del tallo. Alegría inicio a los 23 días después de la siembra, el mayor diámetro fue de 29.38 cm alcanzado a los 83.55 días. En el caso de Rubí, este genotipo inició a los 25.74 días, logrando un diámetro de 21.89 cm a los 80.38 días.

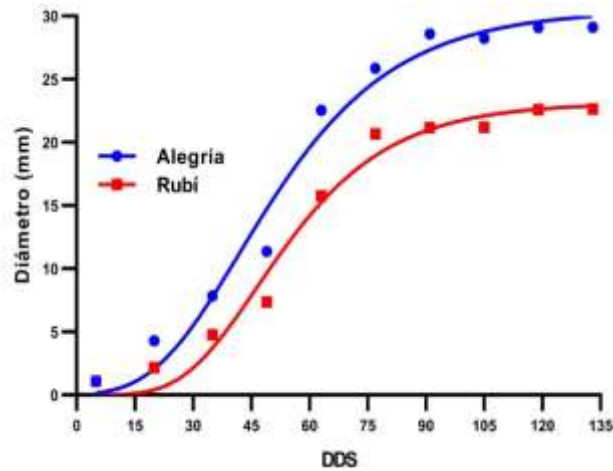


Figura 6. Dinámica de crecimiento del diámetro de dos especies de amaranto en asociación con fréjol bajo distinto arreglo espacial. Curva azul representa al amaranto Alegria y curva roja al amaranto Rubi. Cada punto es el promedio de tres repeticiones. Días después de la siembra (DDS)

6.6. Área foliar

Para calcular el área foliar de las dos especies de amaranto y fréjol, se utilizó una medida alométrica basada en un análisis de regresión. Se midió el largo y ancho de las hojas, y los folíolos, con los cuales se obtuvo el área foliar. Posterior a ello, se probaron distintos modelos de regresión, presentándose un mejor ajuste con el modelo potencial, sin embargo, para el amaranto Alegria, y Rubi, el mejor ajuste se obtuvo con el ancho de la hoja, obteniendo un R^2 de 0.98 y de 0.981, respectivamente.

Para el fréjol se obtuvo el mejor ajuste con el largo de los folíolos obteniendo un R^2 de 0.9433. La Figura 7, muestra las ecuaciones y las curvas de regresión.

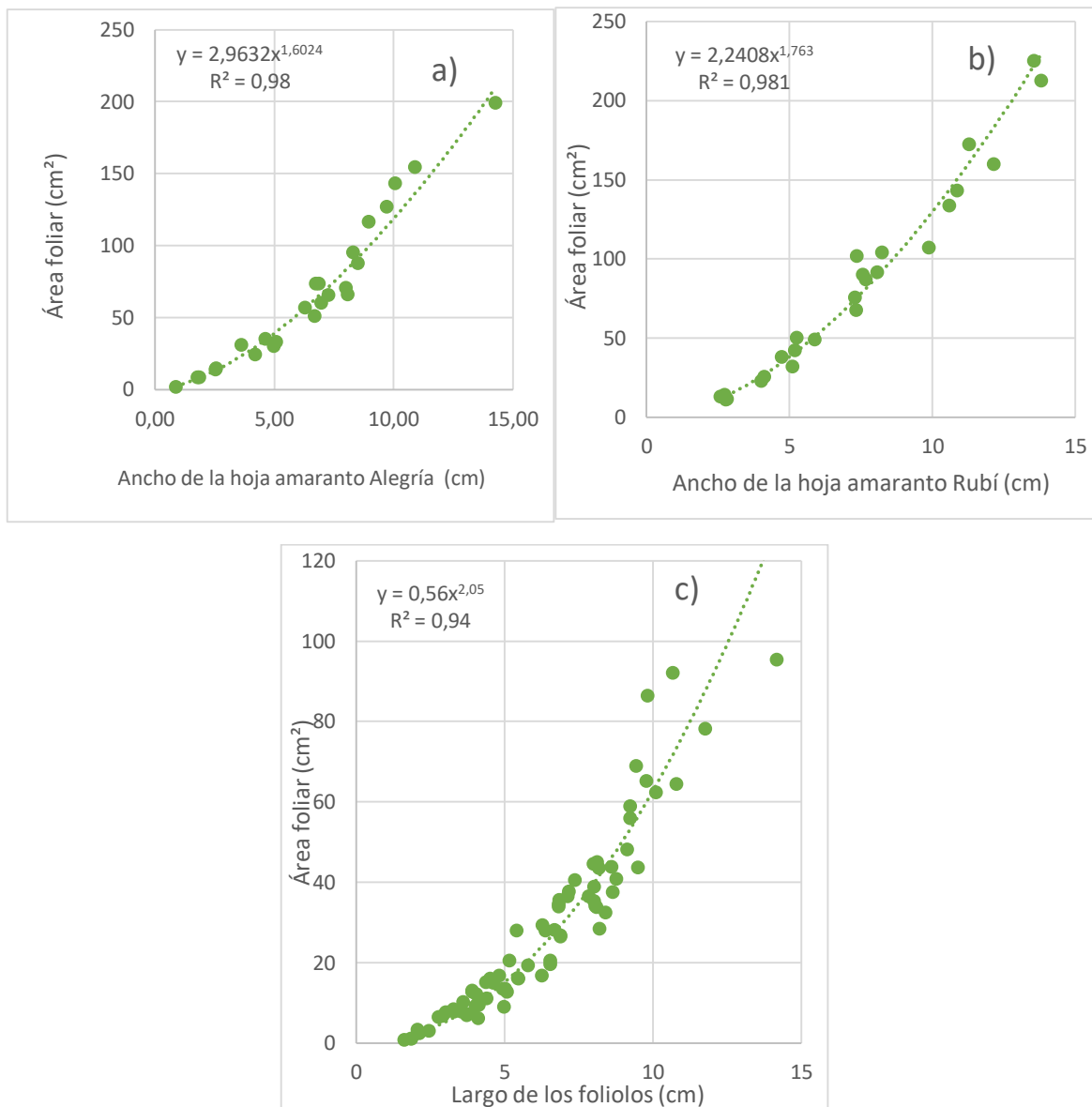


Figura 7. Curvas de regresión obtenidas entre el ancho y largo de las hojas; a: ancho de las hojas de la variedad Alegría; b: ancho de las hojas de la variedad Rubí (b); c: largo de los foliolos del fréjol. Cada punto representa el promedio de tres repeticiones.

En el área foliar de amaranto, no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos, sin embargo, se presentan valores desde los 2 449.67 hasta 5 419.31 cm² (Tabla 9)

Tabla 9. Medidas del área foliar de dos genotipos de amaranto en un cultivo en asociación bajo distinto arreglo espacial.

Tratamiento	Área foliar del amaranto cm ²
A (0)	5419.31
R (0)	4331.88
F (0)	-
AF (25)	3023.80
RF (25)	2449.67
AF (50)	4351.48
RF (50)	5088.40
AF (50 -25-25-50)	3090.57
RF (50 -25-25-50)	3733.18
E.ST	0.0
Genotipo	ns
Arreglo	ns
Genotipo x Arreglo	ns

Los valores son medias de tres repeticiones. ns=efecto no significativo; * efecto significativo $p < 0,05$; ** efecto significativo $p < 0,01$; *** efecto significativo $p < 0,001$. E.ST, indica el error estándar de las medias.

El área foliar del fréjol presentó valores desde 843.05 hasta 1614.37 cm², existiendo diferencias altamente significativas entre los tratamientos (p -valor = 0.0010; p -valor < 0.001). En el tratamiento comprendido por el asocio de la variedad Rubí con fréjol, con un distanciamiento entre hilera de 50 cm (RF (50), el fréjol obtuvo la mayor área foliar de 1614.37 cm².

