

# 1. INTRODUCCIÓN

En el continente americano y en el Ecuador particularmente existen abundantes recursos vegetales autóctonos con alto contenido de proteínas que no son aprovechados por la población actual y que en algún momento fueron la base de la alimentación en los pueblos aborígenes de la Región Andina en los países de lo que actualmente se llama Ecuador y Perú (Andrade, 2006)

El amaranto, la quinua, el sangorache, son plantas que en algunos casos crecen de manera silvestre, en muchas regiones de la serranía ecuatoriana, y otras han sido seleccionadas y se emplean en la dieta alimenticia, pero de manera muy irregular. Las costumbres alimentarias de la sociedad actual han olvidado estos valiosos cultivos y su consumo. Esta situación evidencia una de las causas de la pérdida de oportunidades para generar recursos que los agricultores requieren y también mejorar la dieta alimenticia de la población ecuatoriana.

Países desarrollados tecnológicamente e industrialmente como Canadá y la vieja Europa, han incentivado el fomento de cultivos no tradicionales como el amaranto por su fácil ajuste a las condiciones climáticas, edáficas y sistemas de cultivo con

características parecidas a las de la quinua cuya exportación permitirá a los agricultores mejorar su situación socioeconómica.

La población imbabureña desconoce de la existencia de este producto por lo que su uso alimenticio es completamente restringido y los prejuicios sociales han ignorado que se trata de uno de los tesoros más valiosos heredados de las culturas precolombinas ya que los mestizos al amaranto lo han considerado como una comida de indígenas. Sin embargo existe gran interés de organizaciones internacionales para rescatar esta especie y del Departamento Nacional de Recursos Fitogenéticos (DENAREF) perteneciente al Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias que han logrado seleccionar y conservar material genético promisorio para emprender en la explotación de este producto.

Estudios realizados han permitido visualizar la factibilidad de producción de amaranto en cinco líneas experimentales como una alternativa para mejorar la nutrición en base a este vegetal por lo que se hace necesario identificar las variedades que mejor respondan a las condiciones medio ambientales de los tres pisos altitudinales propuestos en cuanto a productividad y periodo vegetativo permitiendo una rentabilidad adecuada a los agricultores que se dediquen a este tipo de explotación.

El presente trabajo de investigación busca dar a conocer las bondades nutritivas de del cultivo de amaranto, lo que permitirá mejorar las condiciones alimentarias de

la población ecuatoriana cuya dieta es pobre en proteínas, vitaminas y minerales de ahí la importancia académica del estudio.

La investigación sobre el cultivo del amaranto establecerá el comportamiento de cinco líneas experimentales en tres pisos altitudinales diferentes de la provincia de Imbabura, en cuanto a productividad y precocidad cuyos resultados podrán compararse con estudios realizados en la misma provincia.

En la actualidad, rescatar el cultivo de amaranto para incorporar en la dieta alimenticia contribuye a elevar el nivel de ingreso de los campesinos, rescatar la cultura ancestral y ofrecer alimentos de calidad a los consumidores, de esta manera se podrá diversificar la producción con cultivos no tradicionales y mejorar el nivel socioeconómico del campesino actual; ya que el aprovechamiento integral del cultivo de amaranto representa un potencial para convertirse en una actividad, productiva, atractiva a los mercados nacionales e internacionales.

Los cultivos tradicionales no aseguran la rentabilidad de los campesinos por la frecuente fluctuación de precios, la baja productividad, los cambios climáticos y altos costos de producción entre otros factores; el amaranto siendo un cultivo no tradicional tiene una alta demanda que asegurará la rentabilidad del agricultor porque no requiere altas inversiones y es de fácil adaptabilidad y laboreo, de ahí que su estudio tiene actualidad respecto a las proyecciones como país exportador de productos autóctonos.

El estudio contribuye a mejorar las técnicas de explotación agrícola de los cultivos nativos como es el caso del amaranto cuyos estudios son limitados es por eso que este trabajo tiene el carácter de original y constituye un aporte al conocimiento de las riquezas del germoplasma que dispone nuestro país.

## **1. Objetivos**

### **1.1. General:**

Analizar el comportamiento agronómico de cinco líneas experimentales de amaranto, *Amaranthus caudatus*, en tres localidades de la provincia de Imbabura: Caranqui, Urcuquí y Pucará.

### **1.2. Específicos:**

- Identificar cuál de las cinco líneas experimentales de amaranto responden mejor a cada uno de los pisos altitudinales en estudio.
- Establecer cuál de las tres localidades es la más apropiada para el cultivo de amaranto.
- Conocer el período vegetativo de las cinco líneas por cada localidad.
- Analizar cuál de las cinco líneas experimentales posee las mejores características en cuanto a rendimiento de grano.
- Determinar el costo de producción para una hectárea de amaranto.

### **1.3. HIPÓTESIS**

Al menos una de las cinco líneas experimentales de amaranto tiene respuesta diferente en las tres localidades.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Botánica

#### 2.1.1. Taxonomía

Existen dos grandes regiones hábitat para el cultivo de amaranto productores de grano. Una de ellas se extiende por la zona andina, desde el Ecuador hasta el norte argentino, con su centro principal en Perú. La segunda región de origen abarca el suroeste de los Estados Unidos y principalmente México y Guatemala. En la región genética andina se encuentra la especie *Amaranthus caudatus* y en México, Guatemala y Estados Unidos se encuentran las especies *A. cruentus* y *A. hypochondriacus* (Sumar, 1993).

