



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD AGROPECUARIA DE RECURSOS
NATURALES RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

PERIODO CRÍTICO DE INTERFERENCIA DE ARVENSES
EN EL CULTIVO DE AMARANTO (*Amaranthus caudatus* L.)
EN EL SECTOR LA ARGELIA, LOJA.

TESIS PREVIA A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERA AGRÓNOMA

AUTORA:

Nancy Rocio Romero Ortega

DIRECTOR:

Ing. Santiago Cristóbal Vásquez Matute PhD.

LOJA – ECUADOR

2021

CERTIFICACIÓN DE DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICADO

Ing. Santiago Cristóbal Vásquez Matute PhD.

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICA:

Que luego de haber dirigido y revisado el trabajo de tesis titulado: "**Periodo crítico de interferencia de arvenses en el cultivo de amaranto (*Amaranthus caudatus* L.) en el sector la Argelia, Loja**", previo a la obtención del título de Ingeniera Agrónoma, de la egresada **Nancy Rocio Romero Ortega**, se autoriza su presentación debido a que el mismo se sujeta a las normas y reglamentos generales de graduación exigido por la Carrera de Ingeniería Agronómica de la Universidad Nacional de Loja.

En mi calidad de Director de Tesis certifico que la investigación realizada ha sido trabajo propio de la egresada.

Loja, 04 de agosto de 2021



Firmado electrónicamente por:
SANTIAGO
CRISTOBAL VASQUEZ
MATUTE

Ing. Santiago Cristóbal Vásquez Matute PhD.

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICADO DEL TRIBUNAL DE GRADO

Una vez cumplida la reunión del tribunal de calificación del trabajo final de tesis titulado: **“Periodo crítico de interferencia de arvenses en el cultivo de amaranto (*Amaranthus caudatus* L.) en el sector la Argelia, Loja”** de la autoría de la señorita Nancy Rocio Romero Ortega, egresada de la carrera de Ingeniería Agronómica, misma que ha incorporado todas las sugerencias efectuadas por el tribunal en el documento final, por tal motivo se procede a la aprobación y calificación del trabajo de Tesis de Grado.

En tal virtud, nos permitimos certificar que, en el trabajo final consolidado de investigación está acorde con los requerimientos de la carrera de Ingeniería Agronómica de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, por tal motivo, se autoriza continuar con los trámites pertinentes.

Loja 26 de noviembre del 2021



Firmado electrónicamente por:
**MAX ENRIQUE
ENCALADA
CORDOVA**

PhD. Max Enrique Encalada Córdova
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



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

PhD. Marlene Lorena Molina Muller
VOCAL



Firmado electrónicamente por:
**MIRIAN IRENE
CAPA MOROCHO**

PhD. Mirian Irene Capa Morocho
VOCAL

AUTORÍA

Yo, Nancy Rocio Romero Ortega 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:
**NANCY ROCIO
ROMERO ORTEGA**

Autora: Nancy Rocio Romero Ortega

Cédula: 1105341356

Fecha: 29 de noviembre del 2021

CARTA DE AUTORIZACIÓN

Yo, Nancy Rocio Romero Ortega, declaro ser autora, de la tesis titulada “Periodo crítico de interferencia de arvenses en el cultivo de amaranto (*Amaranthus caudatus* L.) en el sector la Argelia, Loja”, como requisito para optar al 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:

Los usuarios puedan 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 veintinueve días del mes de noviembre del dos mil veintiuno, firma el autor

Firma:



Autor: Nancy Rocio Romero Ortega

Número de cédula: 1105341356

Dirección: Calle. Galileo Galilei y Milton Patiño

Correo electrónico: romero.nancy199630@gmail.com

Celular: 0982531106

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director de Tesis: PhD. Santiago Cristóbal Vásquez Matute

Tribunal de Grado:

Presidente: PhD. Max Enrique Encalada Córdova

Vocal: PhD. Marlene Lorena Molina Muller

Vocal: PhD. Mirian Irene Capa Morocho

AGRADECIMIENTO

A Dios por todas las bendiciones y ser el apoyo y fortaleza durante los momentos difíciles para culminar con éxito y satisfacción la etapa de mi vida universitaria.

A mis padres, José Romero y Celina Ortega; hermanas y hermano por todo su apoyo, esfuerzo, amor, confianza y motivación que me brindaron a lo largo de la carrera, así mismo, a mis abuelos y demás familiares por impulsarme a cumplir esta gran meta.

A la Universidad Nacional de Loja por haberme brindado todos los recursos y escenarios en el transcurso de la carrera y en el trabajo de investigación, a todos los docentes de la carrera de Ingeniería agronómica por haber contribuido en mi formación, de manera especial a mi director de tesis Ing. Santiago Cristóbal Vásquez Matute PhD, por todo su apoyo y asesoramiento durante la investigación, así mismo extendiendo mis agradecimientos a la Ing. Diana Iñiguez, técnica del laboratorio de suelos de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables por su incondicional ayuda.

De la misma manera agradezco a mis amigos, compañeros/as por su amistad y apoyo mutuo durante la vida universitaria, de manera especial a Grace, Daniela, José y Edwin por su ayuda durante el transcurso de mi proyecto de investigación.

DEDICATORIA

A Dios por darme la fuerza para culminar el trabajo en tiempos difíciles.

*A mis padres José Romero y Celina Ortega por su amor trabajo y sacrificio en todos
estos años, e impulsarme a ser una persona de bien.*

*A mis hermanas y hermano por su apoyo incondicional y por compartir conmigo buenos
y malos momentos.*

*Finalmente quiero dedicar este trabajo a mis sobrinas por ser una motivación para
lograr cumplir tan anhelada meta.*

ÍNDICE GENERAL

PORTADA	i
CERTIFICACIÓN DE DIRECTOR DE TESIS	ii
CERTIFICADO DEL TRIBUNAL DE GRADO	iii
AUTORÍA	iv
CARTA DE AUTORIZACIÓN	v
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA.....	vii
ÍNDICE GENERAL.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
1. TÍTULO	1
2. RESUMEN.....	2
2.1 ABSTRACT	3
3. INTRODUCCIÓN	4
Objetivo general.....	6
Objetivos específicos	6
4. REVISIÓN DE LITERATURA	7
4.1 Origen y distribución geográfica del cultivo	7
4.2 Clasificación taxonómica.....	8
4.3 Morfología de la planta.....	8
4.3.1 Tallo	8
4.3.2 Raíz.....	9
4.3.3 Hojas.....	9
4.3.4 Flores	9
4.3.5 Fruto	9
4.3.6 Semilla.....	10
4.4 Requerimientos de clima y suelo	10
4.4.1 Clima	10
4.4.2 Suelo.....	10
4.5 Fenología del cultivo	11
4.6 Impacto de las arvenses sobre los cultivos	13

4.7	Importancia económica de las arvenses en el cultivo	13
4.8	Arvenses en cultivo de amaranto	14
4.9	Competencia de cultivo/arvenses.....	15
4.10	Periodo crítico de interferencia de arvenses	15
4.11	Rendimiento.....	16
4.12	Componentes del rendimiento	17
4.12.1	Número de granos	17
4.12.2	Peso del grano	17
4.13	Biomasa del cultivo	17
5.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
5.1	Ubicación	19
5.2	Diseño experimental	20
5.2.1	Modelo matemático del diseño experimental	20
5.3	Metodología	21
5.3.1	Manejo del experimento.....	21
5.3.2	Metodología para el primer objetivo específico.....	22
5.3.3	Metodología para el segundo objetivo específico	24
5.4	Análisis estadístico	25
6.	RESULTADOS	27
6.1	Fenología del amaranto.....	27
6.2	Dinámica poblacional de arvenses en el cultivo de amaranto	28
6.2.1	Arvenses asociadas al cultivo.....	28
6.2.2	Densidad, biomasa y cobertura de arvenses.....	29
6.3	Altura de planta, tasa y duración del crecimiento del tallo	31
6.3.1	Dinámica del crecimiento del tallo del amaranto.....	33
6.4	Rendimiento del grano y sus componentes en el cultivo de amaranto	33
6.4.1	Biomasa seca de las plantas	33
6.4.2	Número de granos	34
6.4.3	Peso de 1000 granos.....	35
6.4.4	Rendimiento	36
6.4.5	Índice de cosecha.	36
6.4.6	Relación entre el rendimiento y la biomasa, número de granos y peso de granos.	37

6.6 Análisis de correlación entre las variables.....	38
7. DISCUSIÓN.....	40
8. CONCLUSIONES.....	48
9. RECOMENDACIONES	49
10. BIBLIOGRAFÍA	50
11. ANEXOS	57
11.1 Anexo 1. Cálculos de fertilización.....	57
11.1.1 Nitrógeno (N).....	57
11.1.2 Fósforo (P).....	57
11.1.3 Potasio (K).....	57
11.1.4 Cálculo de fertilizantes.....	58
11.2 Anexo 2. Análisis de suelo.....	60
11.3 Anexo 3. Escala de fenología BBCH del amaranto.....	62
11.4 Anexo 4. Evidencias fotográficas	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales especies arvenses del cultivo de amaranto.....	14
Tabla 2. Descripción de los tratamientos.....	20
Tabla 3. Población de arvenses en el cultivo de amaranto	28
Tabla 4. Promedios de las variables de densidad de arvenses, biomasa de arvenses y cobertura de arvenses de los tratamientos con periodos sucesivos de interferencia de arvenses.	31
Tabla 5. Medias de la tasa de crecimiento activo del tallo, duración del crecimiento del tallos y altura máxima.....	32
Tabla 6. Resumen de las dosis de fertilizante.....	59
Tabla 7. Etapas de crecimiento fenológico del amaranto.....	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución del amaranto	7
Figura 2. Ubicación del experimento	19
Figura 3. Esquema del diseño experimental	21
Figura 4. Aproximación funcional para la determinación del periodo de interferencia de arvenses	23
Figura 5. Duración de las etapas fenológicas del amaranto	27
Figura 6. Densidad de arvenses	29
Figura 7. Biomasa de las arvenses.....	30
Figura 8. Cobertura de las arvenses.....	31
Figura 9. Dinámica de crecimiento del tallo de las plantas de amaranto	33
Figura 10. Biomasa seca de las plantas de amaranto.....	34
Figura 11. Número de granos por planta de amaranto	35
Figura 12. Peso de 1000 granos de amaranto	35
Figura 13. Rendimiento del grano expresado.....	36
Figura 14. Índice de cosecha	37
Figura 15. Relación lineal del rendimiento en función de: a) Biomasa; b) Número de granos y c) Peso de 1000 granos	37
Figura 16. Efecto de los periodos de control de arvenses en el rendimiento de amaranto...	38
Figura 17. Correlaciones entre variables	39
Figura 18. Preparación del terreno	64
Figura 19. Levantamiento de camas	64
Figura 20. Encalamiento de parcelas	64
Figura 21. Siembra del amaranto.....	64
Figura 22. Deshierbe del cultivo	64
Figura 23. Fertilización del cultivo	64
Figura 24. Toma de altura.....	65
Figura 25. Evaluación de arvenses	65
Figura 26. Registro de datos.....	65
Figura 27. Seguimiento del ensayo	65
Figura 28. Corte y enfundado de muestras	65
Figura 29. Secado de muestras	65
Figura 30. Pesaje de muestras.....	66
Figura 31. Peso de granos.....	66
Figura 32. Peso de 1000 granos.....	66
Figura 33. Semillas de amaranto alegría	66

**PERIODO CRÍTICO DE INTERFERENCIA DE ARVENSES EN EL CULTIVO DE
AMARANTO (*Amaranthus caudatus* L.) EN EL SECTOR LA ARGELIA, LOJA.**

2. RESUMEN

El amaranto (*Amaranthus caudatus* L.) es un cultivo tradicional considerado como un superalimento debido a su alto contenido de proteínas y su perfil de aminoácidos bien equilibrado, además de poseer muchas características agronómicas importantes como resistencia a estreses múltiples y gran adaptación a diferentes zonas agroecológicas. Uno de los factores más importantes que limita la producción de este cultivo es la interferencia de especies arvenses, que compiten por agua, nutrientes y radiación solar. El objetivo de la presente investigación consistió en identificar el periodo crítico de interferencia de arvenses, durante las etapas fenológicas en las que se vea más afectado el rendimiento final del grano en el cultivo de amaranto (*Amaranthus caudatus* L.). El ensayo se estableció en la Quinta Experimental Docente “La Argelia” ubicada en la ciudad Loja, Ecuador, utilizando un diseño de bloques completamente al azar con 16 tratamientos y tres repeticiones que consistieron en 8 periodos sucesivos de crecimiento de arvenses y 8 periodos sucesivos de crecimiento sin arvenses, en los que se evaluó la población, cobertura, densidad y biomasa de arvenses; Por otro lado, en el cultivo de amaranto se evaluó el rendimiento final de grano y sus componentes. Las arvenses dominantes en el cultivo fueron *Galinsoga quadriradiata* Ruiz y Pav, *Sigesbeckia serrata* DC y *Brassica rapa* L. La cobertura y densidad de arvenses incrementó rápidamente hasta los 30 días después de la emergencia del amaranto (DDE), mientras que, la biomasa de arvenses se acumuló fuertemente hasta los 65 DDE prolongándose hasta los 105 DDE. La interferencia de las arvenses provocó pérdidas significativas en el rendimiento, disminuyendo hasta en un 95 % el cual fue explicado por pérdidas en el número de granos por planta de hasta 84,32 % y pérdidas en la acumulación de biomasa hasta 75,16 %. El periodo crítico de interferencia de arvenses se determinó entre los 6 y 75 DDE, ubicado entre las etapas fenológicas de la aparición de cotiledones a través del suelo y el desarrollo de la inflorescencia respectivamente, Por lo tanto, el cultivo debe permanecer libre de arvenses durante este periodo para evitar pérdidas del rendimiento superiores al 5 %.

Palabras clave: Control de arvenses, competencia de arvenses, kiwicha, grano andino

2.1 ABSTRACT

Amaranth (*Amaranthus caudatus* L.) is a traditional crop considered a superfood due to its high protein content and well-balanced amino acid profile, in addition to possessing many important agronomic characteristics such as resistance to multiple stresses, and great adaptation to different agroecological zones. One of the most important factors limiting the production of this crop is the interference of weed species, which compete for water, nutrients and solar radiation. The objective of this research was to identify the critical period of weed interference during the phenological stages in which the final grain yield of amaranth (*Amaranthus caudatus* L) is most affected. The trial was established at the Quinta Experimental Docente "la Argelia" located in the city of Loja, Ecuador, using a completely randomized block design with 16 treatments and three replications consisting of 8 successive periods of weed growth and 8 successive periods of growth without weeds, in which the population, cover, density and biomass of weeds were evaluated; on the other hand, the final grain yield and its components were evaluated in the amaranth crop. The dominant weeds in the crop were *Galinsoga quadriradiata* Ruiz y Pav, *Sigesbeckia serrata* DC and *Brassica rapa* L. Weed cover and density increased rapidly until 30 days after amaranth emergence (DDE), while weed biomass accumulated strongly until 65 DDE and continued until 105 DDE. The interference of weeds caused significant losses in yield, decreasing up to 95 %, which was explained by losses in the number of grains per plant of up to 84.32 % and losses in biomass accumulation of up to 75.16 %. The critical period of weed interference was determined between 6 and 75 DDE, located between the phenological stages of the appearance of cotyledons through the soil and the development of the inflorescence respectively, therefore, the crop must remain free of weeds during this period to avoid yield losses of more than 5 %.

Key words: Weed control, weed competition, kiwicha, andean grain

3. INTRODUCCIÓN

El amaranto (*Amaranthus caudatus* L.) perteneciente a familia Amaranthaceae, es un grano milenario originario de la zona Andina Sudamericana, considerado como un “superalimento” debido a su alto contenido de proteínas y su perfil de aminoácidos bien equilibrado, superando ampliamente en el contenido nutricional a muchos cultivos básicos como el arroz, el maíz y el trigo. Además, el contenido de lisina es el doble que el del arroz y el triple que el del maíz (Adhikary *et al.*, 2020). El grano de amaranto es principalmente usado para el consumo humano y puede ser ingerido por las personas celiacas debido a que no tiene gluten. En los últimos años, este cultivo ha tomado gran interés mundial y se lo considera como una alternativa de excelente calidad nutricional, lo que ha permitido un fortalecimiento de su producción debido a la creciente demanda mundial (Jiménez *et al.*, 2018).

El cultivo de amaranto tiene muchas propiedades agronómicas favorables, por ejemplo, tiene gran capacidad de adaptarse a diversas zonas ecológicas, también, tiene gran resistencia a estrés biótico y abiótico comparado con muchos otros cultivos alimentarios convencionales. Las especies de amaranto que se aprovecha su grano para consumo humano son especies C_4 , permitiéndoles adaptarse a una amplia gama de ambientes, con buena tolerancia a la sequía y la salinidad, así mismo, el amaranto tiene una eficiencia superior en el uso del agua en comparación con otros cultivos de gran metabolismo fotosintético C_3 (Adhikary *et al.*, 2020)

A nivel mundial China cultiva la mayor superficie de amaranto con más de 150 000 ha (Zubillaga, 2017), mientras que en Ecuador no existen cifras oficiales de producción, se estima que existen alrededor de 50 ha cultivadas de amaranto y su rendimiento aproximado es de 1.5 a 2 ton ha⁻¹, localizándose en las provincias de Pichincha, Imbabura y Chimborazo con aproximadamente 93 % de superficie con alta potencialidad para este cultivo; el 80 % de las superficies con potencialidad media se encuentran en las provincias de Loja, Imbabura, Tungurahua y Cotopaxi (Jiménez *et al.*, 2018).