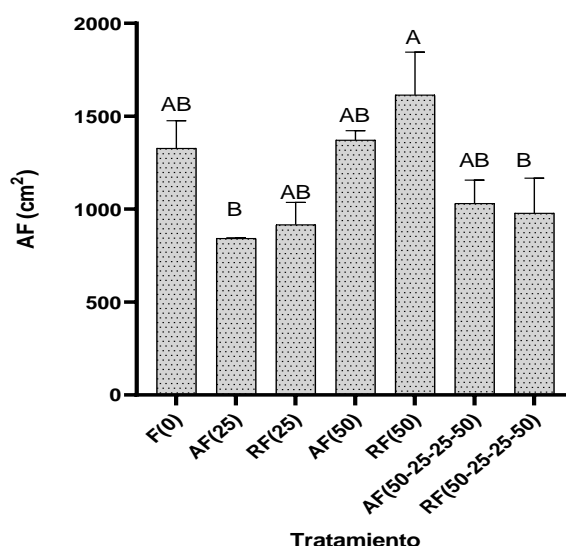


Figura 8. Área foliar del fréjol en asocio con amaranto. Letras distintas indican diferencias significativas entre los tratamientos mediante prueba de Tukey (95%); las líneas sobre las columnas representan el error estándar de las medias.

6.7. Biomasa de las especies

La biomasa del amaranto presentó diferencias altamente significativas con respecto al factor arreglo espacial, (p -valor = 0.0001; p -valor < 0.01) los arreglos (0) y (50-25-25-50) generaron mayor biomasa con valores de 29 t ha⁻¹ y 28 t ha⁻¹ respectivamente, mientras que los arreglos (50) y (25) presentaron menor biomasa registrando valores de 20 t ha⁻¹ y 19 t ha⁻¹ (Fig. 9, letra A).

En fréjol la biomasa presentó diferencias altamente significativas entre los tratamientos (p -valor = 0.0001; p -valor < 0.01), el mejor tratamiento fue AF (50) con 0.14 t ha⁻¹ a diferencia de en AF (25), que presentó la menor biomasa de 0.06 t ha⁻¹ (Figura 9, letra B).

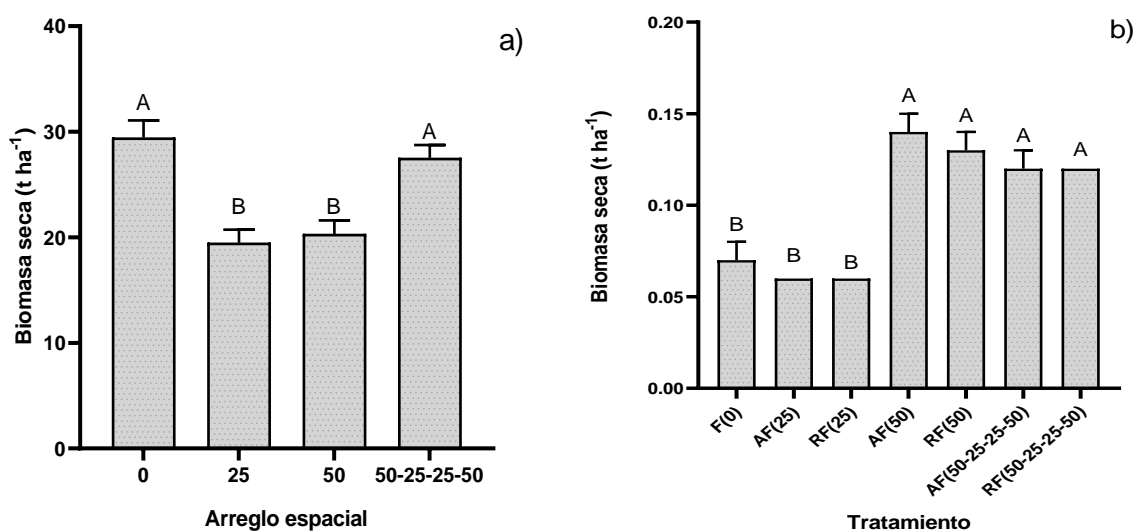


Figura 9. Biomasa seca de las plantas de amaranto y fréjol; a: biomasa del amaranto; b: biomasa del fréjol. Letras distintas indican diferencias significativas entre los tratamientos mediante prueba de Tukey (95%); las líneas sobre las columnas representan el error estándar de las medias.

6.8. Rendimiento y sus componentes

6.8.1. Número de granos

La Figura 10, muestra el número de granos/m². En amaranto, se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos (p -valor = 0.040; p -valor < 0.05), el tratamiento RF (50-25-25-50) presentó el mayor número de granos/m² (1045541 granos/m²), seguido por el tratamiento A (0) con (975246 granos/m²), por el contrario, RF (25), fue el tratamiento que registro el menor número de granos con 507784 granos/m².

En fréjol, se presentaron diferencias altamente significativas entre los tratamientos (p -valor = 0.0001; p -valor < 0,01), el tratamiento control, F (0) obtuvo 367 granos/m², mientras que el tratamiento RF (50-25-25-50), presentó el menor número de granos 75 granos/m².

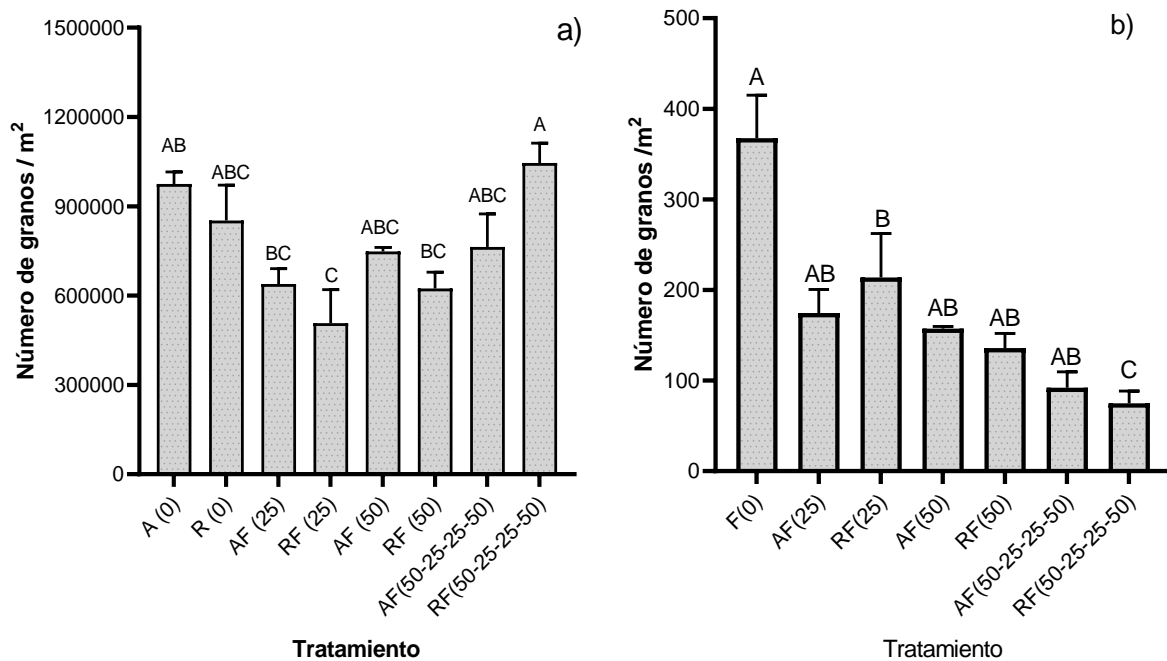


Figura 10. Número de granos de amaranto y fréjol obtenidos en 1 m². a: Número de granos de amaranto / m²; b: número de granos de fréjol. Letras distintas indican diferencias significativas entre los tratamientos mediante prueba de Tukey (95%); las líneas sobre las columnas representan el error estándar de las medias.

6.8.2. Peso de mil granos

Tras conocer los resultados del peso de los granos en las dos variedades de amaranto (Alegría y Rubí), se comprobó que existen diferencias significativas, (p -valor, 0.0001), la variedad Alegría presentó un peso promedio de 1.01 (g) y la variedad Rubí 0.60 (g) respectivamente; por su parte, en el peso de mil granos del fréjol no se encontró diferencias significativas su peso promedio fue de 660.19 g. (Figura 11).