**Cuadro 1.** Clasificación Sistemática del amaranto según la definición actual.

Reino:	Vegetal
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Subclase:	Cariophyllidae
Orden:	Cariophyllales
Familia:	Amaranthaceae
Especie:	<i>Amaranthus caudatus</i>

Sumar, 1993

Denominaciones y nombres vulgares: amaranto (español); amaranth (inglés), Kiwicha (Cusco, Perú), achita (Ayacucho, Perú), coyo (Cajamarca, Perú), achis (Huaraz, Perú), coimi, millmi e inca pachaqui o grano inca (Bolivia), sangorache, ataco, quinua de castilla (Ecuador), alegría y huanthi (México), rejgira, ramdana, eerai (India).

### **2.1.2. Morfología**

Planta ramificada de color verde claro, *raíz* de tipo axonomorfa y puede alcanzar una profundidad de 1,80 m, *tallo* redondo con aristas, con fibra elástica y esponjosa que le permite ceder sin romperse a la presión de vientos fuertes, *hojas* de forma ovaladas y alargadas con nervaduras pronunciadas en el envés, la coloración del haz es variable de acuerdo al ecotipo y puede ser verde-amarillento, verde-intenso, rojo o púrpura, *panoja* de colores variados como amarillo, rojo, púrpura, dorado, esta inflorescencia toma diferentes actitudes frente al tallo como: decumbente, semierecto y erecto, *flores* unisexuales, *fruto* elíptico redondeado de borde convexo o afilado y de color blanco o blanco-amarillentas de 1 a 1,3 mm de diámetro por 0,1 a 0,3 mm de espesor (Sumar *et al*, 1986).

### **2.1.3. Fisiología**

El Amaranto es una planta C4, es decir realiza la fotosíntesis de una manera muy eficiente en condiciones de alta temperatura y baja disponibilidad de agua (González *et al*, 1991).

El amaranto es una planta muy eficaz. Esta planta sigue en su proceso fotosintético la ruta de fijación C4. Esta ruta es más eficiente en la fijación del nitrógeno que la mayoría de las plantas C3 que usan la ruta fotosintético normal. Por lo que crecen más rápido que las C3, usan tres quintas partes de agua que las C3 para producir el mismo volumen de biomasa (Burton *et al*, 2002).

La combinación de características anatómicas del amaranto y su tipo de metabolismo (C4), resulta más eficiente en el uso de CO2 bajo difíciles condiciones de escasez de agua y difíciles temperaturas, lo que contribuye a su amplia distribución y capacidad de adaptarse a condiciones ambientales diversas y adversas. Por todo ello puede ser un buen cultivo alternativo, en zonas de temporal difícil y en zonas semiáridas si se usan los métodos de cultivo adecuados (González *et al*, 1991).

El amaranto se encuentra dentro del grupo de plantas C4, de hecho es una de las pocas especies C4 que no son pastos. Las plantas C4 llevan a cabo una modificación del proceso normal fotosintético que hace eficiente el uso del CO2 disponible en el aire concentrándolo en los cloroplastos de células especializadas. La pérdida por fotorrespiración de CO2 es suprimida en las plantas C4. Por lo tanto las plantas C4 pueden llevar a cabo una relación de conversión carbono atmosférico a carbohidratos por unidad de pérdida de agua, más eficientemente que las plantas C3. Aun cuando las plantas C4 mantienen sus estomas parcialmente cerrados, estas son capaces de mantener relativamente altas tasas de fijación de CO2. Debido a que los estomas se cierran cuando la planta se ve

sometida a estrés ambiental, las C4 trabajan mejor en condiciones adversas que las C3; al disminuir la apertura de los estomas se reduce la pérdida de agua por transpiración. Mediante ajuste osmótico, las plantas pueden tolerar alguna pérdida de agua sin marchitarse ni morir. Las plantas C4 también se caracterizan por su habilidad para realizar la fotosíntesis a temperaturas elevadas. Investigaciones con *Amaranthus caudatus* han mostrado que los picos de la actividad fotosintética ocurren a 40° C (Shuan *et al*, 1985).

#### **2.1.4. Fitomejoramiento**

En el Ecuador recientemente se han obtenido y difundido dos variedades mejoradas de amaranto denominadas INIAP-ALEGRIA (Monteros *et al*, 1994) e INIAP-ATACO, cuyas características más importantes son: Precocidad (125-180 días de período vegetativo), alto potencial de rendimiento de grano ( 3750 kg/ha), adecuada altura de planta para la mecanización (70-160 cm), grano de color blanco, grande, tolerante a algunas enfermedades, plagas y al tumbado; recomendando su cultivo entre los 2000 y 2600 msnm., además se tiene algunas líneas y ecotipos sobresalientes en rendimiento, precocidad, calidad de grano y otras características agronómicas importantes, tales como: ECU-2210, ECU-163.

El peso de mil semillas es de 0,6 g aproximadamente, mientras que la longitud de la panoja es de 50 a 100 cm, el número de granos o de semillas puede aumentar hasta 80000-100000 por panoja y hasta sobrepasar los 150000 (Shuan *et al*, 1985).

Técnicamente el grano de amaranto es considerado como un pseudocereal, ya que tiene características similares a las de los granos de cereales verdaderos de las monocotiledóneas. Al igual que éstos, contiene cantidades importantes de almidón, con la diferencia de que éste se encuentra almacenado en el perispermo y el embrión ocupa gran parte del grano, conformando así una buena fuente de lípidos y también de proteínas. Sin embargo, por ser una dicotiledónea, no es considerado como un cereal verdadero. Es importante señalar que estas características de su estructura son importantes en la determinación de las tecnologías a utilizar en el procesamiento del grano.

