

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES

EFFECTO DE LA DENSIDAD DE SIEMBRA SOBRE LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA
EN AMARANTO (*Amaranthus caudatus*); GUAZACAPÁN, SANTA ROSA
TESIS DE GRADO

JOSÉ CARLOS LÓPEZ CETINO
CARNET 20999-08

ESCUINTLA, MARZO DE 2015
SEDE REGIONAL DE ESCUINTLA

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES

EFFECTO DE LA DENSIDAD DE SIEMBRA SOBRE LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA
EN AMARANTO (*Amaranthus caudatus*); GUAZACAPÁN, SANTA ROSA
TESIS DE GRADO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

POR
JOSÉ CARLOS LÓPEZ CETINO

PREVIO A CONFERÍRSELE
EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES EN EL GRADO
ACADÉMICO DE LICENCIADO

ESCUINTLA, MARZO DE 2015
SEDE REGIONAL DE ESCUINTLA

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTOR:	P. EDUARDO VALDES BARRIA, S. J.
VICERRECTORA ACADÉMICA:	DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN:	DR. CARLOS RAFAEL CABARRÚS PELLECCER, S. J.
VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA:	P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO:	LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS
SECRETARIA GENERAL:	LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

DECANO:	DR. ADOLFO OTTONIEL MONTERROSO RIVAS
VICEDECANA:	LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ
SECRETARIA:	ING. REGINA CASTAÑEDA FUENTES
DIRECTOR DE CARRERA:	MGTR. LUIS MOISÉS PEÑATE MUNGUÍA

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

ING. JORGE ALFREDO CARDONA ORELLANA

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN

MGTR. ADÁN OBISPO RODAS CIFUENTES

MGTR. ALMA LETICIA CIFUENTES ALONZO

ING. EDWIN LEONEL ARGUETA VENTURA

Guatemala 25 de Marzo de 2015

Consejo de Facultad
Ciencias Ambientales y Agrícolas
Presente

Estimados miembros del Consejo:

Por este medio hago constar que he asesorado el trabajo de graduación del estudiante José Carlos López Cetino, carné 20999-08, titulada: "Efecto de la densidad de siembra sobre la producción de biomasa en amaranto (*Amaranthus caudatus*); Guazacapán, Santa Rosa".

La cual considero que cumple con los requisitos establecidos por facultad, previo a su autorización de impresión.

Atentamente,



Ing. Jorge Alfredo Cardona Orellana
Colegiado no. 1433
Cod. URL 11612

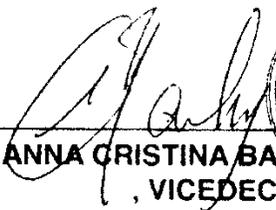
Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado del estudiante JOSÉ CARLOS LÓPEZ CETINO, Carnet 20999-08 en la carrera LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES, de la Sede de Escuintla, que consta en el Acta No. 0634-2015 de fecha 19 de marzo de 2015, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

EFFECTO DE LA DENSIDAD DE SIEMBRA SOBRE LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA
EN AMARANTO (*Amaranthus caudatus*); GUAZACAPÁN, SANTA ROSA

Previo a conferírsele el título de INGENIERO AGRÓNOMO CON ÉNFASIS EN CULTIVOS TROPICALES en el grado académico de LICENCIADO.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 24 días del mes de marzo del año 2015.



LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ
, VICEDECANA
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
Universidad Rafael Landívar

AGRADECIMIENTOS

A:

Dios, porque de Él es la sabiduría y de su boca mana la inteligencia.

La Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas por brindarme una excelente educación.

Ing. Jorge Cardona, por su acertada asesoría, tiempo y esfuerzos dedicados al desarrollo del presente trabajo.

Ing. Adán Rodas, por su colaboración, sugerencias y aportaciones para el mejoramiento del presente trabajo.

Marvin López, sin cuyo aporte no hubiera sido posible el trabajo de campo

DEDICATORIA

A:

Dios: Por sus bendiciones en cada momento de mi vida.

Mis padres: Jesús López y Sara Cetino, por todos sus esfuerzos, amor, comprensión y principalmente por infundirme los principios con los cuales me formaron y que hacen que hoy les deba lo que soy.

Mi esposa: Mercedes Sagastume, por todas las promesas que la vida nos cumple.

Mi hijo: Carlos José, porque algún día vea coronar sus más caros anhelos.

Mi familia: Hermanos, tíos, primos, sobrinos, suegros y cuñados, en especial a Albert Zetino por ser un ejemplo de motivación para mí.

Mis amigos: Renato Castro, Carlos Sierra, Vielman Santos, Gelber Sánchez, Marvin López, Elmar Morales por ser como hermanos.