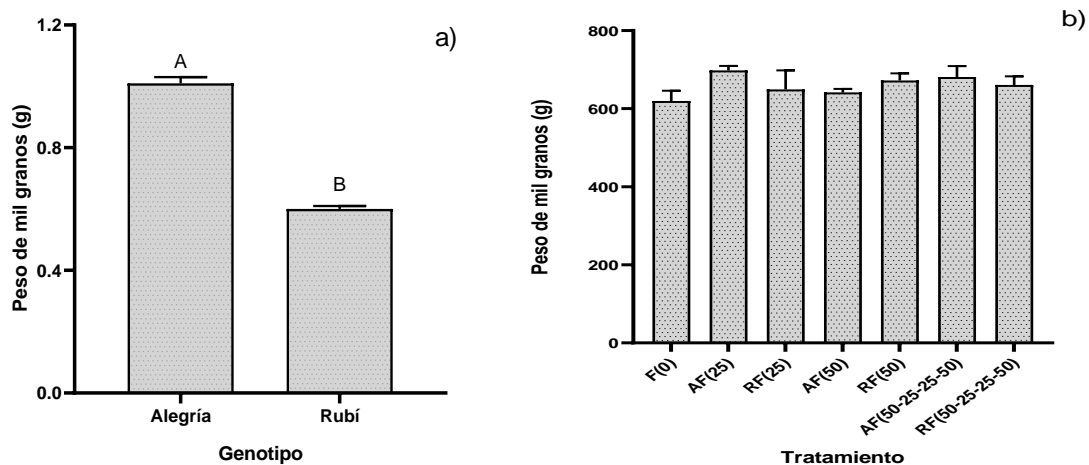


Figura 11. Peso de mil granos de los genotipos de amaranto (a); Peso de mil granos de fréjol de acuerdo a los tratamientos (b); letras distintas indican diferencias significativas entre los tratamientos mediante prueba de Tukey (95%); las líneas sobre las columnas representan el error estándar de las medias.

6.8.3. Rendimiento del grano de amaranto

El rendimiento de amaranto presentó diferencias altamente significativas (p -valor = 0.0001; p -valor < 0.001). El mejor rendimiento lo tuvo el genotipo Alegría con 7.90 t ha^{-1} , mientras que Rubí presentó 4.76 t ha^{-1} . En el caso del arreglo espacial, se manifestaron diferencias altamente significativas (p -valor = 0.0021; p -valor < 0.01), presentándose un rendimiento de 7.78 t ha^{-1} para el arreglo (0), seguido por el arreglo (50-25-25-50), con un rendimiento de 6.72 t ha^{-1} (Figura 12).

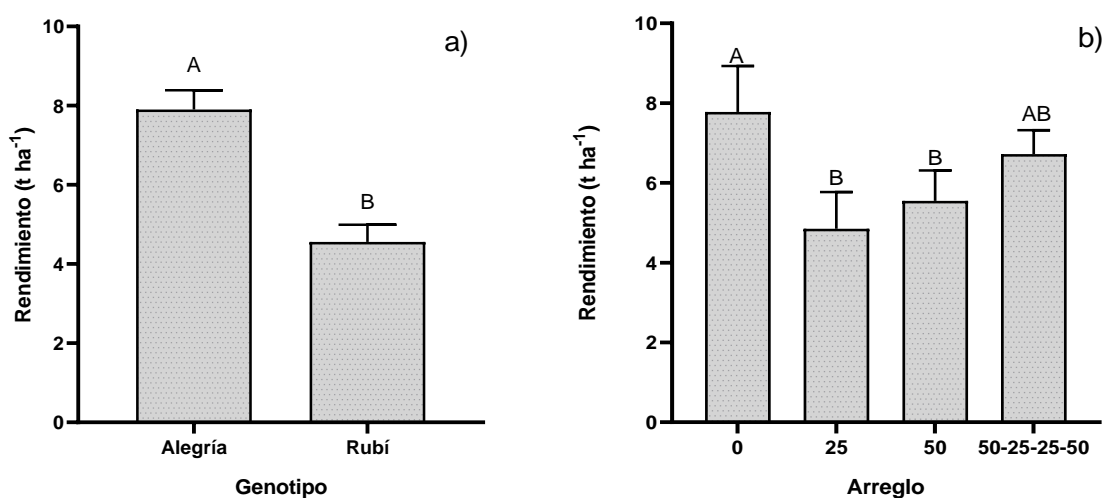


Figura 12. Rendimiento de los genotipos de amaranto (a); Rendimiento de acuerdo al arreglo espacial (b). Letras distintas indican diferencias significativas entre los tratamientos mediante prueba de Tukey (95%); las líneas sobre las columnas representan el error estándar de las medias.

6.8.4. Rendimiento de grano de fréjol

En el caso del fréjol, se presentaron diferencias altamente significativas entre los tratamientos (p -valor = 0.0007; p -valor < 0.001), siendo el tratamiento control F (0) con el que se obtuvo el mayor rendimiento, con un valor de 1.71 t ha^{-1} , mientras que, en contra posición, se encuentran los tratamientos AF (50-25-25-50) y RF (50-25-25-50), con rendimientos de 0.52 y 0.44 t ha^{-1} , respectivamente (Figura 13).

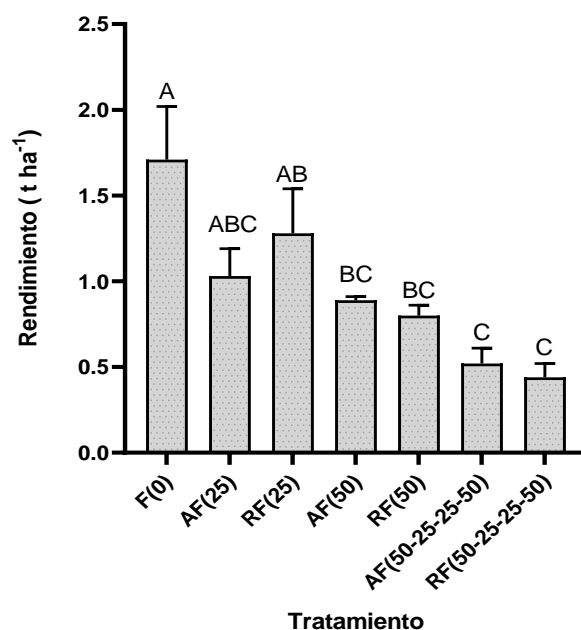


Figura 13. Rendimiento de fréjol de acuerdo a los tratamientos; letras distintas indican diferencias significativas entre los tratamientos mediante Prueba de Tukey (95%); las líneas sobre las columnas representan el error estándar de las medias.

6.9. Índice de cosecha (IC)

Con respecto al índice de cosecha (IC), en amaranto se obtuvieron diferencias altamente significativas entre los genotipos (p -valor = 0.0001; p -valor < 0.001), el genotipo Alegría obtuvo el IC más alto, de un 31.90 %, mientras que, el genotipo Rubí logró un IC de 19.24 %.

Por su parte, en el fréjol, se manifestaron diferencias altamente significativas entre los tratamientos (p -valor = 0.01; p -valor < 0.01), donde el tratamiento AF (50), presentó el mejor IC (58.71 %), (Figura 14).

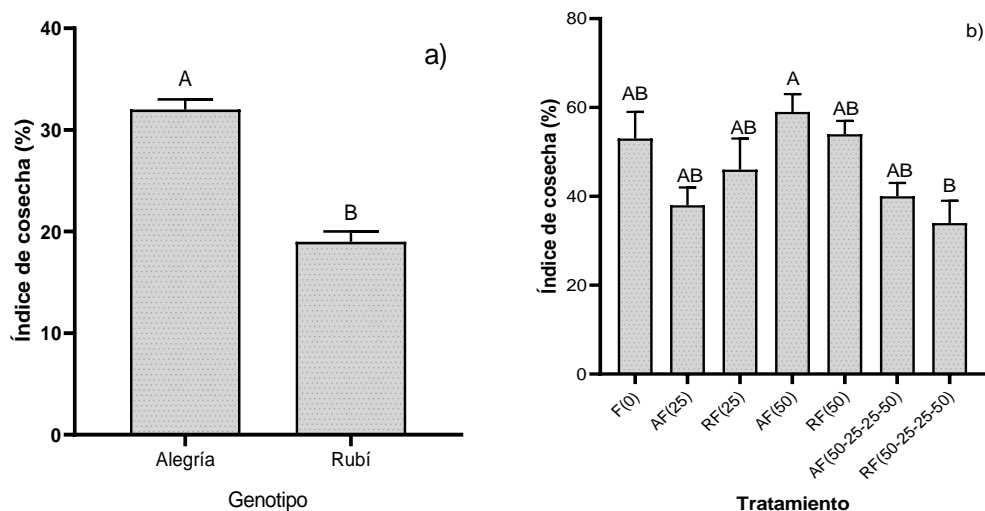


Figura 14. Índice de cosecha de los genotipos de amaranto (a); índice de cosecha de fréjol (b); letras distintas indican diferencias significativas entre los tratamientos mediante prueba de Tukey (95%); las líneas sobre las columnas representan el error estándar de las medias.