## **2.2. Exigencias climáticas**

La planta de amaranto es tolerante a las sequías, altas temperaturas y plagas. Tiene una extraordinaria resistencia, crece en casi cualquier sitio donde incida la luz solar y haya suficiente humedad, además algunas especies pueden cultivarse bajo condiciones salinas. El amaranto es muy resistente a las inclemencias del clima, puede crecer en terrenos al nivel de mar o en valles altos de 3000 msnm, en climas semiáridos o en zonas tropicales y en temperaturas que van de los 14° C hasta los 29° C. En cuanto a latitud se adapta de 0° en el Ecuador hasta 38° (Temuco-Chile) en el Sur y 23° (Durango-México) en el Norte, lo cual confirma su gran adaptación (González *et al*, 1991).

**Cuadro 2.** Características de adaptación y requerimientos ambientales del amaranto en el Ecuador

<b>Característica</b>	<b>Requerimientos ambientales</b>
Altitud (msnm)	1500 a 2800
Altitud óptima	2000 a 2600
Temperatura, °C	> 15
Luminosidad	Alta luminosidad
Precipitación, mm/año	400 a 600
Tolerancia a sequía	Tolerante
Exceso de humedad	Susceptible
Suelos (pH)	5,5 a 7,0
Suelos (textura)	Francos, con materia orgánica
Suelos (encharcamiento)	Buen drenaje

Monteros *et al*, 1994

### 2.2.1. Altitud

El rango de adaptación para el amaranto va desde el nivel del mar hasta los 2800 m de altitud, sin embargo *A. caudatus* presenta un mejor comportamiento a altitudes superiores a los 1000 msnm (Velásquez, 1993).

El Amaranto presenta un rango de adaptación entre 1500 y 2800 msnm, es decir que puede ser cultivada en los valles bajos de la Sierra. En localidades exentas de la presencia de heladas se puede sembrar a mayor altitud, pero en ningún caso se recomienda la siembra en sitios con una altitud superior a los 3000 msnm, puesto

que es fuertemente afectada por las bajas temperaturas. Las localidades más aptas para el cultivo estarían situadas entre los 2000 y los 2600 msnm (Monteros *et al*, 1994).

El amaranto tiene un amplio rango de adaptación que va desde el nivel del mar hasta los 3200 msnm, se desarrolla adecuadamente con precipitaciones que varían de 400-2000 mm de lluvia anual, resistiendo adecuadamente períodos de déficit hídrico (Mujica, 1992).

### **2.2.2. Temperatura**

*Amaranthus caudatus* es una planta de clima cálido y las heladas que se presentan fuera de temporada dañan gravemente al cultivo, esta especie crece mejor cuando la temperatura ambiente promedio no es inferior a 15° C y la temperatura del suelo óptima para la germinación esta alrededor de 18° a 24° C (Velásquez, 1993).

Durante el crecimiento, la temperatura óptima durante el día está entre los 18 y 20° C. Temperaturas por debajo de los 18° C interfiere en el adecuado desarrollo de la planta.

Según Velásquez J. (1993) en *A. caudatus*, se encontró una disminución del ciclo vegetativo del 50% y un aumento de la producción de grano y biomasa del 100 y 150%, respectivamente, al bajar el cultivo de 3000 a 600 msnm, lo que se

interpretó como una respuesta favorable de las plantas a mayor temperatura y luminosidad (Sumar, 1993).

La temperatura óptima de germinación de semillas es de 35° C, y la mayor eficiencia fotosintética ocurre a 40° C. La temperatura mínima de crecimiento ha sido estimada en 8° C y sufre daño por enfriamiento con temperaturas menores a 4° C (Necoechea *et al*, 1986).

### **2.2.3. Fotoperíodo**

Los amarantos graníferos son en general de días cortos, aunque son poco sensibles a la duración de la luz, mostrando gran plasticidad en los diferentes ambientes pudiendo florecer con un fotoperíodo de 12 a 16 horas (Hauptli, 1980).

### **2.2.4. Precipitación Pluvial**

Es un cultivo que requiere de humedad adecuada en el suelo durante la germinación de las semillas y el crecimiento inicial, pero luego de que las plántulas se han establecido prosperan muy bien en ambientes con humedad limitada, de hecho hay un mejor crecimiento en ambientes secos y calientes que en ambientes con exceso de humedad. Mientras muchas especies utilizadas como verdura dan abundante producción de biomasa en ambientes con hasta 3000 mm de precipitación por año, las especies productoras de grano pueden dar cosechas

aceptables en ambientes con 300 o 400 mm de precipitación anual (Nautiyal *et al*, 1980).

De las pruebas de adaptación, realizadas en diferentes localidades y años para la Sierra ecuatoriana, se encontró que el amaranto no es exigente en humedad; se considera que con 400 a 600 mm de precipitación anual se pueden obtener cultivos rentables, sin embargo las épocas fisiológicas críticas de requerimientos de humedad son; entre la siembra y el apareamiento de las dos primeras hojas verdaderas, entre el panojamiento y floración y durante la formación de granos (Monteros *et al*, 1994).

El amaranto tiene la capacidad para prosperar bien en regiones con baja o errática precipitación pluvial, lo que lo hace una excelente alternativa para las zonas temporaleras, con un requerimiento en agua menor que la mitad requerida por la mayoría de los cereales. No presenta ningún problema tóxico serio y se obtienen rendimientos razonables en suelos pobres. Las semillas de amaranto son lo suficientemente fuertes y adecuadas para prosperar en suelos deficientes, donde los cereales convencionales no pueden cultivarse con facilidad (Burton *et al*, 2002).

El amaranto extrae agua hasta 1,5 m de profundidad en condiciones de *stress* hídrico y la máxima profundidad radical se alcanza entre comienzo y plena floración. El requerimiento hídrico promedio para el amaranto alcanza a 2673 m<sup>3</sup>/ha, medido en un estudio realizado en Dakota del Norte, Estados Unidos (Henderson, 1993).