A pesar de todas las propiedades del amaranto, la producción de este cultivo a nivel nacional es limitada, así mismo, estudios sobre los factores que determinan el rendimiento de este cultivo son casi nulos en nuestro país. Uno de los problemas más importantes que limita la producción de este cultivo es la interferencia de especies arvenses, ya que, su

rendimiento disminuye a medida que aumenta la densidad y la duración de la aparición de las arvenses (Merino *et al.*, 2019) las cuales compiten por recursos tanto de radiación solar, así como, por los nutrientes y agua del suelo, incidiendo de manera negativa al crecimiento, desarrollo y producción del cultivo (Merino *et al.*, 2019). Además, la presencia de malas hierbas favorece el desarrollo de fitopatógenos debido a que pueden servir de hospederos y crear microclimas que beneficia la proliferación de patógenos que afectan a la calidad fisiológica de la planta (Blanco, 2016).

El periodo crítico de interferencia de arvenses (PCIA) se refiere al tiempo en el que el cultivo debe permanecer libre de malas hierbas para evitar pérdidas en el rendimiento (Nurse *et al.*, 2016) por ende, la determinación de este periodo es la única vía eficiente para establecer métodos de manejo de arvenses solo durante el tiempo que el cultivo lo requiere y así facilitar su convivencia inter-específica (Blanco *et al.*, 2014).

La información sobre el periodo crítico de interferencia de arvenses y su impacto en el rendimiento de amaranto es muy limitada, existe un estudio previo realizado en Ontario, Canadá por Nurse *et al.*, (2016), quienes exploraron el PCIA, sugiriendo que los primeros 30 días después de la emergencia sería un periodo importante donde la presencia de estas especies afectan el rendimiento en un 50 %, mientras que al mantener el cultivo libre arvenses se mantiene un rendimiento relativo del 95 % del cultivo. Sin embargo, la metodología usada en el estudio de Nurse *et al.*, (2016) podría carecer de sensibilidad para la determinación del PCIA, debido a que solo realizaron cuatro niveles de control arvenses durante todo el ciclo del cultivo del amaranto, si se considera que idealmente se necesitan siete puntos para el ajuste de los datos a las curvas de interpolación como indica Knezevic *et al.*, (2002). Además, se realizó en condiciones muy distintas a las que experimentan los cultivos crecidos en ambientes de valles interandinos de Ecuador.

El conocimiento del periodo crítico de interferencia de arvenses en amaranto permitirá hacer más eficiente las actividades para el control de arvenses, optimizando los gastos derivados de los controles, así mismo, contribuirá a reducir las pérdidas en el rendimiento causado por la interferencia de arvenses, por lo tanto, la determinación del PCIA será una herramienta importante para el diseño de estrategias para el control de arvenses en cualquier sistema de producción en el cultivo de amaranto.

Objetivo general

- Identificar el periodo crítico de interferencia de arvenses, durante las etapas fenológicas en las que se vea más afectado el rendimiento final del grano en el cultivo de amaranto (*Amaranthus caudatus* L.).

Objetivos específicos

- Evaluar el rendimiento final del cultivo de amaranto para determinar el periodo crítico de interferencia de arvenses.
- Estimar la etapa fenológica en la cual las arvenses afecten el rendimiento final del cultivo de amaranto y qué especies vegetales son las más frecuentes en el sector “La Argelia”.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 Origen y distribución geográfica del cultivo

Gabriel *et al.*, (2018) mencionan que el género *Amaranthus* comprende alrededor de 70 especies distribuidas en zonas tropicales y subtropicales, de las cuales 40 son originarias del continente americano y el resto de Australia, África, Asia y Europa. Internacionalmente se asume que el amaranto fue cultivado y utilizado junto al maíz, frijoles y la chía por los aztecas en el valle de México, por los mayas en Guatemala y por los Incas en Perú, Bolivia y Ecuador junto a la papa, el maíz y la quinua. Del total de especies, sólo 3 se utilizan para la producción de grano: *Amaranthus cruentus* L., *Amaranthus hypochondriacus* L. y *Amaranthus caudatus* L. Probablemente estas especies descienden de las especies silvestres *Amaranthus hybridus*, *Amaranthus powelli* y *Amaranthus quitensis* respectivamente (Zubillaga, 2017).

El *Amaranthus caudatus* L. es una variedad de grano blanco, que revienta con mucha facilidad, es una de las especies importantes para la producción, misma que se origina de la zona andina sudamericana principalmente a través de una estrecha banda del Sur de Ecuador, a través de Perú, Bolivia y en el Norte de Argentina y desde allí se distribuyó a otras zonas templadas. (Espitia *et al.*, 2010; Zubillaga, 2017).

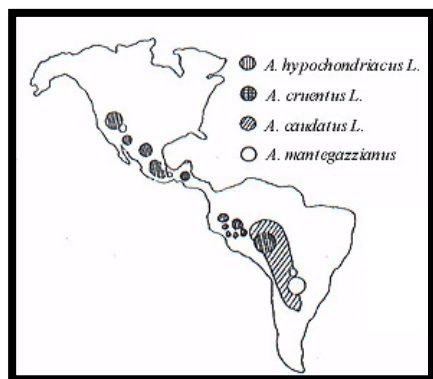


Figura 1. Distribución del amaranto

Fuente: (González, 2016)

4.2 Clasificación taxonómica

La clasificación taxonómica para el amaranto según la FAO es la siguiente (Mujica, 1997)

Reino: Vegetal

División: Fanerogama

Tipo: Embryophyta siphonogama

Subtipo: Angiosperma

Clase: Dicotiledoneae

Subclase: Archyclamideae

Orden: Centrospermales

Familia: Amaranthaceae

Género: *Amaranthus*

Sección: *Amaranthus*

Especies: *caudatus*, *cruentus* e *hypochondriacus*.

4.3 Morfología de la planta

Según la caracterización morfológica el amaranto se define por ser plantas anuales, erectas, decumbentes o ascendentes, presenta un hábito herbáceo de hasta 2 m de alto (Carmona y Orsini, 2010)

4.3.1 Tallo

Los tallos son verdes, marrones o con tonalidades púrpuras o rojas, glabros o con pubescencia puberulenta, lanosa o villosa, simples o ramificados, a veces con estrías longitudinales en plantas adultas que les confieren un aspecto acanalado (Carmona y Orsini, 2010). El tallo por lo general presenta un solo eje central con ramificaciones desde la base hacia el ápice, son erectos suculentos, cilíndricos y angulosos, su grosor disminuye desde la base al ápice (Zubillaga, 2017).

4.3.2 Raíz

La raíz es pivotante con abundante ramificación y múltiples raicillas delgadas, que se extienden rápidamente después que el tallo comienza a ramificarse, facilitando la absorción de agua y nutrientes, la raíz principal es la que cumple la función de sostén de la planta, permitiendo mantener el peso de la panoja, las raíces primarias toman consistencia leñosa que dan firmeza a la planta y que en muchos casos cuando crece algo separado de otras alcanza tamaños considerables (Grandes, 2015).

4.3.3 Hojas

Hojas simples, con disposición opuesta o alternas, carecen de estípulas, de color verde claro; pecíolo variable en longitud en una misma planta, a veces pubescente; lámina entera, glabra o a veces con pubescencia esparcida en la cara adaxial y abaxial, nerviación prominente en la cara abaxial, el nervio medio usualmente se extiende en una terminación espinescente. (Carmona y Orsini, 2010).

4.3.4 Flores

Flores zigomorfas pequeñas generalmente similares en forma y dimensión, frecuentemente unisexuales dispuestos a lo largo de una misma inflorescencia las masculinas a menudo distribuidas en la porción apical y las femeninas cerca de la base, sésiles o subsésiles (Saldaña, 2018).

Zubillaga, (2017) menciona que los amarantos son plantas monoicas, dioicas o polígamas con grandes inflorescencias muy vistosas llamadas panojas, las cuales pueden ser terminales o axilares, erectas o decumbentes, el tamaño es variable y puede presentar diversos colores desde verde amarillento a rosado.

4.3.5 Fruto

Es una cápsula pequeña que botánicamente pertenece a un pixidio unilocular, que a la madurez se abre para dejar caer la parte superior u opérculo, dejando al descubierto la parte inferior llamada urna, donde se alberga la semilla, la misma que se desgaja fácilmente; dando lugar a una fuerte dehiscencia o caída de las semillas. (Grandes, 2015).

4.3.6 Semilla

Semillas solitarias, orbiculares a lenticulares, de color variable, brillantes u opacas (Carmona y Orsini, 2010). La variedad alegría tiene semillas de forma redonda, de color blanco o blanco amarillento, cuyo diámetro puede variar entre 0,7 y 1,4 mm. El peso Hectolítrico está entre 78 y 83 Kg/hl. En 1 g de semillas pueden encontrar hasta 1000 semillas o más. En el grano se diferencian el episperma o cubierta de la semilla, el endospermo o segunda capa, el embrión formado por los cotiledones y la parte más interna llamada perisperma (Grandes, 2015).

4.4 Requerimientos de clima y suelo

4.4.1 Clima

El amaranto tiene un amplio rango de adaptación tanto en suelos como en clima, la variedad alegría presenta un rango de adaptación (entre 1500 y 2800 msnm), puede ser cultivada en los valles bajos de la Sierra. No es recomendable la implementación del cultivo en sitios con una altitud superior a los 3000 m, puesto que es fuertemente afectada por las bajas temperaturas, las localidades más aptas para el cultivo estarían situadas entre los 2000 y 2600 m de altitud. Al ser una planta C4 esta variedad se adapta mejor en los valles con alta luminosidad y temperaturas promedios anuales superiores a 15 ° C, no es exigente en humedad y se considera que con 400 a 600 mm de precipitación anual se pueden obtener cultivos rentables (Monteros *et al.*, 1994).

4.4.2 Suelo

Según el INIAP, (2014) el cultivo se adapta a suelos francos arenosos, limosos, profundos, con buen drenaje y buen contenido de materia orgánica, un pH de 6.0 a 7.5, por lo general es afectada por suelos de tipo arcillosos y anegados. El amaranto durante la germinación de las semillas y el crecimiento inicial requiere un contenido de humedad adecuado, una vez que las plantas se hayan establecido prosperan muy bien en ambientes con humedad limitada, tienen la capacidad de crecer mejor en ambientes cálidos y secos que en ambientes con exceso de humedad y a su vez se adapta a casi todos los tipos de suelo (Jiménez, 2017).

Los requerimientos nutricionales del amaranto en cuanto a macronutrientes son: nitrógeno (N) 80 %. Fósforo (P^2O^5) 60 %, potasio (K^2O) 40 % calcio y azufre; y en micronutrientes por lo general son: hierro, zinc, cobre y boro, acorde al análisis de suelo se determina la fertilización necesaria según las necesidades del cultivo (Arteaga y Rosales, 2018).

4.5 Fenología del cultivo

La fenología del cultivo de amaranto ha sido presentada por Mujica Quillahuamán (1989) y Henderson (1993); mismos que coinciden en las etapas.

Emergencia VE

Es la fase en la cual las plantas emergen del suelo y muestran sus dos cotiledones extendidos. Todas las hojas verdaderas sobre los cotiledones tienen un tamaño menor a 2 cm de largo. Este estado puede durar de 8 a 21 días dependiendo de las condiciones agroclimáticas.

Fase vegetativa: ($V_1...V_n$)

Estas se determinan contando el número de nudos en el tallo principal donde las hojas se encuentran expandidas por lo menos 2 cm de largo. El primer nudo corresponde al estado V_1 el segundo es V_2 y así sucesivamente. A medida que las hojas basales senescen, la cicatriz dejada en el tallo principal se utiliza para considerar el nudo que corresponda. La planta comienza a ramificarse en estado V_4 .

Fase reproductiva:

➤ Inicio de panoja (R1):

El ápice de la inflorescencia es visible en el extremo del tallo. Este estado se observa entre 50 y 70 días después de siembra

➤ Panoja: (R2)

La panoja tiene al menos 2 cm de largo.

➤ **Término de panoja: (R3)**

La panoja tiene al menos 5 cm de largo. Si la antesis ya ha comenzado cuando se ha alcanzado esta etapa, la planta debería ser clasificada en la etapa siguiente.

➤ **Antesis (R4):**

Al menos una flor se encuentra abierta mostrando los estambres separados y el estigma completamente visible. Las flores hermafroditas, son las primeras en abrir y generalmente la antesis comienza desde el punto medio del eje central de la panoja hacia las ramificaciones laterales de esta misma

En esta etapa existe alta sensibilidad a las heladas y al estrés hídrico.

Este estado puede ser dividido en varios sub-estados, de acuerdo al porcentaje de flores del eje central de la panoja que han completado antesis. Por ejemplo, si 20 % de las flores del eje central han completado la antesis, el estado será R 4.2 y si es 50 %, el estado correspondería a R 4.5. La floración debe observarse a medio día ya que en horas de la mañana y al atardecer las flores se encuentran cerradas, durante esta etapa la planta comienza a eliminar las hojas inferiores más viejas y de menor eficiencia fotosintética.

➤ **Llenado de granos (R5):**

La antesis se ha completado en al menos el 95 % del eje central de la panoja. Esta etapa según Mujica y Quillahuamán (1989), puede ser dividida en:

Grano lechoso:

Las semillas al ser presionadas entre los dedos, dejan salir un líquido lechoso.

Grano pastoso:

Las semillas al ser presionadas entre los dedos presentan una consistencia pastosa de color blanquecino.

➤ **Madurez fisiológica (R6):**

Un criterio definitivo para determinar madurez fisiológica aún no ha sido establecido; pero el cambio de color de la panoja es el indicador más utilizado. En panojas verdes, éstas

cambian de color verde a un color oro y en panojas rojas cambian de color rojo a café-rojizo. Además, las semillas son duras y no es posible enterrarles la uña. En este estado al sacudir la panoja, las semillas ya maduras caen.

➤ **Madurez de cosecha (R7):**

Las hojas senescen y caen, la planta tiene un aspecto seco de color café. Generalmente se espera que caiga una helada de otoño para que disminuya la humedad de la semilla.

4.6 Impacto de las arvenses sobre los cultivos

Las arvenses son plantas cuya presencia resulta en la reducción de la rentabilidad del sistema agrícola, además constituyen un componente del complejo de plagas que atacan a los cultivos. Dañan los sistemas de producción y afectan los procesos industriales y comerciales de los alimentos, las arvenses son nocivas porque su impacto no solo se mide en pérdidas y reducción de cosecha, también hace estragos a futuro en las tierras de cultivo, el rendimiento agrícola, áreas cultivables y hasta la productividad empresarial (FAO, 2017).

Las dificultades para el control de las arvenses están impactando de manera negativa en varios aspectos como: Aumento de costo del control de arvenses, Sobrecarga de las pulverizadoras en momentos de alta demanda, haciendo que se retrasen los tratamientos y su efectividad sea menor. Mayor tiempo de limpieza de cosechadoras y en algunos casos dejar manchones sin cosechar y volver a recolectarlos al finalizar el lote (Haidar, 2012).

4.7 Importancia económica de las arvenses en el cultivo

Las arvenses, en el sentido agronómico, representan plantas sin valor económico o que crecen fuera de lugar interfiriendo en la actividad de los cultivos, afectando su capacidad de producción y desarrollo normal por la competencia de agua, luz, nutrientes y espacio físico, o por la producción de sustancias nocivas para el cultivo, esto indica que las arvenses representan uno de los problemas severos de la agricultura mundial, ya que su acción invasora facilita su competencia con los cultivos y además resultan ser hospedadoras de plagas y enfermedades (Blanco y Leyva, 2007).

La presencia de malas hierbas en el cultivo de amaranto se convierte en un problema puesto a que cuando el cultivo está pequeño la competencia por agua, luz y nutrientes se hace

más intenso e importante, por tal motivo el rendimiento puede verse comprometido por la proliferación de plagas y enfermedades que estas hospedan, a altas densidades, esto limita en alguna medida que tanto se puede subir la densidad de siembra de los cultivos por lo tanto van incrementados sus costos de mano de obra y control de arvenses y si la distancia entre hileras se reduce mucho se limita el acceso para hacer desmalezado y hay que recurrir a técnicas de control como el químico y el manual que tienden a ser más costosas (Batidas, 2017).

4.8 Arvenses en cultivo de amaranto

El cultivo de Amaranto en sus primeros estadios es muy susceptible a la competencia ya sea por agua, espacio, o luz que provocan la presencia de arvenses (Zubillaga, 2017).