6.10. Análisis de Correlación

En la Tabla 10, se muestran las correlaciones de las principales variables evaluadas en el genotipo Alegría. Se detectó correlaciones positivas entre la biomasa con el número de granos $r = 0.70$ (<0.01), con el peso de 1000 granos $r = 0.64$ (0.02) y con el rendimiento $r = 0.79$ (<0.01), la correlación más significativa está dada por el número de granos con el rendimiento $r = 0.95$ (<0.001).

Tabla 10. Correlación de variables medidas en el genotipo Alegría.

Variable 1	Variable 2	Coefficiente de correlación de Pearson (r)	p-valor
AF (cm ²)	Biomasa	0.21	0.49
	Número de granos	0.46	0.12
	Rendimiento	0.40	0.19
	IC	0.32	0.29
Biomasa	Número de granos	0.70	<0.01
	Peso de 1000 granos	0.64	0.02
	Rendimiento	0.79	<0.01
Número de Granos	Peso de 1000 granos	0.10	0.74
	Rendimiento	0.95	<0.001
	IC	0.33	0.28

Peso de 1000 de Granos	Rendimiento	0.28	0.37
Rendimiento	IC	0.25	0.42

La Tabla 11, muestra las variables correlacionadas en la variedad Rubí, se obtuvo correlaciones positivas dadas por: la biomasa con el número de granos $r = 0.90$ (<0.001) y el rendimiento $r = 0.88$ (<0.001), el rendimiento con el IC $r = 0.71$ y la correlación más significativa esta presentada por el número de granos con el rendimiento $r = 0.98$ (<0.001).

Tabla 11. Correlación de variables medidas en el genotipo Rubí.

Variable 1	Variable 2	Coefficiente de correlación de Pearson (r)	p-valor
AF	Biomasa	0.39	0.20
	Número de granos	0.19	0.55
	Rendimiento	0.18	0.57
Biomasa	Número de granos	0.90	<0.001
	Peso de 1000 granos	0.39	0.20
	Rendimiento	0.88	<0.001
	IC	0.30	0.33
Número de Granos	Peso de 1000 granos	0.30	0.34
	Rendimiento	0.98	<0.001
	IC	0.63	0.02
Peso de 1000 de Granos	Rendimiento	0.29	0.34
Rendimiento	IC	0.71	<0.01

La Tabla 12, indica las correlaciones entre las variables evaluadas en fréjol; La correlación positiva más alta está dada por el número de granos y el rendimiento con un $r = 0.95$ y el p-valor <0.0001 .

Tabla 12. Correlación de variables medidas en fréjol.

Variable 1	Variable 2	Coefficiente de correlación de Pearson (r)	p-valor
AF	Biomasa	0.52	0.01
	Número de granos	0.23	0.29
	Rendimiento	0.20	0.38
	IC	0.60	<0.01
Biomasa	IC	0.27	0.22
Número de Granos	Rendimiento	0.95	<0.0001
	IC	0.54	<0.01
Rendimiento	IC	0.60	<0.01

7. DISCUSIÓN.

El ciclo de vida y la duración de las etapas fenológicas de *Amaranthus quitensis* var. Rubí y de *Amaranthus caudatus* var. Alegría, fueron distintos. El amaranto Alegría, fue la especie con más precocidad, llegó a madurez de cosecha a los días 175 días después de la siembra, a diferencia del amaranto Rubí, que presentó un ciclo fenológico de 180 días, información que concuerda con lo mencionado por Peralta (2012), donde señala que los días a cosecha en las dos especies va de 150 a 180 días. Adicionalmente, el rango de adaptación para este cultivo es amplio, por lo que las condiciones edafoclimáticas de la provincia de Loja, son aptas para su desarrollo (Peralta. *et al.*, 2013).

Ante ello, Khanam *et al.* (2014), señalan que el amaranto tiene un alto grado de plasticidad fenotípica, es decir, son plantas capaces de cambiar su fenotipo como consecuencia de cambios en el medio ambiente. Por su parte, Cisneros *et al.*, (2018), expresan que los factores ambientales y genéticos de cada especie influyen directamente en ciclo de vida de cada cultivo.

Con el propósito de identificar el efecto ejercido del fréjol sobre las dos especies de amaranto en un cultivo asociado, se encontró que la variedad Alegría presentó plantas más altas (202 cm), en el tratamiento testigo, para el caso de variedad Rubí, existe mayor altura (189.24 cm), en el arreglo (50-25-25-50), considerando que las plantas establecidas bajo estos tratamientos encontraron las mejores condiciones para su crecimiento. Estos resultados concuerdan con Zubillaga., (2017), el cual indica que un arreglo espacial de 0.70 m, en el cultivo de amaranto permite un desarrollo normal de las plantas, mientras que, en un espaciado menor de 0.30 m, hay un incremento de competencia entre plantas, observándose plantas con tallos débiles causando vuelco de las mismas.

La altura de la planta se considera un parámetro predictor de rendimiento, porque, refleja la acumulación de los nutrientes que se producen durante el proceso de la fotosíntesis, los cuales posteriormente son traslocados al llenado de granos (Galván, 2019), ante ello, Espitia *et al.* (2010), exponen que la altura adecuada para el amaranto va desde 1.50 m hasta 2 m, no obstante, se puede alcanzar hasta a 3 m, pero esta medida no es deseable porque incrementa la posibilidad de acame, ruptura del tallo debido al peso de la inflorescencia, causando pérdidas considerables en la producción.

El área foliar de las dos especies de amaranto está influenciada por los arreglos espaciales, si bien no se encontraron diferencias significativas, los valores registrados son bastante

considerables, A (0), presentó 5 419.31 cm² y R (50), 5 088.40 cm², este hecho permitió tener mayor superficie fotosintética, a diferencia de AF (25) y RF (25), que presentaron valores bajos 3 023.80 cm² y 2 449.67 cm², respectivamente.

En concordancia con lo observado, Zubillaga., (2017), expone que un espaciado amplio entre surcos favorece la captación de luz, por esta razón, los valores de área foliar serán superiores. Investigaciones realizadas por Rodríguez (2011), en el cultivo de amaranto, indican que un aumento en los arreglos espaciales hay mejor captación de luz, por ende, mayor índice de área foliar, representando una ganancia de área foliar hasta del 60 %, en comparación con las cultivadas en un espaciado menor.

Ante los resultados encontrados De la Cruz *et al.*, (2010), dan a entender que la reducción del área foliar puede causar pérdidas en la biomasa y rendimiento debido a la disminución de fotoasimilados. Dentro de este contexto, Wang *et al.*, (2017), realizaron un estudio en el cultivo de algodón (*Gossypium hirsutum* L), con azufaifo (*Ziziphus lotus*), demostraron que la configuración espacial impulsa la captura de luz, por lo que el área foliar de las plantas se vio afectada por la competencia interespecífica resultante de las configuraciones espaciales.

La mayor biomasa de amaranto se evidenció en los testigos, y en el arreglo espacial (50-25-25-50), esto permite interpretar que la ganancia de biomasa en dichos tratamientos se debe a que hay menor competencia interespecífica e intraespecífica, en consecuencia, favorece la formación de órganos vegetativos y reproductivos, de esta manera facilitan la asimilación e incorporación del nutriente a las estructuras de la planta.