El amaranto por ser un cultivo de ciclo corto, tolerante a la sequía, con un alto valor nutritivo y con múltiples usos y formas de aprovechamiento se considera como un cultivo de alternativa para muchos lugares donde hay escasez e irregularidad de lluvias y donde incluso, se presentan problemas de abasto de alimentos que dañan la salud poblacional (Velásquez, 1993).

Mientras muchas especies utilizadas como verdura dan abundante producción de biomasa en ambientes con hasta 3000 mm de precipitación por año, las especies productoras de grano pueden dar cosechas aceptables en ambientes con 300 o 400 mm de precipitación anual (Nautiyal *et al*, 1980).

#### **2.2.5. Suelo**

En cuanto a suelos, se deben preferir los de textura franca, con un buen contenido de materia orgánica y con pH entre 5,5 a 7. El amaranto presenta un mejor comportamiento en suelos con buen drenaje y por lo general es afectado por suelos arcillosos y anegados (Monteros *et al*, 1994)

Según Henderson (1993), en lo referente a suelos se adapta perfectamente a diferentes texturas de suelo; arenoso (Arequipa-Perú), arcillo-arenoso (Oruro-Bolivia), francos (Temuco-Chile), limo-arenoso (Puerto Príncipe-Haití) y franco-arcilloso (Chapingo-México).

Se recomienda un suelo franco arenoso para favorecer el drenaje, ya que el cultivo de amaranto es susceptible a hongos y una conductividad eléctrica de 1,5 – 2,0. En una investigación realizada por el Centro de investigación, Enseñanza y Extensión del Altiplano & ldquo, 32 tipos de amaranto tuvieron buen desarrollo en suelos semiarenosos (González *et al*, 1991).

El amaranto requiere de suelos que drenen bien y prefiere suelos con pH neutros o básicos arriba de 6, pero se han registrado casos de tolerabilidad a la alcalinidad (Rodale, 1985).

En cuanto al pH del suelo, crece desde suelos ácidos hasta fuertemente alcalinos (4,5-8,5). Además tiene alta tolerancia al aluminio del suelo y a la salinidad (Hauptli, 1980).

## **2.3. Cultivo**

### **2.3.1. Preparación del suelo para la siembra**

Al igual que la quinua, este cultivo requiere de una buena preparación de suelo, dado al tamaño tan pequeño de sus semillas. Es conveniente una arada, dos pases de rastra y si es posible la nivelación del suelo; estas labores se pueden hacer con tractor, yunta o manualmente (Tustón, 2006).

### **2.3.2. Siembra**

El amaranto puede multiplicarse según varios procedimientos. Los dos principales son:

- La siembra directa
- El trasplante

Cualquiera que sea el modo de multiplicación adoptado, la fecha de siembra y/o trasplante puede determinar la duración del período vegetativo y el rendimiento, según las condiciones térmicas y la cantidad de luz que prevalezca durante la evolución de la planta (Robles, 1997).

Es evidente que la siembra directa es mucho más fácil y rápida que el trasplante y requiere menos trabajo. Sin embargo la cantidad de semilla que se utiliza es considerablemente mayor, y la lucha contra las malas hierbas adquiere más importancia que en el caso de trasplante (Stallknecht *et al*, 1993).

Según Robles (1997), una misma variedad sembrada en la misma época (mediados de octubre) en la irrigación de Majes en Arequipa a 800 msnm y con un cielo constantemente limpio, el período vegetativo es de aproximadamente 110 días; para la misma variedad sembrada en el valle de Calca-Cusco a 2900 msnm con un cielo casi constantemente nublado entre enero y marzo, el período vegetativo se prolonga aproximadamente a 240 días. Se observa claramente la influencia de luz y de la temperatura.

En los valles interandinos ubicados por debajo de los 2600 msnm se puede muy bien postergar la siembra del amaranto hasta fines del mes de diciembre en que, por lo general, las precipitaciones pluviales son regulares. Si después de depositada la semilla no se producen precipitaciones pluviales regulares, la emergencia del amaranto será irregular (Flores, 1994).

La etapa más delicada del amaranto comprende desde la germinación hasta el momento en que las plántulas alcanzan una altura de 20 cm, luego de esa altura el cultivo es muy rústico y puede soportar largos períodos de sequía en mejores condiciones que otros cultivos (Espitia, 1991).

Para Tustón (1996), se debe sembrar a principios del año en lo que corresponde a Ecuador, con suelos húmedos para asegurar la germinación, el piso climático no debe superar los 2900 msnm, sobre esta altura el cultivo es tardío y el invierno puede afectar la cosecha.

### **2.3.3. Fertilización**

El cultivo de amaranto por ser de alto valor nutritivo y presentar un rápido crecimiento, demanda de altas cantidades de nutrimentos y responde marcadamente a la fertilización nitrogenada y fosfatada (Sabori, 1989).

El porcentaje de proteína se eleva conforme aumenta la fertilización nitrogenada y puede alcanzar valores de 27% en las hojas y 16% en las plantas completas hasta antes de la formación de la panoja (Valverde, 1991).

Las plantas de amaranto responden muy bien, en primer lugar a altas cantidades de nitrógeno, y en segundo lugar al fósforo, pero no así al potasio (Kietz, 1992).

Andrade (2006), en un estudio realizado en la provincia de Imbabura sobre fertilización química de amaranto, recomienda utilizar la dosis 160–60–20 kg/ha de N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y S respectivamente, como una alternativa para lograr rendimientos de hasta 2583,69 kg/ha.