Según Mujica, (1997) las principales arvenses presentes en el cultivo de amaranto (Tabla 1) son:

Tabla 1. Principales especies arvenses del cultivo de amaranto

Nombre científico	Nombre común
<i>Agropyron repens</i>	Gramma
<i>Amaranthus hybridus</i>	Jatacco, Bledo
<i>Argemone mexicana</i>	Cardo
<i>Avena fatua</i>	Avena loca
<i>Boerhavia caribea</i>	Pega-pega
<i>Brassica campestris</i>	Nabo silvestre
<i>Chenopodium album</i>	Quingüilla
<i>Chenopodium ambrosoides</i>	Paico
<i>Chenopodium murale</i>	Quinoa silvestre
<i>Cynodon dactylon</i>	Pasto bermuda
<i>Datura stramonium</i>	Chamico
<i>Eleusina indica</i>	Pata de pajarito
<i>Euphorbia heterophylla</i>	Leche-leche
<i>Lycopersicum peruvianum</i>	Tomatillo
<i>Pennisetum clandestinum</i>	Kikuyo
<i>Rumex crispus</i>	Lengua de vaca
<i>Setaria verticillata</i>	Cola de zorro
<i>Solanum nigrum</i>	Hierba mora
<i>Trifolium sp</i>	Trébol de carretilla

4.9 Competencia de cultivo/arvenses

La competencia entre el cultivo y arvenses se expresa por la alteración, crecimiento y desarrollo de ambos ya que, compiten por los nutrientes del suelo, agua, luz; hospedan insectos y patógenos dañinos a las plantas de los cultivos y sus exudados de raíces y/o filtraciones de las hojas pueden ser tóxicos para las plantas cultivadas (Palau *et al.*, 2013).

Según Intagri, (2017). Las principales competencias pueden ser:

Competencia por nutrientes: las arvenses suelen absorber los nutrientes minerales más rápido que muchos de los cultivos agrícolas, acumulándolos en sus tejidos en cantidades relativamente grandes

Competencia por agua: se presenta por debajo de la superficie del suelo entre las raíces, la capacidad de absorber agua va a depender del volumen de las raíces, generalmente las arvenses transpiran más agua que la mayoría de los cultivos, en campos mayormente infestados de malas hierbas la humedad del suelo puede ser agotada para cuando el cultivo llega a su etapa de floración-fructificación, en donde presenta las mayores demandas de agua.

Competencia por luz: se presenta cuando una planta sombrea a otra y reduce el suministro de luz por interceptación directa, esta competencia se vuelve más intensa cuando la densidad de plantas es mayor.

4.10 Periodo crítico de interferencia de arvenses

Es conocido que las arvenses causan daños a los cultivos, durante ciertos periodos de crecimiento por lo que las medidas de control durante estos tiempos son de especial importancia, las arvenses, que se desarrollan en periodos más tardíos del crecimiento de las plantas cultivables, suelen causar daños de menor importancia. En la agricultura tradicional, el conocimiento del llamado “período crítico” permite al agricultor hacer un uso más eficiente de los limitados recursos de que dispone, lo que se revierte en un ahorro sustancial del tiempo y otros gastos por concepto del control de arvenses (Labrada y Parker, 1996).

El periodo crítico de interferencia de arvenses es la etapa del ciclo de crecimiento de cualquier cultivo durante el cual deben controlarse las malas hierbas para evitar pérdidas de

rendimiento (Merino *et al.*, 2019); ello indica el intervalo de tiempo cuando el control podrá ser más efectivo en la prevención de daños a las plantas cultivadas (Vera y Enciso, 2017).

El conocimiento del periodo crítico de interferencia con las arvenses contribuye a reducir al mínimo las pérdidas de rendimiento del cultivo, que puede presentarse, debido a la infestación de malas hierbas, por ende, determinar este periodo es una herramienta indispensable para proponer estrategias eficaces de gestión solo durante el tiempo que el cultivo lo requiera, y de esta forma facilitar su convivencia interespecífica (Blanco *et al.*, 2014; Merino *et al.*, 2019).

4.11 Rendimiento

El rendimiento es la producción obtenida por unidad de superficie, se expresa usualmente en TM/ha. Un buen rendimiento es el resultado de una buena calidad de tierra, o una explotación más intensiva en trabajo o técnicas agrícolas, como la utilización de abonos, fertilizantes, control de malas hierbas, etc. (FAO, 2014).

El rendimiento potencial es el rendimiento que obtiene un genotipo adaptado a un medio ambiente en particular, sin limitación de agua ni nutrientes, donde los estreses son efectivamente controlados. Y el rendimiento potencial económico es aquel que puede obtenerse aplicando las técnicas que son comercialmente prácticas y que permiten obtener el mejor retorno económico. La diferencia entre el rendimiento real y el rendimiento potencial económico es el resultado de las pérdidas debido a factores como plagas, enfermedades, arvenses, fertilización inadecuada, prácticas culturales pobres y otros factores susceptibles que afectan los componentes del rendimiento que deben ser mejorados para beneficios del agricultor (Guamán, 2012).

La variación en el rendimiento de los cereales en este caso del amaranto está relacionada al número de panojas fértiles, número de granos por panoja y el peso del grano.

4.12 Componentes del rendimiento

4.12.1 Número de granos

Este componente de rendimiento de grano identifica la etapa de crecimiento y el estado reproductivo, que va a depender del número de flores que son polinizadas y del número de flores polinizadas que se llenan y se convierten en grano (Rios *et al.*, 2011).

4.12.2 Peso del grano

El peso de la semilla está en función de la masa de cada semilla individual y su volumen, como también el tamaño. En el caso del trigo, hay un gran efecto de deterioro en la masa de la semilla, ocasionando con ello una estrecha relación con su calidad fisiológica, es decir cuanto menor sea el peso volumétrico, será menor la calidad fisiológica de las semillas (Rios, 2010) En algunos estudios se ha demostrado que la translocación de materiales asimilados puede responder por cerca del 30 % de peso final del grano (Rios *et al.*, 2011).

El componente principal en la semilla del amaranto es el almidón, representa entre 50 y 60 % de su peso seco, el diámetro del granulo de almidón oscila entre 1 y 3 micrones, el número y peso de los granos no están relacionados inversamente en forma completamente competitiva, por lo que puede aumentarse el rendimiento si se obtienen más granos (Rios, 2010).

4.13 Biomasa del cultivo

La biomasa es el resultado de la transformación de la energía solar en energía química, ésta como concepto es la cantidad total de materia viviente en un momento dado, en un área determinada o en uno de sus niveles tróficos y se expresa en gramos de carbono, o en calorías, por unidad de superficie (Martínez y Leyva, 2014). La biomasa aérea se calcula al dividir el peso seco de la parte aérea (PSPA, g) de las plantas presentes en un área determinada (López, 2011).

En los cultivos existe una estrecha relación entre rendimiento y producción de biomasa aérea, la cual depende de la cantidad de radiación fotosintéticamente activa interceptada por el canopeo. Si se considera un valor de EUR (eficiencia del uso de la radiación) relativamente

constante para la mayoría de las condiciones de cultivo, se deduce entonces que el aumento en la producción de biomasa por parte del cultivo dependerá fundamentalmente de la duración de su ciclo y de la eficiencia con que capture el recurso luz. A mayores valores de biomasa y un constante índice de cosecha observado (proporción de la biomasa total aérea que se encuentra en los granos a madurez fisiológica) cuando no existen déficits hídricos, ni temperaturas de crecimiento muy baja, determinaría un mayor rendimiento de granos (Syngenta, 2019).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Ubicación

El presente trabajo se realizó en la “Quinta Experimental Docente La Argelia” de la Universidad Nacional de Loja, en el barrio la Argelia, parroquia Punzara, cantón Loja de la provincia de Loja. La quinta se encuentra ubicada en las coordenadas geográficas $4^{\circ}02'19.2''S$ $79^{\circ}12'00.6''W$, esta zona se encuentra a una altura de 2150 m.s.n.m, presenta una temperatura promedio de $18^{\circ}C$ y una precipitación anual promedio 1058 mm, es un suelo de naturaleza franco limoso con un pH de 5 a 6.

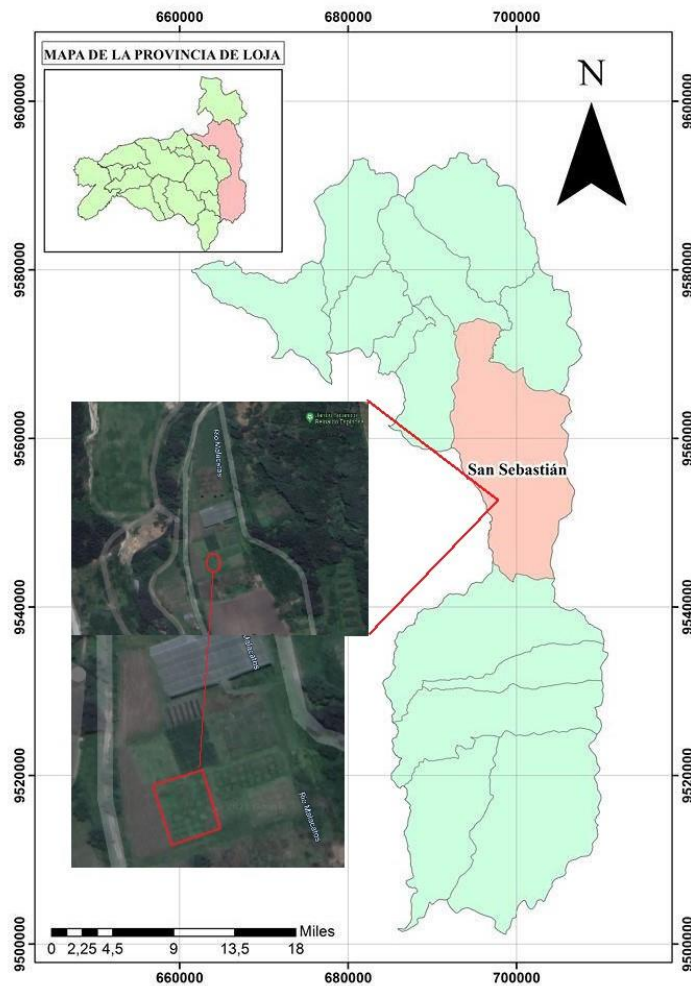


Figura 2. Ubicación del experimento en el cantón Loja, ciudad de Loja, sector La “Argelia”

5.2 Diseño experimental

Se implementó un diseño experimental de bloques completamente al azar con arreglo bifactorial, donde el primer factor constituye la convivencia con arvenses (libre de arvenses y con interferencia de arvenses) y el segundo factor es el tiempo de la convivencia con arvenses (0,15, 30, 45, 60, 75, 90 y 105 DDE), los tratamientos contaron con tres repeticiones, dando un total de 48 unidades experimentales (UE), mismas que correspondieron a parcelas de 2 x 2 m, con un espaciamiento de 1 m entre las UE y 1,5 m entre bloques., Cada bloque contenía 16 tratamientos constituidos por 8 periodos de crecimiento con convivencia de arvenses y 8 periodos de crecimiento con remoción de arvenses (Tabla 2).

Tabla 2. Descripción de los tratamientos de los periodos de crecimiento con arvenses y libre de arvenses

Tratamiento	Periodo de crecimiento con arvenses	Tratamiento	Periodo de crecimiento libre de arvenses
1	0 días con arvenses	9	0 días libre de arvenses
2	15 días con arvenses	10	15 días libre de arvenses
3	30 días con arvenses	11	30 días libre de arvenses
4	45 días con arvenses	12	45 días libre de arvenses
5	60 días con arvenses	13	60 días libre de arvenses
6	75 días con arvenses	14	75 días libre de arvenses
7	90 días con arvenses	15	90 días libre de arvenses
8	105 días con arvenses	16	105 días libre de arvenses

5.2.1 Modelo matemático del diseño experimental

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

Donde:

Y_{ijk} = Variable respuesta

μ = Media poblacional

ω_i = Efecto del factor A (Influencia de Arvenses)

β_j = Efecto del factor B (Duración de la convivencia o la remoción de arvenses)

$(\omega \beta)_{ij}$ = Efecto de interacción entre el factor A y B

P_k = Efecto bloque

ϵ_{ijk} = Error experimental

$i = 1, 2$. a = nivel del factor A (Libre de arvenses, Interferencia de arvenses)

$j = 1, 2, 3, \dots, 8$. b = nivel del factor B (0, 15, 30, 45, 60, 75, 90 y 105 días)

$k = 1, 2, 3$. n = Bloques

El diseño experimental se estableció en condiciones de campo como se indica en el siguiente esquema (Figura 3), donde los colores representan la convivencia o remoción de arvenses, mientras que los números dentro de los cuadros representa la duración de estos tratamientos.

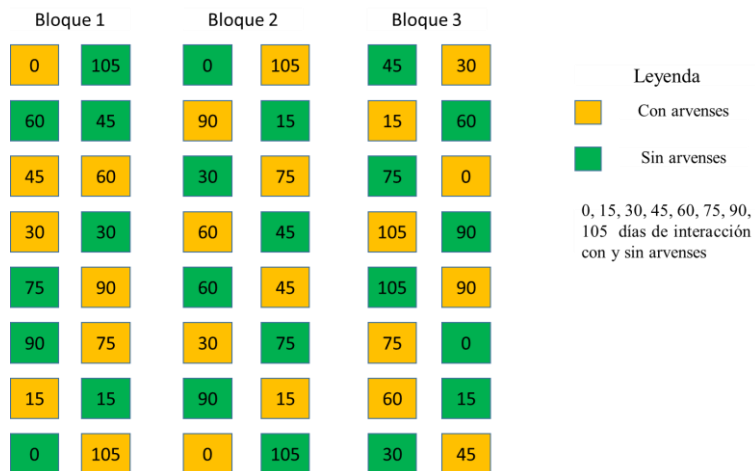


Figura 3. Esquema del diseño experimental y la distribución de las unidades experimentales en el campo

5.3 Metodología

5.3.1 Manejo del experimento

La preparación del terreno se realizó de forma convencional con maquinaria agrícola, (Anexo 4; Fig. 18) donde se ejecutó dos pases con arado de discos de vertedera y dos pases de rastra a una profundidad de 0,20 m luego se procedió a efectuar la medición y delimitación de las parcelas. (Anexo 4; Fig. 19)

La siembra se llevó a cabo el 25 de diciembre del 2020, se realizó manualmente a chorro continuo, a una distancia de 0,5 m entre hileras, además se utilizó 50 kg (1,04 kg parcela⁻¹) de abono orgánico (compost) distribuyéndole de forma homogénea en todos los surcos para

ayudar a la germinación, a los 30 días post-emergencia, se hizo un raleo del amaranto (Anexo 4; Fig. 21)

Previo al establecimiento del cultivo se realizó un análisis de suelo (Anexo 2) para determinar las características químicas, encontrándose: pH: 5,62; M.O: 1,34 %; N: 0,07 %; P: 25,8 mg/Kg; K: 0,18 cmol/Kg; Ca: 2,71 cmol/Kg; Mg: 0,72 cmol/Kg; Fe: 28,1 mg/Kg; Mn: 13,39 mg/Kg; Cu: 3,06 mg/Kg y Zn: <1,60 mg/Kg. Debido a que el suelo tenía el pH ácido se realizó la corrección con cal agrícola (Anexo 4; Fig. 20), además de acuerdo a los requerimientos del cultivo y cuando este se encontraba en desarrollo de la hoja (3 nudos) se fertilizó usando Urea, Súper fosfato triple y Nitrato de potasio en dosis de 13, 3 y 13 kg respectivamente (Anexo 1).

Así mismo, se monitoreó permanentemente el cultivo (Anexo 4; Fig. 27) y se realizaron controles fitosanitarios de manera particular para *Diabrotica* spp., que fue la principal plaga presente en el cultivo de amaranto. Por otro lado, el control de las arvenses se realizó manualmente con azadas de acuerdo a los tratamientos a intervalos quincenales (Anexo 4; Fig. 22). Finalmente, la cosecha se realizó de forma manual cuando las plantas llegaron a madurez fisiológica. (Anexo 4; Fig 33) y posteriormente las plantas de cada tratamiento fueron trilladas para obtener los granos.

5.3.2 Metodología para el primer objetivo específico

“Evaluar el rendimiento final del cultivo de amaranto para determinar el periodo crítico de interferencia de arvenses”.

El periodo crítico de interferencia de arvenses y su duración se identificó usando una aproximación funcional ajustando los datos de rendimiento a modelos estadísticos (Knezevic *et al.*, 2002). El periodo crítico para la eliminación de arvenses se determinó a partir de un modelo logístico, denominado curva de arvenses, se ajustaron a los datos de rendimiento que representan una duración creciente de la interferencia de arvenses. Mientras que el periodo libre de arvenses se determinó a partir del ajuste de los datos de rendimiento al modelo de Gompertz, denominada curva libre de arvenses, que representa una duración creciente del período libre de arvenses.