Betancourt *et al.* (2012), mencionan que los cultivos asociados pueden promover el crecimiento de las plantas a través de un aumento en la cantidad de fósforo (P) absorbido, lo cual beneficia al cultivo asociado. Los arreglos espaciales (25) y (50), presentaron menor biomasa, viéndose reducida la superficie fotosintética.

El comportamiento de los cultivos en campo y los resultados obtenidos, permiten interpretar que la diferenciación en el nicho temporal (misma fecha de siembra, pero distinta fecha de cosecha), y arquitectura de las plantas utilizadas, favorecen la biomasa del amaranto, debido que el período de crecimiento de las dos especies de amaranto asociadas a fréjol permitió la adquisición de agua, nutrientes e interceptación de luz, en diferentes momentos.

Hallazgos corroborados por Barillot *et al.*, (2014), quienes evaluaron los efectos de las variaciones arquitectónicas dentro de la mezcla de trigo y arveja, concluyeron que la partición

de la luz entre especies asociadas está ligada al desarrollo temporal y espacial, es decir, el período de tiempo durante el cual uno de los cultivos aún no se ha desarrollado tiene efectos importantes sobre el reparto de la luz en la otra especie asociada. Por su parte, Huang *et al.* (2017), enuncian que en las especies sembradas y cosechadas al mismo tiempo, las plantas más altas compiten con las más bajas, ocasionando resultados poco favorables, en las especies con menor tamaño.

Los promedios de biomasa producida por el fréjol, va de 1 a 3 t ha⁻¹, sin embargo, en el presente trabajo se encuentran valores bajos con respecto a este promedio: Ahora bien, desde la germinación hasta el comienzo de floración el cultivo se encontraba en las mejores condiciones ambientales para su desarrollo. Sin embargo, los meses de febrero y marzo de 2021, se presentaron condiciones ambientales desfavorables como largos periodos de lluvia, granizo y temperaturas por debajo de las requeridas por el cultivo (8 días); las intensas lluvias produjeron graves daños en los órganos fuentes (hojas), como rotura e incluso caída de las mismas, afectando en gran medida la biomasa aérea.

A pesar de ello, el fréjol en asocio a (50) y (50-25-25-50), presentó mayor producción de biomasa. Por lo que se estima que las especies de amaranto por ser más altas protegieron al fréjol, por su parte el testigo fue directamente afectado por dichos fenómenos. Desde el punto de vista Zubillaga (2017), los excesos de humedad en el suelo causan graves pérdidas en la producción debido que favorece la presencia de enfermedades, daños mecánicos en las plantas, etc.

El número de granos es el componente que más explica el rendimiento en los cultivos de grano; en los resultados obtenidos, se evidencia que hay ganancia de este componente en la variedad Rubí cuando está asociado en un arreglo (50-25-25-50) y hay disminución cuando el arreglo espacial es menor (25). Los resultados coinciden con los reportados por Peiretti *et al.*, (1998), donde observaron que el número de granos en amaranto se ve disminuido con la reducción del distanciamiento entre surcos, tal como se observó en este estudio.

El fréjol registró el mayor número de granos/m² (367), en el tratamiento testigo, seguido de RF (25). El número de granos es menor en comparación a investigaciones en las que se asociado fréjol con otros cultivos (maíz, girasol, trigo, etc.), por ejemplo, Delgado *et al.* (2014), evaluaron el rendimiento de fréjol en asociación con maíz, donde obtuvieron medias de 1 681 granos/ m², con respecto a ello, la variable pudo verse afectada por las condiciones climáticas desfavorables (largos periodos de lluvia, granizo y temperaturas bajas), presentadas durante

floración, formación de vainas y llenado de granos, etapas decisivas en la determinación de los componentes del rendimiento, impidiendo así la translocación de asimilados desde los órganos fuente a los órganos destino.

Ramírez *et al.*, (2004), explican que los cambios drásticos en el clima, se traducen en pérdidas de rendimiento, además, afirman que el granizo causa graves afectaciones en hojas, flores y frutos. El granizo reduce en gran medida la producción, y las pérdidas de rendimiento van a depender de la intensidad de dicho fenómeno (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) 2010). Asimismo, los cambios bruscos de temperaturas (menores a 10 °C y superiores a 35 °C), perjudican la inducción de la floración, el cuajado, el desarrollo y llenado de vainas (Barrios *et al.*, 2009). Con respecto a ello, Silva *et al.* (2012), ratifican que el estrés causado por bajas temperaturas afecta el crecimiento, desarrollo y productividad de las plantas, las plantas llegan a morir o presentan graves daños, como clorosis, necrosis y retraso del crecimiento.

El peso de mil granos presentó diferencias entre las especies de amaranto, a diferencia, del fréjol donde sus pesos fueron similares (no existió diferencias significativas). Las diferencias en el peso de los granos de amaranto permiten interpretar que dicha característica se encuentra relacionada con el tamaño del grano de cada especie. Información acorde con Peralta *et al.* (2013), formulan que el peso de 1000 granos en Alegría es de 1 g y en Rubí 0.5 a 0.6 g, datos confirmados por Ruiz *et al.* (2018), que realizaron una investigación para conocer la variabilidad cualitativa y cuantitativa de accesiones de amaranto demostraron que el peso de 500 semillas varía entre 0.23 g y 0.50 g, destacando que la variación en el peso de las semillas se debe a la gran diversidad entre los genotipos de amaranto. Por lo expresado anteriormente, el peso de los granos es un rasgo definido genéticamente por las plantas.

Las estadísticas indican que en Ecuador, el rendimiento aproximado de amaranto va de 1.5 a 3 t ha⁻¹, (Jiménez *et al.*, 2018).

Los rendimientos alcanzados en el presente trabajo son elevados en comparación al promedio nacional, registrando 7.90 t ha⁻¹ en Alegría y 4.76 t ha⁻¹, en la variedad Rubí. Si se considera el arreglo espacial, se obtiene rendimientos de 7.78 t ha⁻¹, para el arreglo (0); 6.72 t ha⁻¹, para (50-25-25-50), y finalmente se encuentran (50) y (25) con 5.55 y 4.85 t ha⁻¹. Estos resultados demuestran que con un adecuado manejo agronómico el cultivo de amaranto aumenta significativamente el rendimiento.

Ahora bien, el rendimiento de amaranto en el arreglo (25), es menor en comparación a los demás arreglos, hallazgo que difiere con Campiglia *et al.*, (2014), que evaluaron la disposición espacial de un cultivo asociado de trigo (*Triticum durum* Desf.), con subclover (*Trifolium subterraneum* L.), ante ello, manifiestan que el rendimiento de trigo no se reduce cuando las dos especies son sembradas en un arreglo menor (surcos separados por 10 cm). Además, Núñez *et al.* (2019), evaluó la influencia del distanciamiento entre surcos utilizando arreglos espaciales de 20, 30, 40 y 50 cm, sobre el rendimiento de grano en quinua, demostró que los distanciamientos no influyeron sobre el rendimiento.

Los rendimientos favorables expresados por el cultivo de amaranto, estarían relacionados con la teoría de Li *et al.* (2020), pues alegan que la ganancia de rendimiento en cultivos asociados aumenta con el aporte de nitrógeno, de esta manera se demuestra la capacidad de las leguminosas para compensar el bajo aporte de N, adicionalmente, hacen hincapié en la necesidad de aporte de N para una alta productividad en los sistemas de cultivos asociados. Información corroborada por Neugschwandtner *et al.*, (2015), quienes mencionan que la eficiencia de absorción, uso y aprovechamiento de nitrógeno por cultivos intercalados de avena y guisante, dependen del aporte de N, de las leguminosas.

El fréjol registró rendimientos que van desde 0.4 t ha⁻¹, hasta 1.7 t ha⁻¹ y la producción promedio mundial es de (0.8 t ha⁻¹) y la nacional de (0.3 a 2.2 t ha⁻¹). Aunque las condiciones ambientales no fueron favorables, el rendimiento de fréjol obtenido se encuentra dentro del rango de producción nacional y mundial, resultados que permiten inferir que las especies asociadas se complementan positivamente, es decir aumenta el rendimiento en el amaranto y se mantiene en el fréjol, sin embargo, se estima que, si las condiciones ambientales se hubiesen presentado dentro de los promedios anuales, el rendimiento de fréjol hubiese superado a la producción promedio nacional.