#### **2.3.4. Plagas, hongos, enfermedades y malezas**

##### **2.3.4.1. Plagas**

Por ser un cultivo poco promocionado, no se conoce mucho sobre los problemas de plagas y enfermedades, sin embargo se destaca el ataque de gusanos trozadores que son, larvas de lepidóptero del género *Agrotis* y gusanos cortadores o masticadores de hojas, que son larvas de lepidóptero, del género *Feltia*, cuyo mayor daño es cuando el cultivo está en estado juvenil.

**Barrenador del tallo:** Las larvas hacen galerías en la base del tallo, llegándosele a encontrar hasta el ápice de la inflorescencia, quedando el tallo completamente hueco e impidiendo la translocación de sustancias nutritivas que como

consecuencia traen un debilitamiento de la planta o muerte de la planta. Cuando el ataque es severo, llega a afectar hasta en un 25% (Trinidad, 1986).

**Pulga saltona:** Se le encuentra en los ápices de crecimiento, alimentándose de las hojas jóvenes, las cuales presentan una reducción considerable del área foliar que influye directamente en el rendimiento (Trinidad, 1986).

**Chinche Lygus:** Causa daños forrajeros, el adulto hace una serie de punciones en las hojas jóvenes y secreta una sustancia tóxica que necrosa los tejidos que circundan la punción, pero el daño principal es que los adultos se alimentan de las semillas tiernas.

**Gusano verde:** es un lepidóptero, se encuentra en el primordio floral encerrado en hojas superiores, las cuales están sujetas con una telaraña que produce. Impide el desarrollo normal de la panoja, debido a que en ocasiones troza parcial o totalmente el ápice de crecimiento. Por otro lado se han encontrado nodulaciones en algunos bloques experimentales, lo que indica que el amaranto también es atacado por nemátodos (Trinidad, 1986).

#### **2.3.4.2. Hongos**

Algunas de las enfermedades reportadas para amaranto tanto para grano como para verdura son las ocasionadas por hongos, dentro de los cuales podemos mencionar: *Phytium aphanidermatum*, *Choanephora cucurbitarum*, *Albugo baliti*, *Alternaria althernantherde* y *A. Amaranthi*, *Rhizoctonia*, *Fusarium*, *Phoma*

*longissima* y *Cercospora barachiata*. (1er Congreso internacional del Amaranto, Oaxtepec Morelos Méx. 1991).

#### **2.3.4.3. Enfermedades**

En cuanto a enfermedades, sobresalen las causadas por hongos que producen la enfermedad conocida como mal de semillero ( *Pythium*, *Phytophthora* y *Rhizoctonia*), que se hacen presentes en los primeros 30 días del cultivo y sobre todo en suelos con mucha materia orgánica, o anegados. En estado de planta adulta el problema principal parece ser el ataque que *Sclerotinia sclerotiorum*, que afecta a todos los órganos de la planta y en especial a las hojas, produciendo clorosis y muerte y a los tallos y panojas produciendo pudriciones y posterior secamiento. Además se ha reportado la presencia de oidium, cuyo agente causal es *Erysiphe spp*, que produce manchas blanquecinas y deformaciones en las hojas. La presencia de *Curvularia spp* y *Alternaria spp* atacando a las hojas han sido reportadas sobre todo en ambientes de clima caliente.

Otras enfermedades que se presentan en el amaranto son:

**Pudrición del cuello:** Se presenta cuando la humedad del suelo es alta. Se inicia con la pudrición del cuello, extendiéndose luego a la raíz, el follaje se torna clorótico, posteriormente sobreviene un marchitamiento general de la planta y en la mayoría de los casos la muerte. Se ha observado que *Amaranthus caudatus* es altamente susceptible a esta enfermedad (Trinidad, 1986). Es muy común en regiones templadas con alta humedad, ataca desde que la planta es pequeña hasta cuando alcanza un metro de altura.

**Enverdecimiento de la panoja o crecimiento secundario:** Se presenta cuando la planta está llegando a la madurez, la panoja en lugar de secarse se enverdece nuevamente e inicia un segundo crecimiento, las brácteas y los tépalos se convierten en pequeñas hojas y aún el urtrículo se elonga y forma una especie de bolsa, el grano se absorbe. Este segundo crecimiento no es solo en la inflorescencia, también se tiene elongación de ramas y aparecen nuevos brotes laterales.

Se piensa que el motivo de este disturbio es por alguna característica propia de la planta, que le permite responder a condiciones de humedad, luz y temperatura propias para su crecimiento cuando está a punto de llegar a la madurez. Esto se confirma con el hecho de que este fenómeno se presentó en plantas sembradas en febrero y cuya maduración coincidió con la época de lluvias. También se presentó en siembras de abril, sin embargo es necesario estudiar más a fondo este fenómeno. Es un gran problema en Morelia (Trinidad, 1986).

Se tiene otra enfermedad de menor importancia pero que en un momento dado podría alcanzar menores proporciones. Es un achaparramiento de la planta, acompañado por arrosamientos y clorosis de las hojas. No se conoce todavía el agente causal, aunque por la sintomatología parece ser un micoplasma (Trinidad, 1986).

#### **2.3.4.4. Malezas**

Después del establecimiento del cultivo, lo más importante es el control de las malas hierbas. Hasta la fecha no existe un herbicida selectivo para el amaranto, por lo que el control debe ser mecánico y manual.

Por lo general no se logra eliminar completamente la maleza con las escardas, es necesario realizar uno o dos deshierbes a mano o con azadón. Es importante resaltar que se debe poner especial cuidado con la maleza en las primeras etapas de crecimiento, ya que el amaranto crece muy lento durante el primer mes.

### **2.3.5. Cosecha, almacenamiento y comercialización**

La cosecha manualmente (no se recomienda para un proyecto de alta rentabilidad) puede hacerse con machete o con hoz cortando la planta completa. El corte se hace en las primeras horas del día para evitar la caída de semillas. Las panojas se extienden sobre una lona para que terminen de secar al sol por espacio de 10 días hasta que se alcance una humedad del 12%.