ÍNDICE

	Página
RESUMEN	i
SUMARY	ii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	3
2.1 ORIGEN DEL AMARANTO	3
2.2 CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA DE AMARANTO	4
2.3 TAXONOMÍA DEL AMARANTO	5
2.4 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL AMARANTO	5
2.5 DATOS SOBRE EL CULTIVO DE AMARANTO	8
2.6 VENTAJAS DEL CULTIVO DE AMARANTO	10
2.7 ESTUDIOS REALIZADOS EN GUATEMALA SOBRE EL AMARANTO	10
III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
3.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO	12
IV. OBJETIVOS	13
4.1 OBJETIVO GENERAL	13
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
V. HIPÓTESIS	14
VI. METODOLOGÍA	15
6.1 LOCALIZACIÓN	15
6.2 MATERIAL EXPERIMENTAL	15
6.3 FACTORES ESTUDIADOS	15
6.4 DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS	16
6.5 DISEÑO EXPERIMENTAL	16
6.6 MODELO ESTADÍSTICO	17
6.7 UNIDAD EXPERIMENTAL	17
6.8 CROQUIS DE CAMPO	18
6.9 MANEJO DEL EXPERIMENTO	18
6.9.1 Preparación del terreno	18
6.9.2 Siembra	19
6.9.3 Raleo	19
6.9.4 Fertilización	19
6.9.5 Limpias	19
6.9.6 Control de plagas	19
6.9.7 Riegos	19
6.9.8 Cosecha	20
6.10 VARIABLES DE RESPUESTA	20

	Página
6.10.1 Días a emergencia	20
6.10.2 Porcentaje de emergencia	20
6.10.3 Altura de la planta al momento de corte	20
6.10.4 Rendimiento bruto de materia fresca	21
6.10.5 Rendimiento neto fresco	21
6.10.6 Rendimiento neto de materia seca	21
6.11 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	21
6.11.1 Análisis estadístico	21
6.11.2 Análisis económico	22
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
7.1 DÍAS A EMERGENCIA	23
7.2 PORCENTAJE DE GERMINACIÓN	23
7.3 ALTURA DE PLANTAS AL MOMENTO DEL CORTE	23
7.4 RENDIMIENTO BRUTO DE MATERIA FRESCA	28
7.5 RENDIMIENTO NETO FRESCO	30
7.6 RENDIMIENTO NETO DE MATERIA SECA	31
7.7 ANÁLISIS ECONÓMICO	33
VIII. CONCLUSIONES	35
IX. RECOMENDACIONES	36
X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37

ÍNDICE DE CUADROS

Titulo		Página
Cuadro 1.	Análisis bromatológico de la hoja del amaranto	6
Cuadro 2.	Comparación de hortalizas crudas	7
Cuadro 3.	Resultados obtenidos de porcentaje de germinación y días a emergencia	23
Cuadro 4.	Resumen de los resultados promedio obtenidos para cada una de las variables analizadas	24
Cuadro 5.	Resumen de análisis de varianza para altura al momento del corte	27
Cuadro 6.	Prueba de Tukey en el factor "A" para altura al momento del corte	28
Cuadro 7.	Prueba de Tukey en el factor "B" para altura al momento del corte	28
Cuadro 8.	Resumen de análisis de varianza para rendimiento bruto fresco	29
Cuadro 9.	Prueba de Tukey en el factor "A" para rendimiento bruto fresco	29
Cuadro 10.	Prueba de Tukey en el factor "B" para rendimiento bruto fresco	30
Cuadro 11.	Resumen de análisis de varianza para rendimiento neto fresco	30
Cuadro 12.	Prueba de Tukey en el factor "A" para rendimiento neto fresco	31
Cuadro 13.	Prueba de Tukey en el factor "B" para rendimiento neto fresco	31
Cuadro 14.	Resumen de análisis de varianza para rendimiento neto de materia seca	32
Cuadro 15.	Prueba de Tukey en el factor "A" para rendimiento neto de materia seca	32
Cuadro 16.	Prueba de Tukey en el factor "B" para rendimiento neto de materia seca	33
Cuadro 17.	Coeficientes de variación de las variables estudiadas	33
Cuadro 18.	Análisis económico de los tratamientos	34

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Distribución de los tratamientos en campo	19
Figura 2.	Curvas de crecimiento de los 2 distanciamientos más sobresalientes y del menos sobresaliente en amaranto	26

EFFECTO DE LA DENSIDAD DE SIEMBRA SOBRE LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA EN AMARANTO (*Amaranthus caudatus*); GUAZACAPÁN, SANTA ROSA.