Hallazgos que difieren con Rodríguez *et al.*, (2010), quienes evaluaron el rendimiento de fréjol en asocio con girasol, en condiciones ambientales adecuadas, donde el rendimiento del fréjol se redujo hasta en 48 %. Ante ello, enuncian que la pérdida o ganancia de rendimiento en los cultivos asociados depende del equilibrio entre las competencias inter e intraespecíficas. Este equilibrio se ve influenciado por la elección de especies, así como el manejo de los cultivos.

El índice de cosecha presentó diferencias significativas para los genotipos de amaranto y los tratamientos en el caso del fréjol. Considerando que el IC, es la capacidad de traslocar al grano todos los nutrientes acumulados en los órganos vegetativos de la planta; la variedad Alegría,

obtuvo 31.90 % y Rubí 19. 24 %, los valores difieren con Troiani *et al.*, (2010), que evaluaron la respuesta del amaranto a dos distancias de siembra (25 cm y 50 cm), los IC, encontrados oscilaban desde 9 % hasta 20 %, estos resultados son bajos en comparación con los encontrados en este estudio. Por ello se estima que la ganancia o el incremento de IC, se debe al elevado número de granos por m², y al tamaño del dosel vegetal.

8. CONCLUSIONES.

El rendimiento alcanzado por las dos especies de amaranto 7.90 t ha^{-1} en Alegría y 4.76 t ha^{-1} , en Rubí, supera el promedio de rendimiento nacional, estos resultados ponen en manifiesto que las prácticas de manejo empleadas durante el crecimiento y desarrollo del cultivo influyen significativamente en su producción.

Los arreglos espaciales utilizados y la asociación de cultivos tuvieron efectos positivos en el área foliar, contenido de biomasa seca, número de granos/m² y el rendimiento. Por lo tanto, en las condiciones que se llevó a cabo este estudio se considera como arreglos espaciales óptimos a (0) y (50 -25-25-50).

El rendimiento logrado por el fréjol se encuentra dentro de los promedios de producción nacional, por tal razón, los resultados obtenidos permiten afirmar que la asociación de amaranto con fréjol, son una alternativa novedosa de producción para las distintas zonas agrícolas de la provincia de Loja.

9. RECOMENDACIONES

Realizar análisis de calidad nutricional en las dos especies de amaranto, para comprobar si la asociación de este cultivo influye sobre estas características.

Si bien el amaranto es un cultivo resistente a condiciones climáticas adversas, se recomienda considerar la fecha de siembra para el cultivo con el cual se va a asociar.

Realizar estudios de amaranto con otros cultivos para la obtención de nuevos resultados así determinar con qué asociación se obtiene mejores resultados.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Albán, M. (2012). *Manual de cultivo de frijol caupi*. Piura - Perú.
https://www.academia.edu/36670560/Manual_de_cultivo_de_frijol_caupi
- Alberto, C., Alfaro, T., Ramírez Fonseca, A., Farías, E. V., & Corral, A. R. (2008). Arreglo espacial de híbridos de maíz, índice de área foliar y rendimiento. In *Agricultura Técnica en México* (Vol. 34).
- Barillot, R., Escobar-Gutiérrez, A. J., Fournier, C., Huynh, P., & Combes, D. (2014). Assessing the effects of architectural variations on light partitioning within virtual wheat-pea mixtures. *Annals of Botany*, *114*(4), 725–737. <https://doi.org/10.1093/aob/mcu099>
- Barrios-Gómez, E. J., & López-Castañeda, C. (2009). Temperatura base y tasa de extensión foliar en fréjol. *Agrociencia*, *43*(1), 29–35.
- Betencourt, E., Duputel, M., Colomb, B., Desclaux, D., & Hinsinger, P. (2012). Intercropping promotes the ability of durum wheat and chickpea to increase rhizosphere phosphorus availability in a low P soil. *Soil Biology and Biochemistry*, *46*, 181–190. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.11.015>
- Brooker, R. W., Bennett, A. E., Cong, W. F., Daniell, T. J., George, T. S., Hallett, P. D., Hawes, C., Iannetta, P. P. M., Jones, H. G., Karley, A. J., Li, L., Mckenzie, B. M., Pakeman, R. J., Paterson, E., Schöb, C., Shen, J., Squire, G., Watson, C. A., Zhang, C., ... White, P. J. (2015). Improving intercropping: A synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology. *New Phytologist*, *206*(1), 107–117. <https://doi.org/10.1111/nph.13132>
- Campiglia, E., Mancinelli, R., Radicetti, E., & Baresel, J. P. (2014). Evaluating spatial arrangement for durum wheat (*Triticum durum* Desf.) and subclover (*Trifolium subterraneum* L.) intercropping systems. *Field Crops Research*, *169*, 49–57. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.09.003>
- Castillo, J., Caamal, J., & Bautista, F. (2010). Evaluación de tres leguminosas como coberturas asociadas con maíz en el trópico subhúmedo. *Agronomía Mesoamericana*, *vol.2*.
- Cisneros, C., Montes Rojas, C., Burbano Catuche, G. A., Muñoz Certuche, E. F., & Calderón Yonda, Y. (2018). Descripción del ciclo fenológico de cuatro ecotipos de (*chenopodium quinoa* willd.), en Puracé – Cauca, Colombia. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y*

Agroindustrial, 16(2), 26. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(16\)26-37](https://doi.org/10.18684/bsaa(16)26-37)

- Clozza, N. (2010). Crecimiento y desarrollo en tomate Platense (*Lycopersicon esculentum* Mill.): análisis del efecto de la nutrición mineral. *Universidad Politecnica de Valencia*, , *Departamento de Producción Vegetal*, 169.
- Cruz González, M., Gálvez, J., Tobias, R., & Magdaleno, H. (2013). Viabilidad económica y ambiental de policultivos de hule, café y cacao. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4, 49–61. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263125750001>
- De la Cruz-Guzmán, G. H., Arriaga-Frías, A., Mandujano-Piña, M., & González Moreno, S. (2010). Efecto de la sequía sobre algunas variables hídricas y morfométricas en cinco genotipos de *Amaranthus*. *Idesia (Arica)*, 28(3), 87–95. <https://doi.org/10.4067/s0718-34292010000300011>
- Delgado, R., Estrada, S., Díaz, R., Santos, A., Rosales, E., & Montes, S. (2014). Defoliation effect on yield in corn-bean intercropping. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5, 1015–1027. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v5n6/v5n6a9.pdf>
- Duan, J., Wu, Y., Zhou, Y., Ren, X., Shao, Y., Feng, W., Zhu, Y., He, L., & Guo, T. (2018). Approach to higher wheat yield in the huang-huai plain: Improving post-anthesis productivity to increase harvest index. *Frontiers in Plant Science*, 871(October), 25–35. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01457>
- Espitia, E., Mapes, C., Escobedo, D., Rivas, P., & Martínez, G. (2010). *Conservación y usos de los recursos genéticos de amaranto en Mexico*. INIFAP, Centro de investigación Regional Centro, Celaya, Guanajuato, México. (Primera Ed).
- Galván, H., & Gustavo, D. (2019). Evaluación del crecimiento, desarrollo y rendimiento de tres variedades de maíz en asocio con frijol y soya, bajo dos arreglos de siembra. *Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras*.
- Garrido Rivero, R., & Belén Jardón Bouzas María Pilar Pérez López, A. (2017). *M anejo sanitario del agrosistema* (s. a. editorial síntesis (ed.)). www.sintesis.com
- Hernández, L., Hernández, N., & Pino, M. de los A. (2010). Estudio fenológico preliminar de seis cultivares de habichuela de la especie *Phaseolus vulgaris* L. *Cultivos Tropicales*, 31(1), 54–61.
- Huang, C., Liu, Q., Gou, F., Li, X., Zhang, C., van der Werf, W., & Zhang, F. (2017). Plant