Una vez obtenida la semilla, puede quedar almacenada libre de plagas y enfermedades entre 5 y 7 años si se mantiene en un lugar seco, fresco y ventilado (Trinidad, 1986).

La siega se puede hacer con hoz y la trilla con trilladoras estacionarias de cereales, siempre que el cilindro y cóncavo estén acondicionados con el sistema de dientes. En este caso hay que acondicionar las máquinas con tamices finos y es conveniente regular la entrada de aire en los ventiladores para evitar desperdicios de grano. La trilla es más eficiente si las plantas están completamente secas.

Se recomienda cortar las plantas cerca de la panoja para evitar daños en la trilladora por exceso de material leñoso.

Para lotes pequeños, se puede aplicar la trilla manual, usando garrotes o varas, para desprender los granos de las panojas, pero se aconseja usar carpas o tendales para evitar la contaminación de los granos con el polvo, tierra o piedras y así conseguir un producto de calidad.

La forma tradicional de cosechar consiste en cortar las panojas, ponerlas a secar durante dos o tres días al sol sobre una manta o superficie de cemento, y posteriormente trillarlas, golpeándolas con varas o pisoteándolas con animales. La semilla se limpia venteándola y después se pasa por cribas.

La cosecha manual requiere mucha mano de obra, lo que eleva considerablemente los costos de cultivo, por lo cual la cosecha mecánica es una alternativa que facilita y abarata los costos de producción. Para esto, puede utilizarse una trilladora estacionaria, se necesita mano de obra para cortar y alimentar la máquina. Cabe señalar que la semilla no queda completamente limpia, por lo cual se deben separar basura y restos de la planta

#### **2.4. Rendimiento del grano de amaranto en diferentes ambientes.**

La estabilidad del rendimiento ha sido definida como la habilidad de los genotipos para resistir a los cambios del medio ambiente y mantener una menor interacción con este, llamado también amortiguamiento o estabilidad. La interacción del

genotipo con el ambiente es de mucha importancia puesto que al ser sembradas en ambientes diferentes su comportamiento y rendimiento varía, sin embargo se ha determinado que el amaranto, tiende a ser una planta con alta estabilidad del rendimiento, ya que su plasticidad le permite modificar su fenología y estructura al ser sometida a diferentes ambientes para conservar la expresión de su potencial de rendimiento económico (Espitia *et al*, 1991).

Al respecto de los componentes del rendimiento Espitia (1991), determinó que los principales componentes del rendimiento son: días a floración, número de hojas, diámetro del tallo, altura de planta a madurez fisiológica, tasa del rendimiento económico, e índice de llenado de las semillas; por lo tanto para efectuar la selección indirecta para rendimiento se debe utilizar dichos parámetros por ser los más adecuados y por ser de fácil medición y prácticos. También Hauptli (1980), determinó que los principales componentes del rendimiento para amaranto son los siguientes: días a floración, altura de planta, longitud de inflorescencia, ramificación e índice de cosecha.

En algunos campos experimentales se han alcanzado a producir hasta 7200 kg/ha de grano, significativamente mayor que el promedio mundial que va de los 1000 a los 3000 kg/ha (Paredes *et al*, 2002).

Según Suárez y Calles (1978), el rendimiento medio esperado para amaranto es de 700 kg de grano/ha en zonas semidesérticas y 900 kg de grano/ha en temporal.

#### **2.4.1. México, temporada 1998.**

En 1998, el rendimiento nacional promedio de la producción de amaranto fue de 1128 kg/ha. Tlaxcala es el estado que mayormente rinde en la producción de amaranto con 1590 kg/ha, seguido de México con 1100 kg/ha; Distrito Federal 1000 kg/ha, Morelos con 979 kg/ha y Puebla es el de menor rendimiento 954 kg/ha (Gática, 2007).

En las zonas productoras de México, en Tulyehualco y en el Distrito Federal, con el sistema de trasplante se obtienen de 1000 a 2000 kg./ha, en San Miguel del Milagro, Tlaxcala, Huauquechula, Huazulco, Amilcingo y Morelos, se obtienen un rendimiento de 1800 a 2000 kg/ha, bajo condiciones de temporal (Espitia, 1986).

En condiciones de riego la producción de grano es de 1000 a 4000 kg/ha (Iturbide, 1983).

#### **2.4.2. Estados Unidos, temporada 1989, 1990,1991 y 1992.**

Según Burton *et al*, (2002), el rendimiento de grano que tuvo el cultivo de amaranto (*Amaranthus spp.*) en las grandes planadas de Norte América, Prosper-ND durante 1989 hasta 1992, con las siguientes condiciones de altura y precipitación, 220msnm y 560 mm/año respectivamente fueron:

**Cuadro 3.** Influencia del ambiente sobre la producción de amaranto en Prosper-ND. Durante 1989, 1990, 1991 y 1992.

<i>Amaranthus spp.</i>	<b>Precipitación</b> <b>(mm/añual)</b>	<b>Altura de</b> <b>planta</b> <b>(cm)</b>	<b>Producción de</b> <b>grano</b> <b>(kg/ha)</b>
1989 MT-3	226,9	201	1473
K283		163	1299
K343		188	947
K432		124	831
1990 MT-3	281	153	2233
K283		121	1845
K343		146	1987
K432		93	1697
1991 MT-3	191,8	141	1073
K283		139	1283
K343		103	1043
K432		98	1167
1992 MT-3	368,8	82	1214
K283		86	1800
K343		94	1100
K432		67	1759

Burton *et al.*, (2002)

El medio ambiente influyó en la altura de las plantas de amaranto, siendo similares en los 3 primeros años y en 1992 el tamaño de las plantas es menor, pero podemos observar que al amaranto se lo puede cultivar en cualquier época del año, siendo el verano la época ideal de cosecha para que la maduración ocurra más rápido en el período seco.