El valor del eje x que corresponde al rendimiento relativo respecto del control (tratamiento libre de arvenses) del 90 y 95 % o una pérdida de rendimiento aceptable (PRA) del 5 al 10 %, se determinó para ambas curvas y se relacionó con la etapa de crecimiento del cultivo (ECC). Por lo tanto, el periodo crítico para el control de arvenses se define como el período de tiempo entre las dos etapas de crecimiento del cultivo (ECC_1 a ECC_2) y representa la duración del control de arvenses requerido para proteger el rendimiento del cultivo de una pérdida superior al 5 o 10 % (Figura 4). La elección del 5 o 10 % dependerá de varios factores, entre ellos el costo que implica el control de arvenses y su relación con el margen de ganancia del rendimiento producido de grano.

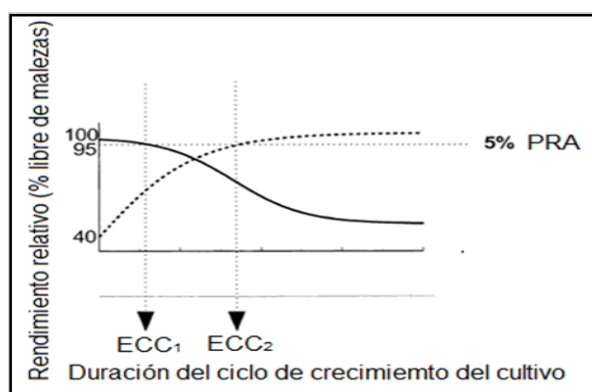


Figura 4. Aproximación funcional para la determinación del periodo de interferencia de arvenses

Fuente: Knezevic *et al.*, 2002

Para evaluar el rendimiento del grano de amaranto se consideró las siguientes variables:

- **Altura de la planta:** se midió con una cinta métrica desde el cuello hasta el ápice de la panoja, con una frecuencia de quince días, las medidas fueron expresadas en cm, para ello se seleccionaron 3 plantas de las filas centrales de cada parcela. (Anexo 4; Fig 24).
- **Tasa de elongación del tallo:** La tasa de elongación del tallo se estimó ajustando los datos de la altura a un modelo bilineal utilizando la técnica de optimización iterativa en el software Table Curve v5.01 (FDM, 2006) y para la dinámica de crecimiento del tallo, los valores se ajustaron a una función sigmoidea usando el software GraphPad Prism 8.01.

Las mediciones de las variables se realizaron una vez terminado el ciclo del cultivo

- **Biomasa del cultivo:** En madurez fisiológica se tomaron 5 plantas de las hileras centrales de la parcela, las cuales fueron secadas a 70 ± 5 °C durante 48 horas, para posterior a ello pesar la biomasa total en una balanza granataria. (Anexo 4; Fig. 28-30)
- **Número de granos:** se realizó un conteo manual del número de granos por planta y por panoja, para ello se tomaron 5 plantas de las hileras centrales de cada parcela.
- **Peso de 1000 granos:** se procedió a pesar una muestra representativa de 1000 granos de cada parcela en una balanza de precisión, el peso se expresó en gramos. (Anexo 4; Fig. 32)
- **Rendimiento del grano:** De las hileras centrales de cada parcela se cosecharon 5 plantas y se determinó el número de granos por planta y el peso promedio del grano, el rendimiento se calculó como el producto del peso promedio de los granos por las plantas existentes en un metro cuadrado y se expresó en $t\ ha^{-1}$ (Anexo 4; Fig. 31)
- **Índice de cosecha:** se obtuvo al determinar el rendimiento en $g\ m^{-2}$ de cada unidad experimental y luego dividir para la biomasa de la superficie cosechada ($g\ m^{-2}$) (Satorre *et al.*, 2003).

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

5.3.3 Metodología para el segundo objetivo específico

“Estimar la etapa fenológica en la cual las arvenses afecten el rendimiento final del cultivo de amaranto y que especies vegetales son las más frecuentes en el sector “La Argelia”.

- **Fenología del cultivo:** semanalmente se registró la fenología del cultivo de amaranto usando la escala BBCH (Martínez y Núñez, 2019), cada cambio de etapa se asignó cuando el 50 % de las plantas de cada parcela cambiaron de un estado a otro. (Anexo 3).

Las mediciones de las siguientes variables se realizaron con frecuencia de 15 días.

- **Biomasa de arvenses:** se realizó un cuadrante de madera de 0,5 x 0,5 m y se colocó en las hileras centrales de cada unidad experimental, luego se cortaron las arvenses a nivel del suelo para colocarlas en bolsas de papel y posterior a ello dejarlas secar en el horno por un periodo de 72 h, finalmente se procedió a pesarlas en una balanza granataria y obtener la biomasa total en gramos.
- **Densidad de arvenses:** en el cuadrante de 0,5 x 0,5 m en las hileras centrales de cada unidad experimental, se hizo un conteo manual e identificación de las arvenses y se expresó en plantas m⁻² (Anexo 4; Fig 25)
- **Cobertura de arvenses:** se estimó el porcentaje (%) de cobertura del área foliar de las arvenses mediante fotografías usando un teléfono inteligente con la aplicación Canopeo (Urquijo, 2015)

5.4 Análisis estadístico

Para evaluar el efecto de los tratamientos, se realizó un análisis de varianza y un test de medias mediante la prueba de Tukey ($\alpha= 0,05$). Previo al ANOVA se evaluaron los supuestos estadísticos de normalidad, independencia de las observaciones y homogeneidad de varianza., Además se exploraron asociaciones entre las variables respuesta cuantitativas usando el coeficiente de Pearson ($p= 0,05$). Los valores de porcentaje de cobertura vegetal se normalizaron mediante la transformación angular de Bliss.

La duración (días) para alcanzar la máxima densidad de arvenses, biomasa de arvenses y cobertura de arvenses se estimó utilizando un modelo bi-lineal (Ecuaciones 1 y 2):

$$y = a_1 + b_1 * x \quad \text{si } (x \leq c) \tag{1}$$

$$y = a_2 + b_2 * x \quad \text{si } (x > c) \tag{2}$$

donde, **y** es la densidad, biomasa o cobertura de arvenses, **x** es el tiempo desde emergencia (días), **a** es el intercepto, **b** la tasa de acumulación de biomasa, cobertura y densidad de arvenses, **c** es el punto de quiebre que muestra el tiempo del máximo punto de densidad cobertura y biomasa de arvenses. El ajuste se realizó mediante una técnica de optimización

(Jandell, 1991). Este modelo ajusta los datos a través de un procedimiento iterativo, produciendo estimaciones confiables de la duración y los puntos máximos como en el estudio de Herrera y Calderini (2020).

Se utilizaron regresiones lineales para las relaciones del rendimiento y la biomasa seca, número de granos y peso de 1000 granos. Los análisis se realizaron mediante el programa estadístico INFOSTAT versión 2019 (Di Rienzo *et al.*, 2010).

6. RESULTADOS

6.1 Fenología del amaranto

La Figura 5, representa los estadios fenológicos del amaranto crecido bajo las condiciones agroclimáticas de La Argelia, Loja: La fase inicial de la aparición de los cotiledones a través del suelo (BBCH 9) se produjo 5 días después de la siembra (DDS), la aparición de las dos hojas verdaderas (BBCH 11) sucedió a los 13 DDS, la fase vegetativa continuó sucesivamente, el estadio BBCH 17 comprende la fase vegetativa ampliada e incluía plantas con 7 nudos y ocurrió a los 57 DDS; mientras continuaba la etapa vegetativa empezó la etapa reproductiva; se dio la emergencia de la inflorescencia (BBCH 59) hasta los 75 DDS; el comienzo de antesis (BBCH 60) ocurrió 84 DDS y el fin de floración (BBCH 69) a los 109 DDS; posterior a ello comenzó el desarrollo de frutos y semillas llegando a leche tardía (BBCH 77) a los 133 DDS; se produjo la madurez fisiológica (BBCH 89) después de 178 DDS y finalmente la senescencia (BBCH 99) ocurrió a los 189 DDS.

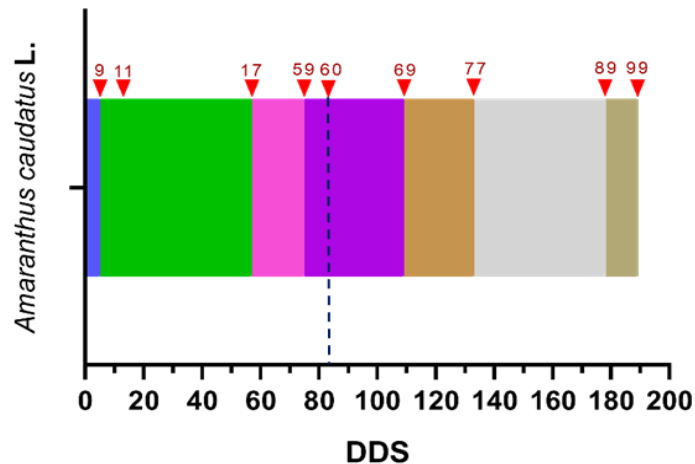


Figura 5. Duración de las etapas fenológicas del amaranto cultivado en La Argelia, Loja. Azul: Emergencia (BBCH9); Verde: Desarrollo de hojas (BBCH17); Rosa: Emergencia de la inflorescencia (BBCH59); Lila: Floración (BBCH60: Antesis; BBCH69: Fin de floración); Café: Desarrollo de frutos y semillas (BBCH77); Gris: Maduración (BBCH89) y Café oscuro: Senescencia (BBCH99). Los números en las flechas rojas representan las fases según la escala BBCH. Línea vertical entrecortada indica el inicio de antesis.

6.2 Dinámica poblacional de arvenses en el cultivo de amaranto

6.2.1 Arvenses asociadas al cultivo

En la Tabla 3, se describe la comunidad de arvenses asociadas al cultivo de *Amaranthus caudatus* L. a partir de los 15 hasta los 105 días después de la emergencia (DDE)., Se registró un total de 2788 arvenses m⁻² dominada por especies dicotiledóneas (Magnoliopsidas) que representó el 89,38 % (Clase 2), mientras que las monocotiledóneas (Liliopsida) en su conjunto correspondieron al 10,62 % (clase 1)., Además se registraron 15 especies distribuidas en 12 familias predominando las especies de la familia Asteraceae con un 64,99 % de la población total, la mayor comunidad de arvenses se conformó con especies de ciclo de vida anual que es similar al cultivo de *Amaranthus caudatus* L. Además, se demuestra que la especie de mayor importancia relativa fue *Galinsoga quadriradiata* Ruiz y Pav. (1592 plantas m⁻²) seguida de *Sigesbeckia serrata* DC (208 plantas m⁻²) y *Brassica rapa* L. (200 plantas m⁻²) que fueron las especies que se presentaron con mayor frecuencia, mientras que las especies que se observaron en menor número fueron *Sonchus oleraceus* L. (12 plantas m⁻²) *Nicandra physalodes* L. Gaertn. (8 plantas m⁻²) y *Holcus lanatus* L (4 plantas m⁻²).

Tabla 3. Población de arvenses en el cultivo de amaranto

Clase	Familia	Nombre científico	Nombre común	Ciclo de vida	Plantas m ²	Arvenses (%)	Clase (%)
2	Asteraceae	<i>Galinsoga quadriradiata</i> Ruiz y Pav	Pacunga	Anual	1592	57,10	89,38 %
2	Asteraceae	<i>Sigesbeckia serrata</i> DC.	Sacha jícama	Anual	208	7,46	
2	Brassicaceae	<i>Brassica rapa</i> L.	Nabo silvestre	Anual o bianual	200	7,17	
2	Scrophulariaceae	<i>Veronica persica</i> Poir.	Verónica	Anual	116	4,16	
2	Caryophyllaceae	<i>Spergula arvensis</i> L.	Cilantrillo	Anual	112	4,01	
2	Polygonaceae	<i>Rumex crispus</i> L.	Gula	Perenne	108	3,87	
2	Valerianaceae	<i>Valeriana chaerophylloides</i> Sm.	Canutillo	Anual	80	2,86	
2	Urticaceae	<i>Urtica urens</i> L.	Ortiga	Anual o perenne	40	1,43	
2	Oxalidaceae	<i>Oxalis triangularis</i>	Planta mariposa	Perenne	16	0,57	
2	Asteraceae	<i>Sonchus oleraceus</i> L.	Lechuguilla común	Anual o bianual	12	0,43	

2	Solanaceae	<i>Nicandra physalodes</i> L. Gaertn.	Tonga tonga	Anual	8	0,28	
1	Poaceae	<i>Digitaria sanguinalis</i> (L.) Scop	garranchuela	Anual	180	6,45	
1	Cyperaceae	<i>Cyperus rotundus</i> L.	Coquito	Perenne	96	3,44	10,62 %
1	Commelinaceae	<i>Commelina benghalensis</i> L.	Comelina, arrastradora	Anual	16	0,57	
1	Poaceae	<i>Holcus lanatus</i> L.	Pasto lanudo	Bianual o perenne	4	0,14	

Nota: 1=Liliopsida; 2=Magnoliopsida

6.2.2 Densidad, biomasa y cobertura de arvenses

La densidad de arvenses presentó diferencias significativas ($p < 0,001$), la mayor densidad de arvenses (plantas m^{-2}) se presentó a los 30,13 DDE ($R^2: 0,99$; $p < 0,001$; según ajuste bilineal) en las parcelas de convivencia de arvenses, mientras que, la menor densidad de arvenses se observó en los tratamientos que estuvieron libres de arvenses durante todo el experimento, conforme se observa en la curva a partir de los 30 DDE, la densidad de arvenses disminuyó gradualmente hasta los 105 DDE, como producto de la dominancia de determinadas especies (Figura 6; Tabla 4).

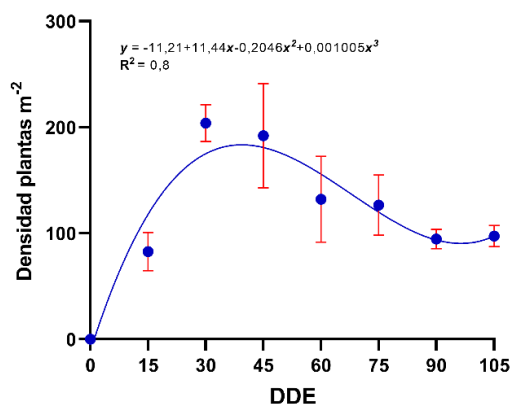


Figura 6. Densidad de arvenses (plantas m^{-2}) en relación a los tratamientos con interferencia de arvenses después de la emergencia en el amaranto. Cada punto es el promedio de tres repeticiones, las líneas rojas representan el error estándar de las medias

La biomasa de las arvenses presentó diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,001$) esta se incrementó con mayor rapidez hasta los 65, 67 DDE ($R^2: 0,98$; $p < 0,001$; según ajuste bilineal) obteniéndose el valor de $491,93 \text{ g m}^{-2}$ luego de ello la biomasa seca de las arvenses continuó su incremento lento hasta los 105 DDE, estos datos fueron ajustados al modelo de Gompertz que mostró una bondad de ajuste al modelo altamente significativo ($R^2 = 0,92$) (Figura 7). La biomasa seca de las arvenses se incrementó conforme mayor fue el tiempo de convivencia con el cultivo de amaranto, registrándose una cantidad hasta de $634,53 \text{ g m}^{-2}$ en el tratamiento que se mantuvo con interferencia de arvenses hasta los 105 DDE (Figura 7; Tabla 4).

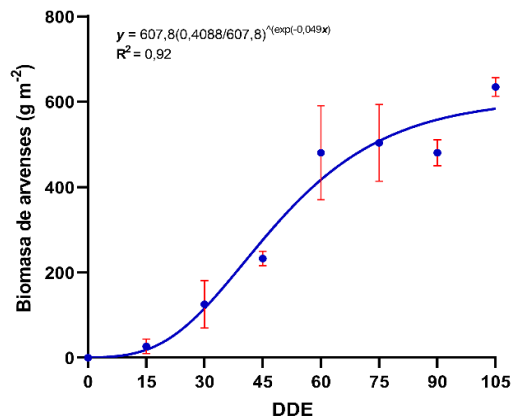


Figura 7. Biomasa de las arvenses (g m^{-2}) en relación a los tratamientos de interferencia de arvenses después de la emergencia en el amaranto. Cada punto es el promedio de tres repeticiones, las líneas rojas representan el error estándar de las medias.

La cobertura de las arvenses presentó diferencias significativas ($p < 0,001$) La cobertura de arvenses exhibió un rápido incremento en las etapas tempranas de crecimiento del amaranto, el menor porcentaje de cobertura se muestra en los tratamientos de 15 DDE, mientras que a partir de los 30,39 DDE ($R^2: 0,98$; $p < 0,001$, según ajuste bilineal) la cobertura cubrió la superficie del suelo hasta el 98 % no existiendo diferencias significativas en los tratamientos a partir de este momento (Figura 8; Tabla 4).

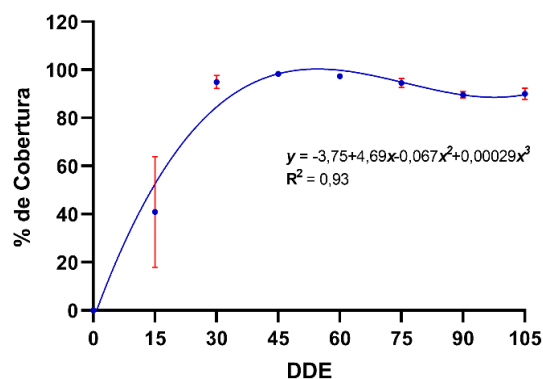


Figura 8. Cobertura de las arvenses (%) en relación a los tratamientos de interferencia de arvenses después de la emergencia en el amaranto. Cada punto es el promedio de tres repeticiones, las líneas rojas representan el error estándar de las medias.