- growth patterns in a tripartite strip relay intercrop are shaped by asymmetric aboveground competition. *Field Crops Research*, 201, 41–51. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.10.021>
- INTA. (2010). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria de Argentina. Incidencia del daño foliar por granizo sobre el rendimiento del cultivo de Maíz (*Zea mays*). *Facultad de Ciencias Agrarias*.
- Jagadish, K. S. V., Kadam, N. N., Xiao, G., Jean Melgar, R., Bahuguna, R. N., Quinones, C., Tamilselvan, A., & Prasad, P. V. V. (2014). Agronomic and Physiological Responses to High Temperature, Drought, and Elevated CO₂ Interactions in Cereals. *Advances in Agronomy*, 127, 111–156. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800131-8.00003-0>
- Jiménez-Esparza, L. O., González-Parra, M. M., Bastidas-Tibanquiza, M. L., & Decker-Campuzano, F. E. (2018). Evaluación del rendimiento de tres sistemas de siembra y dos variedades de amaranto (*Amaranthus quitensis*) y (*Amaranthus hypochondriacus*). *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 6(2), 65–75. <https://doi.org/10.36610/j.jsab.2018.060200065>
- Kermah, M., Franke, A. C., Adjei-Nsiah, S., Ahiabor, B. D. K., Abaidoo, R. C., & Giller, K. E. (2017). Maize-grain legume intercropping for enhanced resource use efficiency and crop productivity in the Guinea savanna of northern Ghana. *Field Crops Research*, 213(August), 38–50. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.07.008>
- Khanam, U. K. S., & Oba, S. (2014). Phenotypic plasticity of vegetable amaranth, *Amaranthus tricolor* L. under a natural climate. *Plant Production Science*, 17(2), 166–172. <https://doi.org/10.1626/pp.17.166>
- Kremen, C., & Miles, A. (2012). Ecosystem services in biologically diversified versus conventional farming systems: Benefits, externalities, and trade-offs. In *Ecology and Society* (Vol. 17, Issue 4). The Resilience Alliance. <https://doi.org/10.5751/ES-05035-170440>
- Li, C., Hoffland, E., Kuyper, T. W., Yu, Y., Li, H., Zhang, C., Zhang, F., & van der Werf, W. (2020). Yield gain, complementarity and competitive dominance in intercropping in China: A meta-analysis of drivers of yield gain using additive partitioning. *European Journal of Agronomy*, 113(April 2019), 125987. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2019.125987>
- Martínez-Núñez, M., Ruiz-Rivas, M., Vera-Hernández, P. F., Bernal-Muñoz, R., Luna-Suárez,

- S., & Rosas-Cárdenas, F. F. (2019a). The phenological growth stages of different amaranth species grown in restricted spaces based in BBCH code. *South African Journal of Botany*, *124*, 436–443. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.05.035>
- Matos, A. P. (2020). *Evaluación de cinco cultivares de frijol común (Phaseolus vulgaris L.): Fundamentos teóricos*. Editorial Universitaria (Cuba).
- Martínez-Núñez, M., Ruiz-Rivas, M., Vera-Hernández, P. F., Bernal-Muñoz, R., Luna-Suárez, S., & Rosas-Cárdenas, F. F. (2019b). The phenological growth stages of different amaranth species grown in restricted spaces based in BBCH code. *South African Journal of Botany*, *124*, 436–443. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.05.035>
- Martínez, L. (2016). Seguridad Alimentaria, Autosuficiencia y disponibilidad del Amaranto En México. *Problemas Del Desarrollo*, *47*(186), 107–132. <https://doi.org/10.1016/j.rpd.2016.08.004>
- Meier, U., Bleiholder, H., Huhr, L., Feller, C., Helmut, de H., Heb, M., Lancashire, P., Schnock, U., Stauß, R., Boom, T., Weber, E., & Zwerger, P. (2010). El sistema BBCH para codificar las etapas de crecimiento fenológico de plantas - historia y publicaciones. *Field Crops Research*, *115*(3), 294–299. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2010.05.001> <https://www.statbel.fgov.be> http://www.gembloux.ulg.ac.be/phytotechnie-temperee/appo/Menu/conduite_des_cultures/Feveroles/DEF_Livret_Feverole_A5-web.pdf <https://www.zuechtungskunde.de/artikel.dll/meier-et->
- Mendoza, C. E., Martínez, C. G., & Estrada, C. G. (2012). Determinantes del peso de grano en cultivares nativos e híbridos de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *3*. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342012000800001
- Morla, F. D., Giayetto, O., Cerioni, G. A., & Fernandez, E. M. (2017). (PDF) *Arreglo Espacial y Densidad de Plantas*. https://www.researchgate.net/publication/316991633_Arreglo_Espacial_y_Densidad_de_Plantas
- Neuschwandtner, R. W., & Kaul, H. P. (2015). Nitrogen uptake, use and utilization efficiency by oat-pea intercrops. *Field Crops Research*, *179*(3), 113–119. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.04.018>

- Núñez Torreblanca, N., Robles Tello, M., & Alvarez Quispe, M. (2019). Influencia del distanciamiento y número de plantas por golpe en el rendimiento de grano de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). *Ciencia y Desarrollo*, 17(22), 58–65. <https://doi.org/10.33326/26176033.2018.22.746>
- Peiretti, E. G., & Gesumaria, J. J. (1998). *Influencia de la distancia entre líneas sobre el crecimiento y rendimiento de amaranto granífero (Amaranthus spp)* (Vol. 13). Universidad Nacional de Río Negro.
- Peña, A., Kachman, S., Eastin, J., & Andrews, D. (2004). (PDF) Herencia del rendimiento, número y tamaño del grano en sorgo. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 27. https://www.researchgate.net/publication/26477050_Herencia_del_rendimiento_numero_y_tamano_del_grano_en_sorgo
- Peralta, E. (2012). *El amaranto en Ecuador “Estado del Arte.”*
- Peralta, E., Mazón, N., Rodríguez, D., & Murillo, Á. (2014). *Catálogo de variedades mejoradas de fréjol arbustivo para los valles y estribaciones de la sierra ecuatoriana* (Issue 146).
- Peralta I., E., Murillo I., A., Mazón, N., Villacrés, E., & Rivera M., M. (2013). *Catálogo de variedades mejoradas de granos andinos: Chocho, quinua y amaranto, para la sierra de Ecuador* (2013 Quito, EC: INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos (ed.)).
- Permingeat, H. (2018). *Cereales y leguminosas combinados en un lote: las ventajas de los “cultivos intercalados”* | *Agrovoz*. <http://agrovoz.lavoz.com.ar/agricultura/cereales-y-leguminosas-combinados-en-un-lote-las-ventajas-de-los-cultivos-intercalados>
- Ramírez, R. G., Trujillo, T. R., Ruí, J. S., & Ordóñez, Y. F. (2004). Aptitud agroclimática en la Mesa Central de Guanajuato, México. *Investigaciones Geograficas*, 54(Mx), 24–35.
- Reinaudi, N. B., Repollo, R., Janovská, D., Délamo Frier, J., & Martín de Troiani, R. (2011). Evaluación de genotipos de amaranto (*Amaranthus spp.*) para la adaptabilidad productiva en el área de la Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de la Pampa, Argentina. *Revista Científica UDO Agrícola*, 11(1), 50–57.
- Rodríguez González, M. T., & Gaytán Acuña, A. (2010). Producción de fréjol ejotero en función del tipo de espaldera. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 16(3), 215–221.