Según Tracey *et al*, (2000), el rendimiento de grano en el cultivo de amaranto (*Amaranthus spp.*) en las grandes planadas de Norte América, Williston durante 1990, con las siguientes condiciones de altura y precipitación, 573msnm y 354 mm/año respectivamente fueron:

**Cuadro 4.** Influencia del ambiente sobre la producción de amaranto en Williston durante 1990.

<b>Amaranthus spp.</b>	<b>Precipitación (mm/anual)</b>	<b>Altura de planta (cm)</b>	<b>Producción de grano (kg/ha)</b>
1990 K283	354	60	570
K343		70	290
K432		60	290
MT-3		60	490

Tracey *et al*, (2000)

El medio ambiente influyó en la producción de grano obteniendo la mejor producción para la accesión K283 con una producción de 570 kg/ha para ese año.

En Pensylvania, las parcelas de experimentación sembradas de variedades productoras suelen dar hasta 1800 kg/ha de semilla, en California y en otras partes, las parcelas experimentales han llegado a dar hasta casi el doble de esa cantidad (Shuan *et al*, 1985).

#### **2.4.3. Prueba Regional de Cultivares de Amaranto en las áreas agrícolas de América, temporada 1992-1993.**

Los resultados de la Prueba Regional de Cultivares de Amarantho, muestran que este cultivo tiene un enorme potencial de producción en las áreas agrícolas de América, obteniéndose en forma experimental hasta 7208 kg/ha en Perú; teniendo amplia adaptación tanto a condiciones de altitud que van desde el nivel del mar (Puerto Príncipe-Haití) hasta los 3710 msnm (Oruro-Bolivia). Se obtuvieron producciones con precipitaciones pluviales de sobre 176 mm (Purmamarca-Argentina) a 1378 mm (Santa Catalina-Ecuador), sin embargo la distribución de la precipitación durante el año puede ser determinante para que este cultivo produzca sin necesidad de riego (Henderson, 1993).

**Cuadro 5.** Rendimiento de grano de amaranto de cultivares de la Prueba Regional de Cultivares de Amaranto en las áreas agrícolas de América, temporada 1992-1993.

País	Lugar del ensayo	Altura (msnm)	Latitud	Longitud	Precipitación (mm)	Tipo de suelo	cultivar sobresaliente	Rend. (kg/ha)
Argentina	Purmamarca	2250	23°43´S	65°27´W	176.5 a	Arcillo-arenoso	A.mantegazianus	1 530
Bolivia	Carmen Pampas, Yungas	1648	16°20´S	67°50´W	1 621 b	Arcillo-limoso	INIAP-Ataco	2 258
Bolivia	Oruro	3710	17°53´S	67°07´W	352.5 b	Arcillo-arenoso	T-12	203
Chile	Pirque, Santiago	654	33°40´S	70°36´W	146.3 c	Franco-arcilloso		
Chile	Chillán	144	36°34´S	72°06´W	344.9 c	Franco	Chile	2 933
Chile	Temuco	100	38,44´S	72°35´W	900.5 d	Franco	A. cruentus	1 049
Ecuador	Santa Catalina-Quito	2720	00°25´S	78°31´W	1 348.5 b	Franco-arenoso	A. cruentus	3 167
México	Vicente Guerrero, Durango	1920	23°44´N	103°59´W	253.9 e	Arenoso	Revancha	3 875
Haití	Damien, Paup	18	18°36´N	72°12´W	765.4 b	Limo-arenoso	A. cruentus	1 191
México	Chapingo, Texcoco	2249	19°17´N	98°53´W	693.5 b	Franco-arcilloso	INIFAP-655	4 583
Perú	Huancayo	3312	12°03´S	71°12´W	22.3 f	Franco-arcilloso	UTAB-cahuayuma	4 318
Perú	Lima	251	12°05´S	76°37´W		Franco	Durango-HI	935
Perú	Taray-Cusco	2900	13°24´S	71°46´W	396.6 b	Franco	41-F	7 208
Uruguay	Colonia	81	34°20´S	57°41´W	1 261.5 b	Franco-arcilloso	A. cruentus	1 500
Perú	San Camilo, Arequipa	1253	16°44´S	71°52´W		Arenoso	Oscar Blanco	3 750

a. en un periodo de 5 (Nov-Mar)    b. en un periodo de 12 (Ene-Dic)    c. en un periodo de 7 (Oct-Abr)    d. en un periodo de 8 (Nov-Jun)    e. en un periodo de 6 (May-Oct)    f. en un periodo de 9 (Sep-May)

Bertli *et al*, 1997

Para Perú los rendimientos obtenidos varían de 97 a 2723 kg/ha (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Rendimiento de grano de amaranto obtenidos en Perú, temporada 1992-1993.

<b>Cultivar</b>	<b>Lima (kg/ha)</b>	<b>Huancayo (kg/ha)</b>	<b>Arequipa (kg/ha)</b>	<b>Cusco (kg/ha)</b>
INIAP Alegría	921	1601	2714	2385
Oscar Blanco	694	1361	2625	2210
ICTA-01-0012	97	2374	2464	1996

Bertli *et al*, 1997

Para Bolivia el rendimiento promedio a nivel de productor está en 1292 kg/ha en los ensayos realizados en La Paz y en Oruro (Cuadro 7).