Tabla 4. Promedios de las variables de densidad de arvenses (DA), biomasa de arvenses (BA) y cobertura de arvenses (CA) de los tratamientos con periodos sucesivos de interferencia de arvenses.

Días	Densidad (plantas m ⁻²)	Biomasa (g m ⁻²)	Cobertura (%)
0	0,00	0,00	0,00
15	82,67	26,67	41,00
30	204,00	125,33	95,00
45	192,00	234,53	98,00
60	132,0	480,27	97,00
75	126,67	503,47	95,00
90	94,67	480,40	90,00
105	97,33	634,53	90,00
Días	***	***	***
E.St.	16,35	25,80	0,05

Letras iguales en sentido vertical no expresan diferencias estadísticas significativas mediante prueba de Tukey ($\alpha < 0,05$). Los valores son medias de tres repeticiones. E. St: indica el error estándar del total de cada variable.

*** Efecto altamente significativo $p < 0,001$.

6.3 Altura de planta, tasa y duración del crecimiento del tallo de las plantas de amaranto

La Tabla 5, presenta la altura máxima de las plantas bajo la interacción arvenses \times días, existiendo diferencias significativas entre los tratamientos; cuando hubo presencia de arvenses se puede observar que la altura máxima de 192,59 cm corresponde a los 0 d con arvenses, al mismo tiempo se puede apreciar que la tasa de elongación del tallo para alcanzar dicha altura fue de 2,57 cm día⁻¹, mientras que el menor promedio de altura fue de 155,74 cm que corresponde a los 105 d con arvenses con una tasa de elongación de 2,20 cm día⁻¹ en

este contexto podemos mencionar que en cuanto a la tasa de elongación del tallo existen diferencias aunque no significativamente presentando rangos de 2,20 a 2,57 cm día⁻¹.

En lo que respecta a los tratamientos sin arvenses las alturas mayores de 200,41; 208,93 y 201,7 cm corresponden a los tratamientos de 75; 90 y 105 d sin arvenses respectivamente con una tasa de elongación del tallo de 2,66; 2,80 y 2,64 respectivamente; mientras que, la menor altura fue de 170, 63 con una tasa de elongación de 2,24 cm día⁻¹. Cabe mencionar que para llegar a la altura máxima de los tratamientos con y sin arvenses el rango de tiempo en días fue de 83,29 y 93,15 días, los cuales no presentaron diferencias estadísticamente significativas.

Tabla 5. Medias de la tasa de crecimiento activo del tallo, duración del crecimiento del tallos y altura máxima de planta en el cultivo de amaranto sometido a de diferentes periodos de infestación y remoción de arvenses.

Arvenses	Días	Tasa de crecimiento tallo (cm día ⁻¹)	Duración Tallo (días)	Altura máxima Tallo (cm)
Infestación	0,00	2,57	91,31	192,59 AB
	15,00	2,53	92,70	192,83 AB
	30,00	2,48	92,69	189,83 AB
	45,00	2,45	92,42	191,83 AB
	60,00	2,31	92,67	184,17 AB
	75,00	2,25	90,95	179,56 AB
	90,00	2,22	91,67	176,83 AB
	105,00	2,20	83,29	155,74 B
Remoción	0,00	2,24	87,97	170,63 AB
	15,00	2,45	87,76	180,52 AB
	30,00	2,58	91,64	193,78 AB
	45,00	2,54	93,16	194,15 AB
	60,00	2,58	89,92	189,93 AB
	75,00	2,66	90,95	200,41 A
	90,00	2,80	91,32	208,93 A
	105,00	2,64	93,15	201,17 A
	Días	ns	ns	ns
	Arvenses	ns	ns	*
	Día x Arvenses	ns	ns	**
	E. st.	0,04	0,63	2,55

Letras iguales en sentido vertical no expresan diferencias estadísticas significativas mediante prueba de Tukey α (0,05) los valores son medias de tres repeticiones ns = efecto no significativo, * efecto significativo $p < 0,05$; ** efecto muy significativo $p < 0,01$.

6.3.1 Dinámica del crecimiento del tallo del amaranto

La elongación del tallo de las plantas de amaranto mostró un lento crecimiento en las primeras etapas de desarrollo (≈ 30 DDE), posteriormente se observó un crecimiento lineal durante la etapa vegetativa, estabilizándose alrededor del inicio de antesis (≈ 80 DDE), ajustándose de esta manera a un crecimiento sigmoideal (Figura 9 a y b). donde las máximas alturas se presentaron en los tratamientos con menos incidencia de arvenses (Tabla 5).

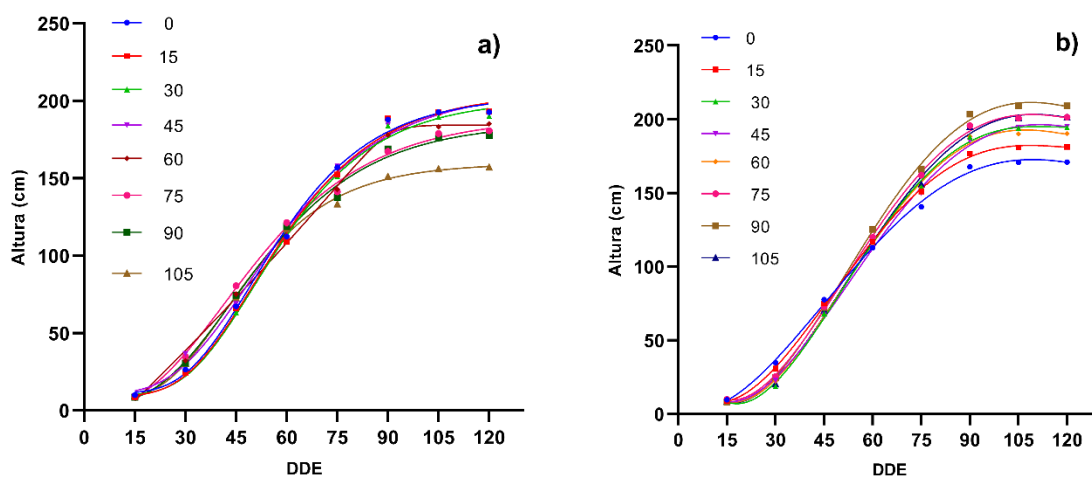


Figura 9. Dinámica de crecimiento del tallo de las plantas de amaranto bajo periodos sucesivos de; a) interferencia de arvenses, b) remoción de arvenses. Cada punto es el promedio de tres repeticiones. DDE: días después de emergencia.

6.4 Rendimiento del grano y sus componentes en el cultivo de amaranto

6.4.1 Biomasa seca de las plantas

La biomasa de las plantas fue significativamente ($p < 0,001$) influenciada por los tratamientos con interferencia de arvenses, se alcanzó mayor peso ($182,49 \text{ g planta}^{-1}$) en los controles, es decir, en los tratamientos con 0 días con presencia de arvenses, aquí las parcelas permanecieron libres de arvenses durante todo el experimento, mientras que, la menor cantidad de biomasa ($43,88 \text{ g planta}^{-1}$) se logró cuando las arvenses interfirieron hasta los 105 días (Figura 10a). Por otra parte, en los tratamientos con periodos libres de arvenses, se observó una dinámica inversa a los descritos previamente; es así que el menor valor de biomasa se registró cuando las plantas de amaranto permanecieron 0 días libres de arvenses ($30,11 \text{ g planta}^{-1}$), es decir, las arvenses interfirieron durante todo el experimento. Mientras

que la mayor acumulación de biomasa se observó en las plantas que permanecieron libres de arvenses hasta los 105 DDE (176,71 g planta⁻¹) (Figura 10b).

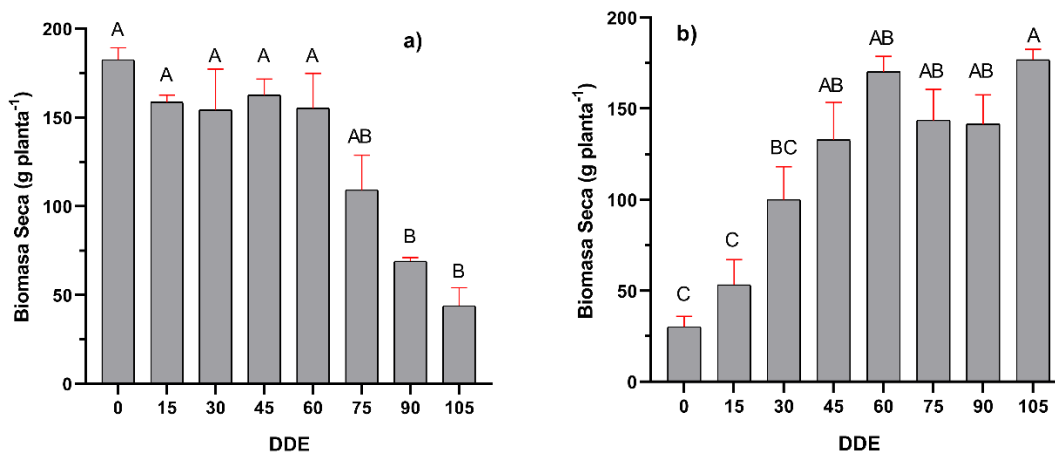


Figura 10. Biomasa seca de las plantas de amaranto bajo periodos sucesivos de: a) interferencia de arvenses; b) remoción de arvenses, las letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos mediante prueba de Tukey ($\alpha < 0,05$), las líneas barras rojas sobre las columnas representan el error estándar de las medias. DDE: días después de emergencia.

6.4.2 Número de granos

El número de granos por planta también fue afectado significativamente ($p < 0,001$) por los tratamientos de interferencia de arvenses, se logró mayor número de granos (96879 granos planta⁻¹) cuando las plantas permanecieron 0 días con arvenses y el menor promedio de granos (14134 granos planta⁻¹) corresponde al tratamiento en las que las arvenses interfirieron hasta los 105 DDE (Figura 11a). Una dinámica inversa se observó en los tratamientos libres de arvenses, donde el mayor número de granos (90144 granos planta⁻¹) se logró cuando el amaranto permaneció libre de arvenses hasta los 105 días y el menor número de granos (12073 granos planta⁻¹) se alcanzó cuando las parcelas permanecieron a los 0 días libre de arvenses; es decir, el cultivo convivió con las arvenses durante todo el experimento (Figura 11b).

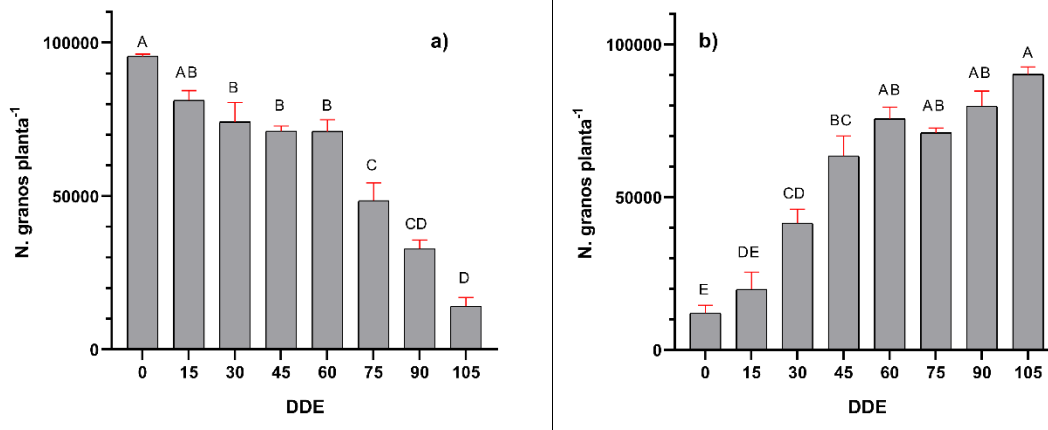


Figura 11. Número de granos por planta de amaranto bajo periodos sucesivos de: a) interferencia de arvenses; b) remoción de arvenses, las letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos mediante prueba de Tukey ($\alpha < 0,05$), las líneas barras rojas sobre las columnas representan el error estándar de las medias. DDE: días después de emergencia.

6.4.3 Peso de 1000 granos

El peso del grano es el otro componente principal del rendimiento, en el presente experimento el peso de 1000 granos no fue afectado por las arvenses en todos los tratamientos ($P > 0,05$); los valores variaron entre 1,02 y 1,05 g tanto en los periodos de interferencia de arvenses, así como, en los periodos libres de arvenses (Fig. 12).

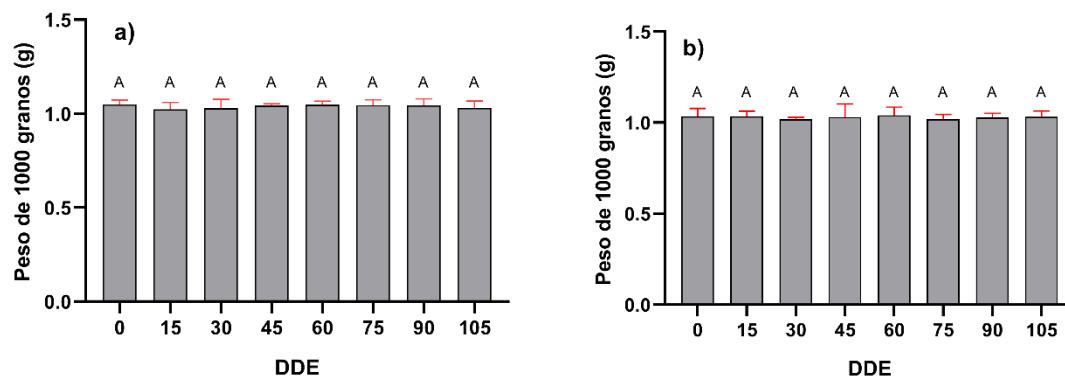


Figura 12. Peso de 1000 granos de amaranto bajo periodos sucesivos de: a) interferencia de arvenses; b) remoción de arvenses, las letras mayúsculas no indican diferencias significativas mediante prueba de Tukey ($\alpha < 0,05$), las líneas barras rojas sobre las columnas representan el error estándar de las medias. DDE: días después de emergencia.

6.4.4 Rendimiento

El rendimiento de grano del amaranto si fue influenciado por los tratamientos presentando diferencias significativas ($p < 0,001$). Se observó que mientras mayor fue el tiempo de interferencia de arvenses en el cultivo de amaranto, se incrementó la pérdida del rendimiento. En los tratamientos que permanecieron libre de arvenses durante todo el experimento se obtuvo el máximo rendimiento de ($6,37 \text{ t ha}^{-1}$) mientras que, aquellos que estuvieron conviviendo con las arvenses, el rendimiento descendió hasta $0,30 \text{ t ha}^{-1}$ y $0,37 \text{ t ha}^{-1}$ en los periodos sucesivos de interferencia y libre de arvenses, respectivamente (Figura 13).

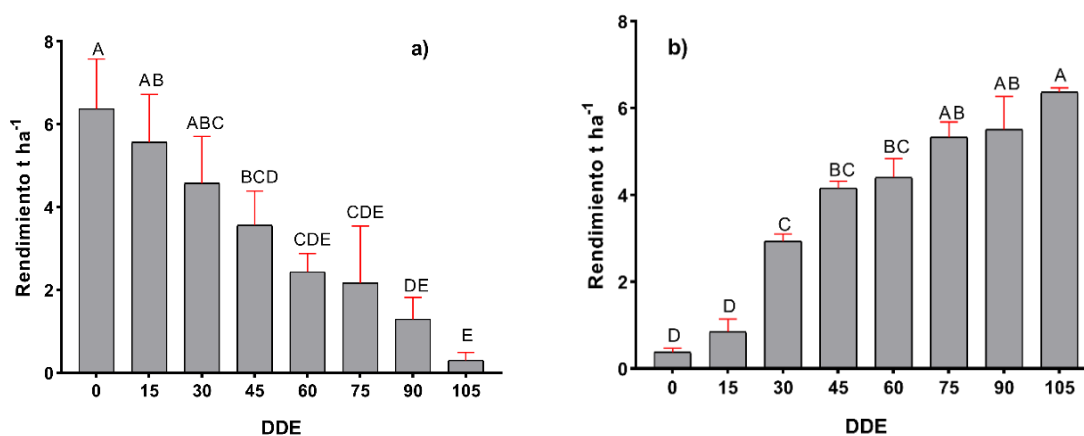


Figura 13. Rendimiento del grano expresado en t ha^{-1} de los tratamientos: a) interferencia de arvenses; b) remoción de arvenses, las letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos mediante prueba de Tukey ($\alpha < 0,05$), las líneas barras rojas sobre las columnas representan el error estándar de las medias. DDE: días después de emergencia.

6.4.5 Índice de cosecha.