- Rodríguez, M. E. (2011). *XXXIII Jornadas Argentinas de Botánica*.
<https://aprenderly.com/doc/3206036/xxxiii-jornadas-argentinas-de-botánica>
- Romero, A. E. D. (2011). *Ecuador pierde oportunidades de exportación de amaranto – Comunidad de Comercio Exterior*.
<http://comunidad.todocomercioexterior.com.ec/m/blogpost?id=2927438%3ABlogPost%3A24403>
- Ruiz Hernández, V. C., De la O Olán, M., Espitia Rangel, E., Sangerman-Jarquín, D. M., Hernández Casillas, J. M., & Schwentesius de Rindermann, R. (2018). Variabilidad cualitativa y cuantitativa de accesiones de amaranto determinada mediante caracterización morfológica. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(5), 789–801.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v4i5.1176>
- Salazar Navarro, J. M. (2016). *Aprovechamiento de recursos y manejo de suelo ecológico. AGAU0108 - José Manuel Salazar Navarro - Google Libros* (IC Editorial (ed.); 1 Edición).
https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=3m9gDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT5&dq=+estructura+y+distanciamiento+necesarios+que+la+agricultura+ecológica&ots=sym2sinWlz&sig=FJljKuc6A8R-LaLHym46fLE8jzs&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Satorre, E. H., Benech, A., Slafer, G. A., Miralles, D. J., Otegui, M. E., & Savin, R. (2010). Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. In *ResearchGate*.
<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17884.18568>
- Silva, D., & Montes-berrueta, D. (2012). Muerte celular inducida por condiciones ambientales adversas en Calibrachoa parviflora (Petunia). *Avances En Biomedicina*, 1(1), 9–17.
- Soto, F., & Hernández, N. (2012). Influencia De Tres Fechas De Siembra En El Crecimiento Y Rendimiento De Especies De Cereales Cultivadas En Condiciones Tropicales. Parte Ii. Cultivo Del Sorgo (Sorghum Bicolor L. Moench Var. Isiap Dorado). *Cultivos Tropicales*, 33(2), 50–54.
- Troiani, R., Repollo, R., & Nollemeyer, E. (2010). Respuesta del amaranto a dos distancias de siembra y a densidades de población. *Agronomía Trop*, 60(3), 287–293.
- Wang, Q., Zhang, D., Zhang, L., Han, S., van der Werf, W., Evers, J. B., Su, Z., & Anten, N. P. R. (2017). Spatial configuration drives complementary capture of light of the

understory cotton in young jujube plantations. *Field Crops Research*, 213(July), 21–28.
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.07.016>

Wolosik, K., & Markowska, A. (2019). *Amaranthus cruentus* taxonomy, botanical description, and review of its seed chemical composition. *Natural Product Communications*, 14(5).
<https://doi.org/10.1177/1934578X19844141>

Zubillaga, F. (2017). *Comportamiento del cultivo de amaranto en el Valle Inferior del Río Negro, Argentina. Optimización de las condiciones del cultivo.*

11. ANEXOS


11.1. **Anexo 1.** Descripción de las etapas de crecimiento fenológico del amaranto basados en el código BBCH.

Crecimiento principal etapa BBCH	BBCH Código	Descripción	
0: Germinación	00	Semilla seca	
	01	Comienzo de la imbibición de semillas	
	03	Imbibición de semillas completada	
	05	Radícula surgida de la semilla	
	06	Radícula alargada, pelos radicales y / o raíces laterales visibles	
	08	Aparición de hipocótilo	
	09	Aparición de cotiledones a través del suelo	
	1: Desarrollo de la hoja	10	Cotiledones emergidos por completo / apertura de cotiledones
		11	Primer par de hojas visibles
12		Segundo par de hojas visibles	
13		Cinco o seis hojas visibles	
1 ...		Etapas continuas hasta ...	
3: Alargamiento del tallo		El crecimiento longitudinal del tallo principal ocurre en paralelo con el desarrollo de la hoja. Es por eso que él se omite la codificación del estadio principal 3	
5: Emergencia de la inflorescencia	50	Comienzo de la emergencia de la panícula (la panícula aún está rodeada de hojas)	
	51	Hojas que rodean la inflorescencia separadas, la inflorescencia es visible desde arriba	
	52	Panícula visible desde los lados (hábito de crecimiento indeterminado de la panícula)	
	59	Inflorescencia visible, pero todas las flores aún están cerradas	

6: Antesis inflorescencia axilar	e	60	Comienzo de la antesis: flores de la inflorescencia principal con las primeras anteras extruidas (floración acropeta)
		63	Flores estaminadas y pistiladas visibles
		65	Plena floración: anteras visibles en la mayoría de las panículas
		69	Fin de la floración: la panícula ha completado la floración, pero pueden quedar algunas anteras envejecidas.
7: Desarrollo de frutos y semillas)		70	Engrosamiento del ovario (desarrollo del óvulo fertilizado)
		71	Acuoso maduro: los primeros granos visibles han alcanzado la mitad de su tamaño final
		73	Leche temprana: Granos inmaduros (los granos muestran una consistencia lechosa)
		75	Leche mediana: Granos con coloración blanca de tono opaco y consistencia pastosa
		77	Leche tardía: la textura del grano es ligeramente rugosa y su coloración se vuelve marfil opaca
8: Maduración Maduración de semillas		80	Grano lechoso, contenido de grano suave pero seco, fácil de aplastar con las uñas
		85	Masa dura: contenido de grano sólido, se tritura fácilmente con las uñas
		89	Grano maduro: difícil de triturar con las uñas, contenido seco, el grano tiene un color marfil opaco en su exterior. Listo para cosechar.
9: Senescencia		95	Panícula cambia de color
		97	Planta muerta y colapsando
		99	Producto cosechado

(Martínez-Núñez *et al.*, 2019b)

11.2. Anexo 2. 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
		Rev. 5
	INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO	Hoja 1 de 2

Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N° SAE-LEN-16-006

Informe N°: LN-SFA-E20-0786
 Fecha emisión Informe: 14/08/2020

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante¹: Edwin Villavicencio

Dirección¹: Zalapa Alto

Provincia¹: Loja

Cantón¹: Loja

Teléfono¹: 0989792189

Correo Electrónico¹: edwincito626@hotmail.es

N° Orden de Trabajo: 11-2020-205

N° Factura/Documento: 012-001-0654

DATOS DE LA MUESTRA:

Tipo de muestra ¹ : Suelo	Conservación de la muestra: Lugar fresco y seco	
Cultivo ¹ : Quinua		
Provincia ¹ : Loja	Coordenadas ¹ :	X: ----
Cantón ¹ : Loja		Y: ----
Parroquia ¹ : Punzara		Altitud: ----
Muestreado por ¹ : Edwin Villavicencio		
Fecha de muestreo ¹ : 07-08-2020	Fecha de inicio de análisis: 11-08-2020	
Fecha de recepción de la muestra: 11-08-2020	Fecha de finalización de análisis: 14-08-2020	

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA ¹	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-20-0877	Quintas Argelia	pH a 25 °C	Electrométrico PEE/SFA/06 EPA 9045D	---	5,62
		Materia Orgánica*	Volumétrico PEE/SFA/09	%	1,34
		Nitrógeno*	Volumétrico PEE/SFA/09	%	0,07
		Fósforo*	Colorimétrico PEE/SFA/11	mg/kg	25,8
		Potasio*	Absorción Atómica PEE/SFA/12	cmol/kg	0,18
		Calcio*	Absorción Atómica PEE/SFA/12	cmol/kg	2,71
		Magnesio*	Absorción Atómica PEE/SFA/12	cmol/kg	0,72
		Hierro*	Absorción Atómica PEE/SFA/13	mg/kg	281,1
		Manganeso*	Absorción Atómica PEE/SFA/13	mg/kg	13,39
		Cobre*	Absorción Atómica PEE/SFA/13	mg/kg	3,06
		Zinc*	Absorción Atómica PEE/SFA/13	mg/kg	< 1,60

 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:


- 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



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


AGROCALIDAD
 AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL FITO Y ZOOSANITARIO
LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS
 TUMBACO - ECUADOR

11.3. Anexo 3. Registro fotográfico.



Figura 15. Preparación del terreno e implementación del diseño experimental



Figura 16. Siembra de las dos especies de amaranto y el fréjol



Figura 17. Monitoreo de enfermedades



Figura 18. Visita e indicaciones de la directora de tesis



Figura 19. Aplicación de fertilizantes



Figura 20. Deshierbe y aporcado de los cultivos



Figura 21. Registro fenológico



Figura 22. Registro de la altura de las plantas



Figura 23. Selección de muestras para la biomasa de los cultivos



Figura 24. Secado de muestras en la estufa



Figura 25. Pesaje de mil granos de amaranto



Figura 26. Pesaje de granos de fréjol



Figura 27. Amaranto variedad Alegría.



Figura 28. Amaranto variedad Rubí.



Figura 29. Grano de Amaranto variedad Alegría.



Figura 30. Grano de amaranto variedad Rubí.