**Cuadro 7.** Rendimiento de grano de amaranto. Bolivia, temporada 1992-1993.

<b>Cultivares</b>	<b>Rendimiento (kg/ha)</b>	
	<b>La Paz</b>	<b>Oruro</b>
Oscar Blanco	1413	95
Línea 41-F	1155	67
<i>Amaranthus caudatus</i>	---	81

Bertli *et al*, 1997

Para Argentina los rendimientos obtenidos varían de 657–1530 kg/ha (Cuadro 8).

**Cuadro 8.** Rendimiento de grano de amaranto obtenidos en Purmamarca, temporada 1992-1993.

<b>Cultivares</b>	<b>Rendimiento (kg/ha) Purmamarca</b>
Oscar Blanco	1530
Línea 10-C	1124
INIAP alegría	755
Línea 41-F	675

Bertli *et al*, 1997

En los ensayos realizados en Chile los rendimientos han alcanzado hasta 617 kg/ha con la especie *A. caudatus* (Cuadro 9).

**Cuadro 9.** Rendimientos de *Amaranthus caudatus* obtenidos en Chile-Santiago, temporadas 1994-1995

<b>Genotipo</b>	<b>Rendimiento (kg/ha)</b>
ICTA 01-0012	617
Oscar Blanco	183
Ataco	114
Línea-10C	94
INIAP-ALEGRIA	74
Línea-41F	63
Noel Vietmayer	50

Bertli *et al*, 1997

Para el Ecuador en el aspecto productivo, se tiene grandes posibilidades, sobre todo en los valles de la sierra, cuyas altitudes no superan los 2800 msnm y que presentan alta luminosidad y poca pluviosidad. Las mejores posibilidades estarían en las provincias de Imbabura, Loja, Azuay, Tungurahua, Cotopaxi, Pichincha y en las zonas secas y con riego de la Costa (Nieto, 1990).

En los ensayos llevados a cabo en Quito en 1992-1993 los rendimientos fluctuaron entre 800 y 2492 kg/ha (Cuadro 10).

**Cuadro 10.** Rendimiento de grano de amaranto obtenidos en Quito, Ecuador, temporada 1992-1993.

Cultivares	Rendimiento (kg/ha)
ECU-2210	2492
ECU-163	1842
CAC-2074-BA-87	1683
Línea 10-C	800

Bertli *et al*, 1997

Según Tustón (2007) en cuanto al rendimiento en Imbabura del grano de amaranto, observó que la variedad Ecu-2210, obtuvo el rango más alto en la localidad de Mojanda y la variedad Ecu-0014 en la localidad de Pucará, siendo la mejor localidad Pucará, donde registró los más altos rendimientos (Cuadro 11).

**Cuadro 11.** Rendimiento de grano de amaranto obtenidos en Pucará, Imbabura, temporada 2007.

Características	Variedades				
	Ecu-0014	Ecu-0113	Ecu-2210	Ecu-4737	Ecu-4744
Longitud de tallo	65,9	63,1	62,3	62,5	61,6
Largo de panoja (cm)	27,7	26,8	28,1	27,8	24,5
Días al panojamiento	51	51	47	49	47
Días a la floración	71	71	63	63	63
Días a la cosecha	127	130	126	129	127
Rendimiento de grano (kg/ha)	1443	1310	1307	1357	1277

Tustón, (2007)

**Cuadro 12.** Rendimiento de grano de amaranto obtenidos en Mojanda, Imbabura, temporada 2007.

Características	Variedades				
	Ecu-0014	Ecu-0113	Ecu-2210	Ecu-4737	Ecu-4744
Longitud de tallo	91,1	81,9	80,5	73,6	84,6
Largo de panoja (cm)	19,9	23,1	23,7	19,7	19,5
Días al panojamiento	63	63	58	58	58
Días a la floración	84	84	79	79	79
Días a la cosecha	177	172	172	184	184
Rendimiento de grano (kg/ha)	630	937	1333	533	687

Tustón, (2007)

## 2.5. Valor Nutritivo del Amaranto

Los botánicos y nutriólogos han estudiado el amaranto, y han encontrado una gran cualidad nutritiva, en especial un alto contenido de proteínas, calcio, ácido fólico y vitamina C. Las semillas del amaranto tostado proveen una fuente de proteínas superior, que puede satisfacer gran parte de la ración recomendada de proteínas para niños, y también pueden proveer aproximadamente el 70% de energía de la dieta, también una combinación de arroz y amaranto, a una proporción de 1:1 ha sido reportada como excelente para alcanzar las especificaciones para proteínas de la Organización Mundial del Salud (Bustamante, 2002).

El amaranto tiene un alto contenido proteico, aproximadamente 16 %. La semilla del amaranto compite bien con variedades convencionales de trigo que contiene de 12 a 14 % de proteína, al arroz que contiene de 7 a 10 % y al maíz que contiene

de 9 a 10 % de proteína y con otros cereales de gran consumo. Además, el amaranto tiene abundante lisina, aminoácido esencial que está en baja proporción en los demás cereales. Por su composición, la proteína del amaranto se asemeja a la de la leche y se acerca mucho a la proteína ideal propuesta por la FAO para la alimentación humana (Bustamante, 2002).

El almidón del amaranto posee dos características distintivas que lo hacen muy prometedor en la industria: tiene propiedades aglutinantes inusuales y el tamaño de la molécula es muy pequeño (aproximadamente un décimo del tamaño del almidón del maíz). Estas características se pueden aprovechar para espesar o pulverizar ciertos alimentos o para imitar la consistencia de la grasa. (Monteros *et al.*, 1994)

El valor nutritivo de las hojas de amaranto ha sido también ampliamente estudiado; se ha encontrado que la hoja contiene altos valores de calcio, hierro, fósforo y magnesio, así como ácido ascórbico, vitamina A y fibra (Singhal, 1994).