El índice de cosecha presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) En los tratamientos con presencia de arvenses el mayor índice de cosecha se observó a los 0, 15 y 30 DDE; mientras que el menor índice de cosecha pertenece a los de 105 d con arvenses. Por otra parte, en los tratamientos sin interferencia de arvenses presentaron mejor índice de cosecha los de 75, 90 y 105 DDE, mientras que los tratamientos de 0 y 15 días sin arvenses presentaron menor índice de cosecha.

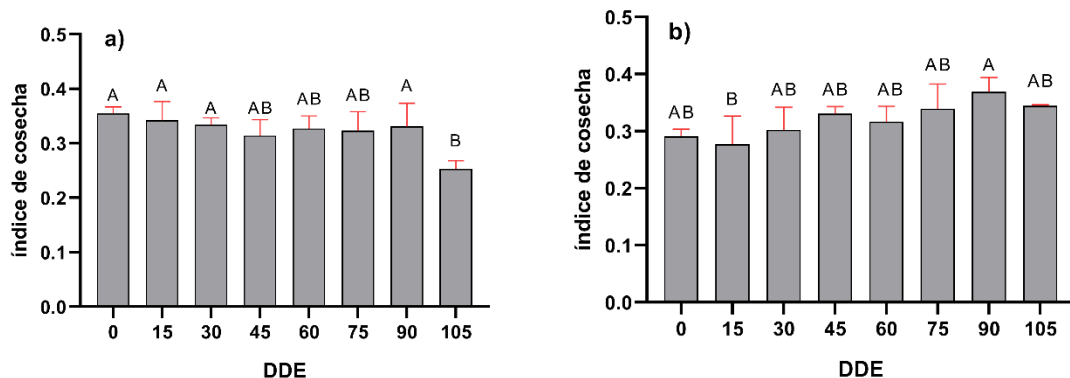


Figura 14. índice de cosecha a) interferencia de arvenses; b) remoción de arvenses, las letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos mediante prueba de Tukey ($\alpha < 0,05$) las líneas barras rojas sobre las columnas representan el error estándar de las medias. DDE: días después de emergencia.

6.4.6. Relación entre el rendimiento y la biomasa, número de granos y peso de granos.

El rendimiento se relacionó fuertemente con la biomasa y número de granos mostrando un $R^2 = 0,94$ y $0,99$ respectivamente, de este modo, a medida que aumenta la biomasa y el número de granos el rendimiento final del grano se incrementa significativamente. Por otro lado, la asociación con el peso de 1000 granos no es significativa ($R^2 = 0,04$) ya que este se mantiene estable conforme aumenta o disminuye el rendimiento (Figura 13).

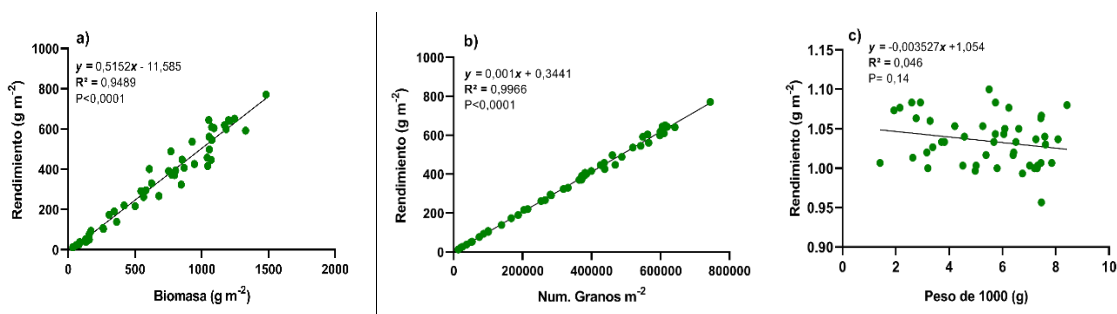


Figura 15. Relación lineal del rendimiento en función de: a) Biomasa; b) Número de granos y c) Peso de 1000 granos.

4.5 Periodo crítico de interferencia de arvenses (PCIA) en el amaranto

El periodo crítico de interferencia de arvenses se determinó mediante el ajuste de los puntos de rendimiento relativos al control (%), usando una ecuación logística para los tratamientos de interferencia de arvenses y el modelo de Gompertz para los tratamientos libres de arvenses. El PCIA en el amaranto “alegría” para evitar pérdidas superiores al 5 % se identificó entre los 6 y 75 DDE, correspondientes a las etapas fenológicas de aparición de

los cotiledones a través del suelo (BBCH 9) y la inflorescencia visible (BBCH 59), respectivamente. También se identificó el PCIA para evitar pérdidas de rendimiento superiores al 10 %, aquí el PCIA se encuentra entre los 10 y 65 DDE, que corresponde a las etapas fenológicas de aparición del primer par de hojas verdaderas (BBCH 11) y finaliza cuando la panícula es visible desde los lados (BBCH 52) (Figura 16).

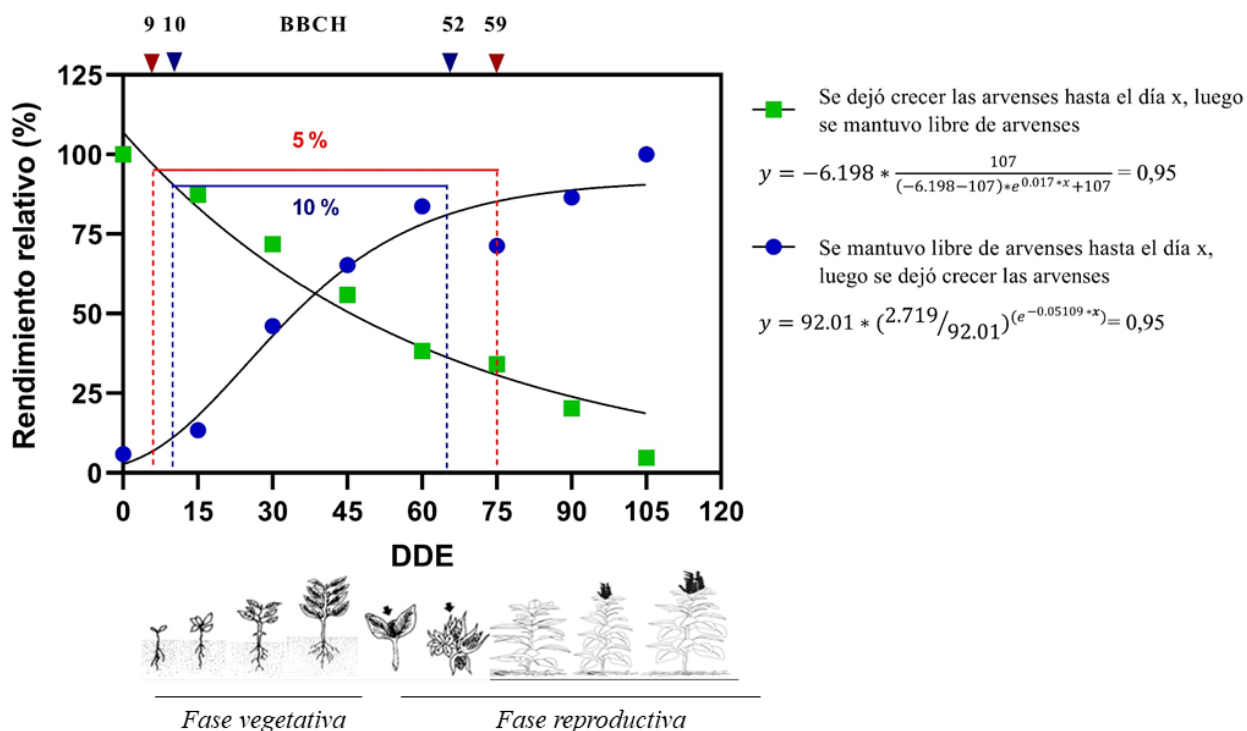


Figura 16. Efecto de los periodos de control de arvenses en el rendimiento de amaranto, el periodo crítico libre de arvenses para alcanzar el 95 % de rendimiento se muestran entre las líneas punteadas de color rojo y para alcanzar el 90 % en líneas punteadas de color azul.

6.6 Análisis de correlación entre las variables

El rendimiento obtuvo altas correlaciones positivas con el número de granos ($r = 0,99$; $p < 0,0001$) y la biomasa seca del amaranto ($r = 0,97$; $p < 0,0001$); en contraste con el peso de 1000 granos que obtuvo una correlación no significativa ($r = -0,067$; $p = 0,64$). Además, la biomasa seca del amaranto presentó una alta correlación positiva con el número de granos ($r = 0,97$; $p < 0,0001$); podemos agregar las correlaciones positivas de nivel medio entre el IC con el rendimiento ($r = 0,59$; $p < 0,0001$), con la biomasa seca ($r = 0,44$; $p < 0,001$) y con el número de granos ($r = 0,59$; $p < 0,0001$); la altura con el rendimiento ($r = 0,67$; $p < 0,0001$)

con la biomasa ($r = 0,66$; $p < 0,0001$) con el número de granos ($r = 0,68$; $p < 0,0001$) y con el IC ($r = 0,46$; $p < 0,001$).

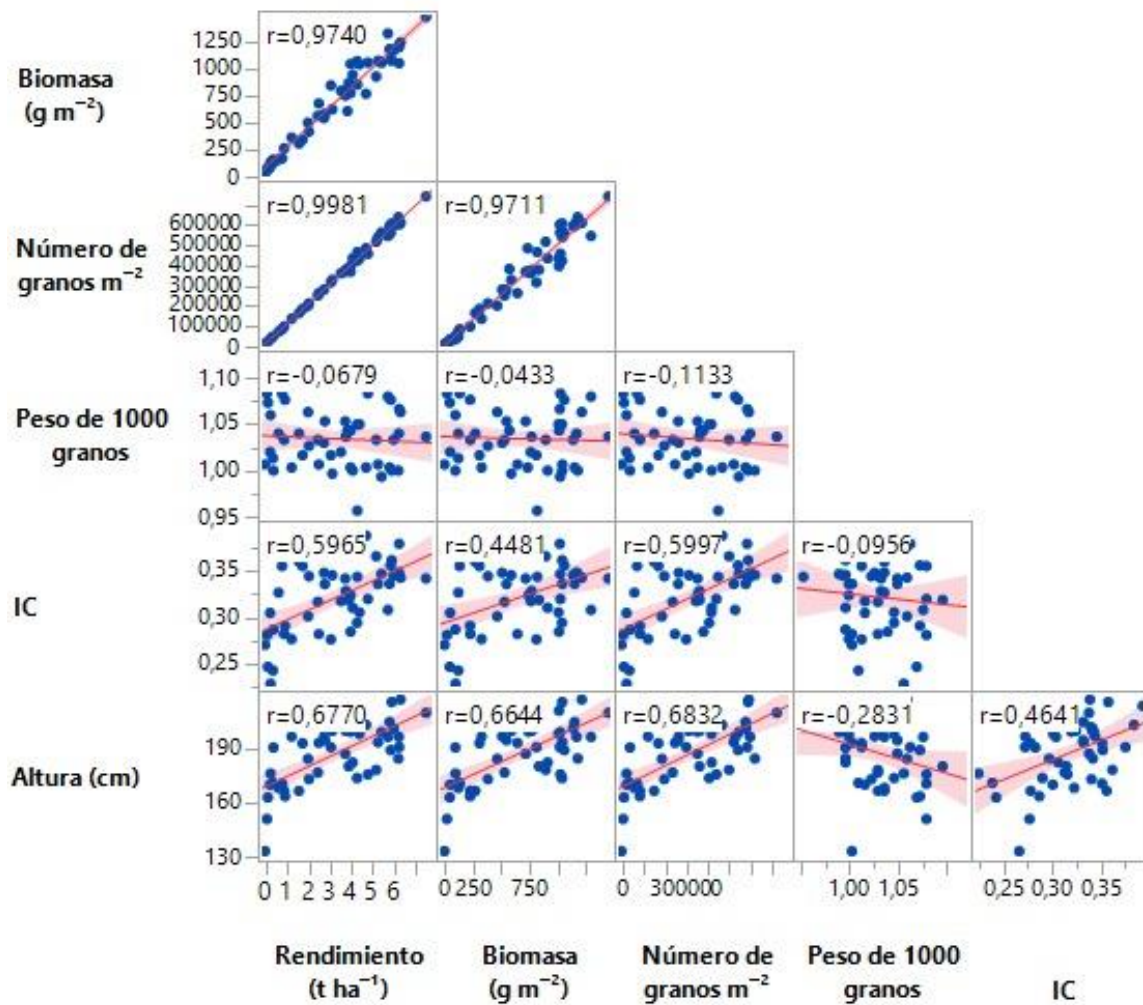


Figura 17. Correlaciones entre variables relacionadas al rendimiento y sus componentes.

7. DISCUSIÓN

El presente estudio se realizó con la finalidad de conocer el periodo crítico de interferencia de arvenses en el Amaranto (*Amaranthus caudatus* L), la identificación de este periodo es importante para realizar el control de arvenses bajo un criterio técnico, con el propósito de hacer eficiente el proceso productivo de este importante cultivo andino.

Las plantas de *Amaranthus caudatus* L cumplieron su ciclo fenológico a los 189 días después de la siembra (DDS), de acuerdo a la escala BBCH existen 9 estadios principales en el cultivo de amaranto que comprende desde el estado 0 que es la germinación hasta el estadio 9 de la senescencia, cada etapa principal se subdivide en etapas secundarias que describe detalladamente el desarrollo del amaranto; el estado vegetativo comprende desde la fase 0 hasta 3 que es toda la elongación del tallo y la reproductiva desde la etapa 4 en adelante (Martínez *et al.*, 2019).

Los días a panojamiento que comprende el inicio de la etapa reproductiva se produjo a los 75 DDS, mientras que, llegó a madurez fisiológica a los 178 DDS y finalmente a senescencia a los 189 DDS; el inicio de la etapa reproductiva difiere en algunos días con los datos reportados por Peralta *et al.*, (2012) quienes mencionan que el inicio de la etapa reproductiva está dentro de los 50 a 70 DDS y que la planta cumple su ciclo biológico desde los 150 a 180 días; en nuestro estudio se cumplió todo el ciclo a los 189 días, estas pequeñas diferencias en la duración del ciclo del cultivo pueden estar relacionadas con las diferencias de temperatura que experimenta los cultivos en los distintos ambientes, lo cual puede influir en la acumulación térmica.

La población de arvenses estuvo compuesta por 15 especies, dentro de las cuales las de mayor importancia relativa y más predominantes fueron las Magnoliopsidas representando el 89,38 % frente a 10,62 % que representan las Liliopsidas, siendo la familia Asteraceae la de mayor participación con el 64,99 % conformada principalmente por *Galinsoga quadriradiata* Ruiz y Pav y *Sigesbeckia serrata* DC.

Las especies y el número de individuos presentados en la tabla 3, dan muestra de la diversidad de especies que existe en el sitio de estudio, esta diversidad responde a las cuencas hidrográficas y gradientes altitudinales, cercanas al Bosque Nacional Podocarpus como

menciona Aguirre *et al.*, (2017). Además, las familias de arvenses descritas en esta investigación, se encuentran con mayor frecuencia en las zonas de vida propias de la provincia Loja: Páramo Andino, Bosques Montanos, Bosques Montanos de neblina (Lozano, 2002).

Estos mismos resultados concuerdan con los descritos por Zamorano *et al.*, (2008) en el cultivo de arveja, bajo condiciones climáticas similares a las del sector de estudio; reportaron que la población de arvenses consistió en 25 especies pertenecientes a 18 familias, las arvenses de la clase Magnoliopsida representaron el 80 % conformada por 16 familias y 20 especies, siendo la familia Asteraceae la de mayor participación con el 20 %.

Por otro lado, Nurse *et al.*, (2016) en su estudio realizado en Ontario, Canadá menciona que las arvenses presentes en el amaranto y quinua consistieron tanto en dicotiledóneas como en monocotiledóneas siendo las más dominantes *Digitaria sanguinalis*; *Panicum dichotomiflorum* y *Chenopodium album*, estas diferencias en los resultados podrían responder al hecho de que las arvenses generalmente difieren de acuerdo al sitio donde se encuentre el cultivo debido a las diferentes condiciones de clima y suelo.

La población de arvenses en el presente estudio en su mayoría se conformó de ciclo de vida anual, esto probablemente debido a sus características de rápida diseminación por su alta producción de semillas, resultan ser muy eficientes a la hora de competir en un terreno en comparación con las que se reproducen vegetativamente (Zamorano *et al.*, 2008).

La densidad de arvenses alcanzó los valores máximos entre los 30 y 45 días después de la emergencia (DDE) posteriormente disminuyó hasta los 105 DDE; este comportamiento puede deberse a que las arvenses compiten entre ellas, de tal manera que, las más dominantes alcanzan un mayor desarrollo, mientras que, las menos competitivas irán desapareciendo, es decir, el descenso en la densidad puede deberse a la competencia intra e interespecífica en la que la capacidad de la carga ambiental no pudo sostener a toda la población inicial de arvenses, por lo que las plantas restantes continuaron acumulando biomasa, permitiéndose continuar su ciclo vegetativo hasta madurez (Merino *et al.*, 2019).

Resultados similares fueron reportados por Villegas *et al.*, (2004) donde, el aumento de densidad de arvenses fue hasta los 45 DDE y declinó hasta el final del ciclo del cultivo. Por

otra parte, Singh *et al.*, (2016) en un estudio con guisantes informaron un incremento de densidad hasta los 60 DDE y luego una tendencia a la baja; coincidiendo con Merino *et al.*, (2019) quien en el cultivo de quinua también reportó la mayor cantidad de densidad de arvenses a los 60 DDE.

La disminución de las poblaciones de arvenses ocurrida después de los 45 DDE del cultivo puede deberse a que la mortalidad superó a la emergencia de las arvenses. Sin embargo, durante las primeras etapas del cultivo la densidad de arvenses podría estar favorecida por la mayor disponibilidad de recursos como espacio, agua, nutrientes y luz, lo que podría causar un incremento de la densidad y permitir la mayor germinación y emergencia de las mismas. En este contexto se puede decir que la densidad de las arvenses del amaranto se maximiza entre los 30 y 45 DDE, posteriormente existe una disminución de acuerdo a las condiciones ambientales y competencia entre ellas como se ha visto en otros cultivos (Villegas *et al.*, 2004; Singh *et al.*, 2016 y Merino *et al.*, 2019).

Por otra parte, la biomasa seca de las arvenses presentó diferencias significativas entre los tratamientos, la biomasa de arvenses fue mayor cuando las arvenses crecieron ininterrumpidamente hasta 105 DDE, en el cual se obtuvo el máximo valor de biomasa seca (634,53 g m⁻²). Estos resultados están de acuerdo con estudios previos reportados por Ahmadvand *et al.*, (2009) quienes indican el aumento de materia seca de arvenses (438,2 g m⁻²) hasta la cosecha en el cultivo de papa.

El incremento de la biomasa de arvenses evidentemente responde a que cuando no hay un control de arvenses, estas proliferan libremente y aumentan su peso seco por el aprovechamiento de los recursos disponibles en los espacios entre los surcos. En este sentido la densidad de siembra y el arreglo espacial del cultivo pueden influir en el crecimiento de arvenses. Los espacios abiertos entre los surcos permiten el incremento de la biomasa de arvenses; es así que, desde la emergencia del cultivo, existe una competencia de espacio en el suelo entre el amaranto y arvenses, dicha competencia se extendió durante el tiempo de interferencias de arvenses. Por lo tanto, el peso seco de las arvenses se ve afectado significativamente debido a la duración de la competencia entre el cultivo y las arvenses (Ahmadvand *et al.*, 2009 y Singh *et al.*, 2016).

La cobertura de arvenses también depende de los periodos de interferencia de arvenses, en el presente estudio se mostró que, si no se realiza desmalezamiento, las arvenses cubren casi en su totalidad la superficie del suelo (90 a 98 %) tempranamente a los 30 DDE, siendo las especies de la familia Asteraceae las más abundantes. Estudios en otros cultivos como la arveja (Zamorano *et al.*, 2008) también indican incremento de la cobertura vegetal de arvenses (83,75 %) sin embargo, esto está regulado por el ambiente, el cultivo principal, la densidad de siembra, entre otros factores. El incremento de cobertura con relación a los tratamientos con interferencia de arvenses se explica por la competencia que ejercen estas especies sobre el cultivo, además, la cobertura de las arvenses puede explicarse por el crecimiento natural de las especies que siguen su propio ciclo de desarrollo (Zamorano *et al.*, 2008).

En lo que respecta a altura de la planta, esta se vio influenciada por la interacción entre presencia de arvenses y la duración de la interferencia; los resultados muestran que las máximas alturas de planta se encontraron en los tratamientos sin arvenses (75 a 105 DDE) y la menor altura se encontró en el tratamiento con arvenses (hasta 105 DDE); esto puede deberse a que las arvenses generan competencia por recursos como agua, luz, espacio y nutrientes; de manera especial, en los primeros días de establecimiento y/o estadios de desarrollo, puesto que este cultivo es muy susceptible a la competencia, aunque, posteriormente, debido a su sistema de ramificaciones frondosa ahoga a las arvenses (Benites y Bot, 2013; Chamorro, 2019).

Por lo anterior, se puede señalar, que la altura es mayor mientras el cultivo permanezca más tiempo libre de arvenses; no obstante, el rango de la altura de las plantas de esta investigación (155,54 a 208,93 cm) son mayores a las mencionadas por Peralta, (2012) que en un reporte de la evolución del amaranto “Alegría” tras diez años de su liberación en el INIAP, presentó alturas de 70 a 180 cm y los descritos por Chamorro, (2019) que presentaron alturas hasta 163,52 cm.

Los rangos de mayor altura de esta investigación, pueden deberse a otros factores como el nivel de compactación del suelo y otros asociados al clima propio del lugar de estudio, ya que concuerdan con los factores en los que se adaptó esta variedad en el año de su liberación (1994), reflejando la gran plasticidad fenotípica que tiene este cultivo, el cual puede

modificar su altura en función del ambiente y la disponibilidad de recursos (Peralta, 2012; Chamorro 2019).

La biomasa seca de la parte aérea del amaranto y el número de granos fueron influenciados por los tratamientos con interferencia de arvenses y remoción de arvenses.

La biomasa vegetal del amaranto alcanzó los máximos valores cuando el cultivo estuvo libre de arvenses durante todo el experimento, mientras que en aquellos tratamientos donde las arvenses crecieron con el cultivo se alcanzó los menores valores de biomasa; estos resultados son apoyados por Merino *et al.*, (2019), los cuales mencionan una disminución de la biomasa conforme aumenta el tiempo de infestación de arvenses.

Por su parte, en el número de granos mostró la misma tendencia descrita en la biomasa del amaranto; argumento apoyado en base a estudios de quinua donde el número de granos aumenta al disminuir el periodo de interferencia de arvenses (Merino *et al.*, 2019); además Singh *et al.*, (2016) menciona que el número de granos se incrementa de acuerdo a la duración de los periodos de crecimiento sin arvenses y disminuyen con el aumento del periodo de infestación de arvenses;

La disminución de la biomasa seca y el número de granos del amaranto podría deberse a que las arvenses presentan una mayor capacidad de aprovechamiento de los recursos disponibles como agua, luz, CO₂, espacio y por la baja capacidad competitiva del cultivo principalmente en los primeros estadios de desarrollo, además estas pueden comportarse como hospederos de plagas y enfermedades que impiden el desarrollo natural del cultivo, por otra parte, también puede ocurrir por el efecto de sombra causado por las arvenses más altas que reducen la luz disponible para la fotosíntesis y por lo tanto, la producción de biomasa, resultando en componentes de rendimientos disminuidos. Este comportamiento indica que al efectuar el control de arvenses tempranamente, permite al cultivo un mayor aprovechamiento de los recursos, expresando su máxima productividad (Vasilakoglou y Dhima, 2012; Vera y Enciso, 2017; Merino *et al.*, 2019)

Los rendimientos del grano de amaranto alegría tuvieron diferencias en relación a los tratamientos con y sin interferencia de arvenses registrándose valores mínimos de 0,30 t ha⁻¹ en los tratamientos que se mantuvieron infestados hasta los 105 DDE y máximos de 6,37 t

ha⁻¹ en los que permanecieron libres de arvenses durante todo el ciclo. Nurse *et al.*, 2016 informa de pérdidas en el rendimiento en amaranto de acuerdo al mayor número de días de infestación de arvenses obteniendo valores mínimos de 0,3 t ha⁻¹ y máximos de 2,1 t ha⁻¹, por otra parte, Ramírez *et al.*, (2011), mencionan que el amaranto en condiciones adecuadas produce hasta 5000 kg ha⁻¹ no obstante, en el presente estudio el rendimiento máximo supera dichos datos, posiblemente debido al manejo agronómico óptimo que se dio a las parcelas controles de amaranto, por otro lado, el rendimiento se va a incrementar o disminuir de acuerdo a la competencia con arvenses, además que su producción está regulada por el comportamiento ante el ambiente (Guamán, 2012).

Las relaciones entre variables permiten determinar el grado de asociación entre variables.

En el presente estudio, el rendimiento del grano de amaranto tiene una alta asociación con la biomasa aérea seca y el número de granos. Los rendimientos se elevaron de acuerdo al mayor número de días que el cultivo se mantuvo libre de arvenses, por lo que se podría deber al mayor aprovechamiento de recursos que se van a destinar a los órganos vegetativos (raíces, tallos, hojas) produciendo mayor cantidad de biomasa, en consecuencia, mayor número de granos y por ende incrementos en el rendimiento (Satorre *et al.*, 2003)

De la biomasa total del cultivo, solo una parte está representada por el índice de cosecha que es la que finalmente compone el rendimiento, ya que, en madurez fisiológica, la partición de materia seca hacia granos o índice de cosecha refleja el número y actividad de los destinos reproductivos que fueron fijados (Satorre *et al.*, 2003). En el presente estudio el índice de cosecha (IC) se diferenció significativamente de los tratamientos con interferencia de arvenses y remoción de las mismas obteniéndose valores máximos de 0,35 y mínimos de 0,25, lo que sugiere que las arvenses disminuyen la eficiencia productiva en el amaranto.

Se informa que los valores de IC en amaranto, para algunas especies cultivadas para grano está entre el 0,1 y 0,15 (Díaz *et al.*, 2004), 0,23(Kaul *et al.*, 2005; Zubillaga, 2017), el índice de cosecha en el presente experimento superó estos valores, lo cual se refleja en los mayores rendimientos encontrados en esta tesis. El IC puede ser modificado por diferentes factores como el genotipo, manejo del cultivo, densidades de siembra en particular acortando la distancia de siembra, se logra una mayor cobertura del suelo por el dosel y, en consecuencia,

una mayor intercepción de la radiación, lo que se traduce en mayor producción de materia seca en el cultivo y en consecuencia mayor IC (Díaz *et al.*, 2004).

En cuanto a la relación del número de granos con el rendimiento, es el componente más estrechamente asociado al rendimiento y más sensible a la influencia del ambiente, dicho componente depende de la morfogénesis de estructuras reproductivas (determinante del número de granos potenciales) y de la fijación de flores fertilizadas; por lo tanto, el incremento en el rendimiento puede estar dado por un mayor número de panículas por m², mayor número de semillas por m² manifestado por la producción de biomasa y el índice de cosecha (Satorre *et al.*, 2003; Villegas *et al.*, 2004) dichas asociaciones entre el rendimiento y sus componentes son corroborados por las correlaciones presentadas en la figura 17.

De los componentes del rendimiento el peso de 1000 granos fue el menos afectado por las arvenses, de modo que esta variable no se relaciona significativamente con el rendimiento, ya que, las plantas que estuvieron expuestas a un período más largo de interferencia de arvenses respondieran formando solo la cantidad de granos que pudieron llenar (Merino *et al.*, 2019). Además, esta variable es dependiente del genotipo y de las condiciones ambientales que determinan la capacidad de fotosíntesis del conopeo y la duración de la etapa de llenado (Satorre *et al.*, 2003).

El periodo crítico de interferencia de arvenses comenzó en el día 6 posterior a la emergencia que comprende a la etapa fenológica de la aparición de los cotiledones a través del suelo y terminó en el día 75 que comprende a la fase de la inflorescencia visible, después de lo cual los rendimientos se mantuvieron al 95 % respecto al control libre de arvenses. De igual manera, para mantener el 90 % del rendimiento del grano de amaranto el inicio del periodo comenzó en el día 10 después de la emergencia que corresponde a 2 hojas verdaderas y terminó en el día 65 perteneciente a la panícula visible desde los lados. Estos resultados difieren totalmente con los encontrados por Nurse *et al.*, (2016) quienes mencionan que de acuerdo a su investigación y resultados obtenidos el PCIA en el amaranto está dentro de los primeros 24 DDE.

La diferencia del PCIA podría estar dada por que, el estudio de Nurse *et al.*, (2016) se realizó en condiciones muy distintas a las que experimentan los cultivos crecidos en ambientes de valles interandinos del Ecuador, difiriendo en variables climáticas como

temperatura, precipitación, humedad etc., tipo de suelo, especies de arvenses dominantes, entre otros, así como, los genotipos de amaranto. Por otra parte, en dicho estudio no se evaluó el inicio del periodo crítico, ya que según Knezevic *et al.*, (2002) para determinar este periodo es necesario medir el intervalo de tiempo de dos componentes: 1) la cantidad máxima de tiempo que el cultivo puede tolerar la competencia de arvenses al inicio de la temporada antes de que el cultivo sufra pérdida irrecuperable en el rendimiento; y 2) el periodo mínimo libre de arvenses desde el momento de la siembra para evitar pérdidas en el rendimiento.

Por otro lado, Merino *et al.*, (2019) en el estudio de quinua determinó el periodo crítico entre 10 y 75 DDE, los cuales coinciden con los resultados obtenidos en el ensayo, ya que, la quinua al ser un cultivo cercano filogenéticamente al amaranto este periodo podría tener algunas similitudes. Además, se utilizó un nivel de pérdida aceptable para el rendimiento del 5 y 10 %, dichos niveles se pueden ajustar dependiendo de varios factores de interés como costo de control de arvenses, ganancia financiera anticipada y precio del mercado del cultivo (Knezevic y Datta, 2015).

8. CONCLUSIONES

Se obtuvo un buen desempeño agronómico del cultivo de amaranto bajo condiciones agroclimáticas del experimento, se alcanzó un rendimiento potencial de grano de 6,37 t ha⁻¹, superando ampliamente el promedio nacional, esto demuestra que este cultivo puede ser una buena opción para diversificar la producción de granos en la provincia de Loja.

Existieron 15 especies de arvenses que proliferaron en el cultivo de amaranto, 89,36 % fueron dicotiledóneas y 10,62 % monocotiledóneas, de las cuales la pacunga (*Galinsoga quadriradiata* Ruiz y Pav), sachá jícama (*Sigesbeckia serrata* DC.) y el nabo silvestre (*Brassica rapa* L.) se presentaron con mayor frecuencia en los tratamientos que permanecieron infestados de arvenses por tiempos más prologados.

La mayor densidad y cobertura de las arvenses se alcanzó a los 30 DDE que corresponde al estado fenológico BBCH 14 (ocho hojas visibles), mientras que la acumulación de biomasa de arvenses se incrementó con mayor rapidez hasta los 65 DDE y se prolongó hasta 105 DDE.

El estrés causado por las arvenses provocó pérdidas del rendimiento del amaranto de hasta 95 %, que fue explicado por la disminución de la acumulación de biomasa vegetal (75,16 %) y del número de granos (84,32 %), sin embargo, no afectó el peso de los granos.

El periodo crítico de inferencia de arvenses para evitar pérdidas en el rendimiento de grano superiores al 5 % fue determinado entre los 6 y 75 DDE, que corresponde al estado fenológico de la aparición de los cotiledones a través del suelo (BBCH 9) hasta el desarrollo de la inflorescencia (BBCH 59).

El periodo crítico de inferencia de arvenses para evitar pérdidas en el rendimiento de grano superiores al 10 % fue determinado entre los 10 y 65 DDE, que corresponde al estado fenológico aparición del primer par de hojas verdaderas (BBCH 11) hasta cuando la panícula es visible desde los lados (BBCH 52).

9. RECOMENDACIONES

Repetir el experimento bajo las mismas condiciones de la zona de estudio para verificar los resultados.

Realizar estudios similares en distintas zonas geográficas del país para extrapolar los resultados a los diferentes lugares donde se produce amaranto.

Estudiar el efecto de la densidad de siembra y fecha de siembra sobre el periodo crítico de interferencia de arvenses

Evaluar los efectos de la interferencia de arvenses sobre la calidad del grano.

Evaluar métodos y estrategias de control de arvenses durante el periodo crítico de interferencia de arvenses orientados a facilitar el trabajo de los agricultores dedicados a cultivar amaranto.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Adhikary, D., Khatri, U., y Slaski, J. (2020). Amaranth: An Ancient and High-Quality Wholesome Crop. *Nutritional Value of Amaranth*. <https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.88093>
- Aguirre, Z., Aguirre, N., y Muñoz, J. (2017). Biodiversidad de la provincia de Loja, Ecuador. *Arnaldoa*, 24(2), 523–542. <https://doi.org/10.22497/ARNALDOA.242.24206>
- Ahmadvand, G., Mondani, F., y Golzardi, F. (2009). Effect of crop plant density on critical period of weed competition in potato. *Scientia Horticulturae*, 121(3), 249–254. <https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2009.02.008>
- Arteaga, E., y Rosales, M. (2018). *Determinación de etapas fenológicas florales de chia (Salvia hispanica L.), quinua (Chenopodium quinoa) y amaranto (Amaranthus sp. L) en la zona de Nono* [Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas]. <http://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/10270/1/UDLA-EC-TIAG-2018-48.pdf>
- Batidas, M. (2017). *Evaluación del efecto de tres sistemas de siembra en el rendimiento de dos variedades de amaranto (Amaranthus quitensis) y (Amaranthus hypochondriacus)* [Universidad Técnica de Ambato]. [https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25031/1/Tesis-151 Ingeniería Agronómica -CD 465.pdf](https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25031/1/Tesis-151%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-CD%20465.pdf)
- Benites, J., y Bot, A. (2013). *Agricultura de conservación. Una práctica innovadora con beneficios económicos y medioambientales Documento - ACUEDI*. <http://www.acuedi.org/doc/9866/agricultura-de-conservacin-una-prctica-innovadora-con-beneficios-econmicos-y-medioambientales.html>
- Blanco, Y. (2016). EL rol de las arvenses como componente en la biodiversidad de los agroecosistemas. *Cultivos Tropicales*, 37(4), 34–56. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10964.19844>
- Blanco, Y., y Leyva, A. (2007). Las arvenses en el agroecosistema y sus beneficios agroecológicos como hospederas de enemigos naturales. *Cultivos Tropicales*, 28(2), 21–28. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193217731003>

- Blanco, Y., Leyva, Á., y Castro, I. (2014). *Determinación del período crítico de competencia de arvenses en el cultivo del maíz (Zea mays, L.)*. INCA. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362014000300007
- Carmona, W., y Orsini, G. (2010). Sinopsis del subgénero amaranthus (*Amaranthus*, amaranthaceae) en Venezuela. *Acta Botánica Venezuelica*. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0084-59062010000200009
- Chamorro, F. (2019). *Evaluación del amaranto (Amaranthus caudatus L.) en dos sistemas de labranza con cuatro niveles de fertilización nitrogenada*. [Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/20179/1/T-UCE-0004-CAG-170.pdf>
- Di Rienzo, J., Balzarini, M., Gonzalez, L., y Casanoves, F. (2010). *Infostat - Software estadístico*. <https://www.infostat.com.ar/index.php?mod=page&id=34>
- Díaz, A., Escalante, A., Santos, T., Sánchez, P., Sánchez, C., y Moreno, D. (2004). Rendimiento, eficiencia agronómica del nitrógeno y eficiencia en el uso del agua en amaranto en función del manejo del cultivo. *Publicado En Terra Latinoamericana*, 22, 109–116.
- Espitia, E., Mapes, E., Núñez, C., & Escobedo, D. (2010). Distribución geográfica de las especies cultivadas de *Amaranthus* y de sus parientes silvestres en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 1(3). http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342010000300011
- FAO. (2014). *Producción del cultivos*. <http://www.fao.org/3/a-bp851s.pdf>
- FAO. (2017). *¿Qué es la maleza y por qué es mala?* Recursos Naturales. <https://www.hablemosdelcampo.com/que-es-la-maleza-y-por-que-es-mala/>
- FDM. (2006). *Table curve* 2D. [http://dSPACE.esoch.edu.ec/bitstream/123456789/2195/1/13T0740 .pdf](http://dSPACE.esoch.edu.ec/bitstream/123456789/2195/1/13T0740.pdf)
- Gabriel, L., Hernández, B., Peña, V., Torres, N., Espinoza, V., y Ramírez, L. (2018). Current and potential uses of Amaranth (*Amaranthus* spp.). *Journal of Negative and No Positive*

Results, 3(6), 423–436. <https://doi.org/10.19230/jonnpr.2410>

- Gozález, L. (2016). *Análisis de la producción del amaranto en el cantón Cotacachi periodo 2012-2015 y posible exportación al mercado de Alemania* [Universidad de Guayaquil]. http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/13814/1/Gonzalez_Liliana_final.pdf
- Grandes, G. (2015). "CGrandes, G. (2015). "Caracterización morfológica y evaluación agronómica de 8 líneas de amaranto (*Amaranthus* sp.) provenientes de Rusia [Universidad Técnica De Cotopaxi]. <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/2538/1/T-UTC-00074.pdf>
- Guamán, L. (2012). *Evaluación del potencial de rendimiento de una variedad y dos líneas de amaranto (Amaranthus spp.), en dos sistemas de siembra manual y mecánico en el cantón el Tambo, Provincia del Cañar* [Escuela Superior Politécnica De Chimborazo]. [http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/2195/1/13T0740 .pdf](http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/2195/1/13T0740.pdf)
- Haidar, L. (2012). *Malezas de difícil control, su impacto en las empresas agrícolas*. Congreso Aapresid. http://www.aapresid.org.ar/wp-content/uploads/sites/3/2013/02/impacto_en_las_empresas-haidar.pdf
- INIAP. (2014). *Amaranto*. <http://tecnologia.iniap.gob.ec/index.php/explore-2/mgranos/ramaranto>
- Intagri. (2017). *Período Crítico de Competencia en los Cultivos | Intagri S.C.* Artículos Técnicos de INTAGRI. <https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/periodo-critico-de-competencia-en-los-cultivos>
- Jiménez, E. (2017). *Caracterización morfológica, física y fenológica de cuatro variedades de amaranto (Amaranthus sp.) Para las condiciones meteorológicas del cantón Cevallos* [Universidad Técnica de Ambato]. [https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25899/1/Tesis-162 Ingeniería Agronómica -CD 490.pdf](https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/25899/1/Tesis-162%20Ingeniería%20Agronómica%20-CD%20490.pdf)
- Jiménez, L., González, M., Bastidaz, M., y Decker, F. (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*, vol.6 no.2.

http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2308-38592018000200005&lng=es&nrm=iso&tlng=es

- Kaul, H., Kruse, M., y Aufhammer, W. (2005). Yield and nitrogen utilization efficiency of the pseudocereals amaranth, quinoa, and buckwheat under differing nitrogen fertilization. *European Journal of Agronomy.*, 22(1), 95–100. <https://doi.org/10.1016/J.EJA.2003.11.002>
- Knezevic, S., & Datta, A. (2015). The Critical Period for Weed Control: Revisiting Data Analysis. *Weed Science.* <https://doi.org/10.1614/WS-D-14-00035.1>
- Knezevic, S., Evans, S., Blankenship, E., Van Acker, R., Lindquist, J., Knezevic, S., Evans, S., Blankenship, E., y Van Acker, R. (2002). *Critical period for weed control: the concept and data analysis.* <https://digitalcommons.unl.edu/agronomyfacpub/407>
- Labrada, L., y Parker, C. (1996). *El control de malezas en el contexto del manejo integrado de plagas.* FAO. <http://www.fao.org/3/t1147s05.htm#período crítico de la competencia de malezas y umbrales econ&oacut>
- López, C. (2011). *Variación en rendimiento de grano y número de granos en cebada bajo tres condiciones de humedad del suelo.* scielo.org.mx/pdf/tsa/v14n3/v14n3a17.pdf
- Lozano, P. (2002). *Medicinal plants and their ecology in Northern Peru and Southern Ecuador View project.* <https://www.researchgate.net/publication/233936622>
- Martínez, A., y Leyva, A. (2014). La biomasa de los cultivos en el oecosistema. Sus beneficios agroecológicos. *Cultivos Tropicales*, 35(1). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362014000100002
- Martínez, N., Ruiz, R., Vera, H., Bernal, M., Suárez, L., y Rosas, C. (2019). 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>
- Merino, J., Pedreros, A., Fischer, S., y López, M. D. (2019). Critical period of weed interference on total polyphenol content in quinoa. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 79(3), 405–414. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392019000300405>

- Monteros, C., Nieto, C., Caicedo, C., Rivera, M., y Vimos, C. (1994). “INIAP-ALEGRIA” *Primera variedad mejorada de Amaranto para la Sierra Ecuatoriana*.
<https://repositorio.iniap.gob.ec/jspui/bitstream/41000/141/1/iniapscb246.pdf>
- Mujica, A. (1997). *El cultivo de amaranto (Amaranthus spp.)*. FAO.
http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/segalim/prodalim/prodveg/cdrom/contenido/libro01/Cap5.htm#Cuad7
- Nurse, R. ., Obeid, K., y Page, E. R. (2016). Optimal planting date, row width, and critical weed-free period for grain amaranth and quinoa grown in Ontario, Canada. *Canadian Journal of Plant Science*, 96(3), 360–366. <https://doi.org/10.1139/cjps-2015-0160>
- Palau, H., Senesi, S., Moggi, L., y Ordóñez, I. (2013). *Impacto económico macro y micro de malezas resistentes en el agro argentino*.
https://www.adama.com/documents/345258/345805/Libro-Digital-ADAMA-FAUBA-150422_tcm41-61105.pdf
- Peralta, I. (2012). *El amaranto en el Ecuador “Estado del arte.”* Quito- Ecuador: INIAP.
<https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/3259/1/iniapscCD53.pdf>
- Peralta, M., Murillo, Á., Rivera, M., Rodríguez, D., Lomas, L., y Carlos, M. (2012). Manual agrícola de granos andinos: chocho, quinua, amaranto y ataco. *Quito, Ecuador: INIAP, 151*. www.iniap.gob.ec
- Ramírez, L., Espitia, E., Carballo, A., Bautista, R., Huerta, H., y Córdova, L. (2011). *Fertilización y densidad de plantas en variedades de amaranto (Amaranthus hypochondriacus L.)*. Scielo.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342011000600005
- Ríos, A. (2010). *Evaluación de la calidad y germinación en genotipos de Amaranto (Amaranthus sp.)*. [Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro División de Agronomía].
[http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1458/EVALUACION%20DE%20CALIDAD%20DE%20VIGOR%20Y%20GERMINACION%20EN%20GENOTIPOS%20DE%20AMARANTO%20\(Amaranthus%20spp.\)..pdf?sequence=1](http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1458/EVALUACION%20DE%20CALIDAD%20DE%20VIGOR%20Y%20GERMINACION%20EN%20GENOTIPOS%20DE%20AMARANTO%20(Amaranthus%20spp.)..pdf?sequence=1)

- Rios, D., Britto, R., y Delgado, H. (2011). Evaluation of yield and its components in barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes differentiated for spike and kernel types. In *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient* (Vol. 14, Issue 2).
- Saldaña, M. (2018). *Parientes silvestres potenciales para el mejoramiento de *Amaranthus caudatus* L. "Kiwicha" en el Perú, 2017-2018*. [Universidad Nacional de Trujillo]. [http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/10915/Saldaña Miguel Ivan.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/10915/Saldaña%20Miguel%20Ivan.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Singh, M., Kumar, R., Kumar, S., y Kumar, V. (2016). Critical period for weed control in field pea. *Legume Research*, 39(1), 86–90. <https://doi.org/10.18805/LR.V0IOF.6787>
- Syngenta. (2019). *Determinantes del rendimiento*. <https://www.syngenta.com.ar/determinantes-del-rendimiento-1>
- Urquijo, J. (2015). *Greenapps&web | Calcula el porcentaje de cubierta vegetal con Canopeo - Greenapps&web*. <https://www.greenappsandweb.com/android/calcula-el-porcentaje-de-cubierta-vegetal-con-canopeo/>
- Vasilakoglou, I., y Dhima, K. (2012). Competencia de los guisantes frondosos y semidesnudos con la avena silvestre de invierno afectada por la densidad de las malezas | Solicitar PDF. *Field Crops Research*, 126, 130–136. https://www.researchgate.net/publication/230787907_Leafy_and_semi-leafless_field_pea_competition_with_winter_wild_oat_as_affected_by_weed_density
- Vera, P., y Enciso, C. (2017). Critical period of weed interference in carrot crop. *ARTÍCULO CIENTÍFICO 77 Investig. Agrar*, 19(2), 77–85. <https://doi.org/10.18004/investig.agrar.2017.diciembre.77-85>
- Villegas, C., Díaz, M., Castro, C., y Reyes, A. (2004). Agricultura Técnica en México. *Agricultura Técnica En México*, 30(2), 223–234. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60830208>
- Zamorano, C., López, H., y Alzate, G. (2008). Evaluación de la competencia de arvenses en el cultivo de arveja (*Pisum sativum*) en Fusagasugá, Cundinamarca (Colombia). *Agronomía Colombiana*, 26(3), 443–450.

<https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/11476>

Zubillaga, M. (2017). *Comportamiento del cultivo de amaranto en el Valle Inferior del Río Negro, Argentina. Optimización de las condiciones del cultivo* [Universidad Nacional del Sur]. [http://repositoriodigital.uns.edu.ar/bitstream/123456789/4132/1/Tesis Zubillaga.pdf](http://repositoriodigital.uns.edu.ar/bitstream/123456789/4132/1/Tesis_Zubillaga.pdf)

11. ANEXOS

11.1 Anexo 1. Cálculos de fertilización

11.1.1 Nitrógeno (N)

Cálculo de requerimiento del cultivo por hectárea:

$$x = \frac{(MR * Ne) - (Nm + Ni)(Ef)}{Ef}$$

$$x = \frac{(3 * 91,11) - (23 + 17)(0,6)}{0,6}$$

$$x = 415,55 \text{ kg/ha}$$

Cálculo de N para el ensayo (192 m²):

$$415,55 \text{ kg/ha} \quad 10000 \text{ m}^2$$

$$x \quad 192 \text{ m}^2$$

$$x = 8 \text{ kg de N}$$

11.1.2 Fósforo (P)

Requerimiento del cultivo: **80 kg/ha** (No se requiere dosis de corrección)

Requerimiento de P para el ensayo (192 m²):

$$80 \text{ kg/ha} \quad 10000 \text{ m}^2$$

$$x \quad 192 \text{ m}^2$$

$$x = 1,6 \text{ kg de P}_2\text{O}$$

11.1.3 Potasio (K)

Déficit de K:

$$Df K = CIC * (\%Deficit/100) * 390$$

$$Df K = 24 \text{ kg/ha K}$$

Requerimiento del cultivo más dosis de corrección: **300 kg/ha**

Requerimiento de K para el ensayo (192 m²):

$$300 \text{ kg/ha} \quad 10000 \text{ m}^2$$

$$x \quad 192 \text{ m}^2$$

$$x = 5,76 \text{ kg de K}_2\text{O}$$

11.1.4 Cálculo de fertilizantes

11.1.4.1 Súper fosfato triple (SFT):

$$46 \text{ kg P}_2\text{O} \quad 100 \text{ kg SFT}$$

$$1,6 \text{ kg P}_2\text{O} \quad x$$

$$x = 3,48 \text{ kg de Súper fosfato triple}$$

11.1.4.2 Nitrato de potasio (NP):

$$44 \text{ kg de K}_2\text{O} \quad 100 \text{ kg de NP}$$

$$5,76 \text{ kg de K}_2\text{O} \quad x$$

$$x = 13 \text{ kg de Nitrato de potasio}$$

Aporte de Nitrógeno:

$$13 \text{ kg de N} \quad 100 \text{ kg NP}$$

$$x \quad 13 \text{ kg NP}$$

$$x = 1,69 \text{ kg de N}$$

11.1.4.3 Urea:

$$46 \text{ kg N} \quad 100 \text{ kg de Urea}$$

$$x \quad 46\%$$

$$x = 20,71 \text{ kg de P}_2\text{O}$$

Requerimiento de N – aporte de Nitrato de potasio = 6,31 kg de N

46 kg de N 100 kg de Urea

6,31 kg de N x

$x = 13,71$ kg de Urea

Tabla 6. Resumen de las dosis de fertilizante

Elemento	Dosis por hectárea	Dosis para el ensayo (192 m²)	Cantidad de Fertilizante (192 m²)
N	415,55 kg	8 kg	13,71 kg de Urea
P₂O	80 kg	1,6 kg	3,48 kg de Súper fosfato triple
K₂O	300 kg	5,76 kg	13 kg de Nitrato de K

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 Teléf.: 023828860 Ext. 2080	PGT/SFA/09-FO01
	INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO	Rev. 5
		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		

Analizado por: Daniel Bedoya, Katty Pastás

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha. Está prohibida la reproducción parcial de este informe.

¹ Datos suministrados por el cliente: el laboratorio no se responsabiliza por esta información.

 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
	INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO	Rev. 5 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, Foliare y Aguas


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


AGROCALIDAD
 DGA
 19 AGO 2020



Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha. Está prohibida la reproducción parcial de este informe.

¹ Datos suministrados por el cliente: el laboratorio no se responsabiliza por esta información.

11.3 Anexo 3. Escala de fenología BBCH del amaranto

Tabla 7. Etapas de crecimiento fenológico del amaranto

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
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 e inflorescencia axilar	60	Comienzo de la antesis: flores de la inflorescencia principal con las primeras anteras extruidas (floración acropeta) PRIMERA FLOR ABIERTA
	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) PRIMERAS SEMILLAS VISIBLES
	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

11.4 Anexo 4. Evidencias fotográficas



Figura 18. Preparación del terreno



Figura 19. Levantamiento de camas



Figura 20. Encalamiento de parcelas



Figura 21. Siembra del amaranto



Figura 22. Deshierbe del cultivo



Figura 23. Fertilización del cultivo



Figura 24. Toma de altura



Figura 25. Evaluación de arvenses



Figura 26. Registro de datos



Figura 27. Seguimiento del ensayo



Figura 28. Corte y enfundado de muestras



Figura 29. Secado de muestras



Figura 30. Pesaje de muestras



Figura 31. Peso de granos



Figura 32. Peso de 1000 granos



Figura 33. Semillas de amaranto alegría