RESUMEN

El trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de nueve densidades de siembra, sobre el rendimiento de biomasa, en amaranto (*Amaranthus caudatus*), en el municipio de Guazacapán, Santa Rosa. En el experimento se empleó un diseño de bloques completos al azar, con arreglo en parcelas divididas, con nueve tratamientos y tres repeticiones. Las distancias de siembra fueron a) 0.6m por 0.3m, b) 0.6m por 0.2m, c) 0.6m por 0.1m, d) 0.5m por 0.3m, e) 0.5m por 0.2m, f) 0.5m por 0.1m g) 0.4m por 0.3m, h) 0.4m por 0.2m y i) 0.4m por 0.1 m. Las variables evaluadas fueron a) Días a emergencia, b) Porcentaje de emergencia, c) Altura de la planta al momento del corte, d) Rendimiento bruto de materia fresca, e) Rendimiento neto fresco y f) Rendimiento neto de materia seca. En las interacciones de las distancias de siembra no se produjo ningún efecto para las variables de respuesta. En cuanto a los distanciamientos entre plantas y entre surcos si hubo diferencia estadística, siendo el mejor distanciamiento el 0.6 por 0.3 m, con 9,626.67 kg/ha y el menor rendimiento correspondió al distanciamiento 0.4 por 0.1 m con 8,046.33 kg/ha. El análisis económico indicó que de los 9 tratamientos evaluados, el de mayor beneficio fue el de 0.6 por 0.3 m, con una relación beneficio costo de 6.06. Por lo que se sugiere utilizar el distanciamiento 0.6 por 0.3 m en amaranto en el municipio de Guazacapán, Santa Rosa.

EFFECT OF PLANTING DENSITY ON BIOMASS PRODUCTION OF TASSEL FLOWER (*Amaranthus caudatus*), GUAZACAPÁN, SANTA ROSA

SUMMARY

The objective of this study was to evaluate the effect of nine planting densities on the biomass yield of tassel flower (*Amaranthus caudatus*), in the municipality of Guazacapán, Santa Rosa. A complete randomized block design, in a split plot arrangement, with nine treatments and three replicates was used. The planting densities were: a) 0.6m per 0.3m, b) 0.6m per 0.2m, c) 0.6m per 0.1m, d) 0.5m per 0.3m, e) 0.5m per 0.2m, f) 0.5m per 0.1m g) 0.4m per 0.3m, h) 0.4m per 0.2m, and i) 0.4m per 0.1 m. The evaluated variables were: a) Days to emergence, b) emergence percentage, c) plant height at cutting, d) fresh matter gross yield, e) fresh net yield, and f) net yield of dry matter. Regarding the interactions for the planting distances, there was no effect for the response variables. Regarding the distances among plants and furrows, there was a statistical difference, where the 0.6 per 0.3 m distance was the best, with 9,626.67 kg/ha, and the lowest yield was obtained with the 0.4 per 0.1 m distance, with 8,046.33 kg/ha. The economic analysis demonstrated that from the 9 evaluated treatments, the highest benefit was obtained with the 0.6 per 0.3 m treatment, with a benefit-cost relation of 6.06. Therefore, the use of the 0.6 per 0.3 m distance in the production of tassel flower is recommended in the municipality of Guazacapán, Santa Rosa.

I. INTRODUCCIÓN

A pesar de los grandes avances tecnológicos de la agricultura moderna, el mundo enfrenta grandes problemas de hambre y desnutrición. Muchos científicos sostienen que para mejorar esta situación se deben aprovechar cultivos prácticamente ignorados por el agricultor actual (Less, 1982). Razón por la cual se buscan nuevas fuentes de alimento que conlleven a subsanar dicho problema; especialmente en la flora y fauna nativa, lo cual representa una alternativa viable para resolver demandas de alimento en calidad y cantidad.

En países como Guatemala, en vías de desarrollo, amplios segmentos poblacionales sufren de deficiencias nutricionales, las cuales son susceptibles de aliviar con el consumo de hojas verdes. Especies nativas como miltomate (*Physalis philadelphica*), hierba mora (*Solanum spp*), amaranto (*Amaranthus spp.*) y chipilín (*Crotalaria spp*) forman parte de la riqueza genética del país, que se presentan como alternativa alimenticia por su alto valor nutritivo y aceptación dentro de la población.

Para aliviar los problemas de alimentación, una medida es buscar nuevas fuentes de alimento, haciendo uso de los recursos fitogenéticos, tanto nativos como foráneos. El amaranto es un ejemplo de ello, ya que se ha cultivado durante miles de años como planta comestible o como productor de semillas.

El amaranto se cultivaba en América desde hace 5,000 a 7,000 años, probablemente los primeros en utilizarlo como un cultivo altamente productivo fueron los mayas, de quienes otros pueblos de América, entre ellos los aztecas y los incas, aprendieron su consumo (Becerra, 2000). En Guatemala las hojas tiernas del amaranto son bien conocidas y muy usadas como alimento, particularmente entre los sectores de bajos ingresos y entre la población indígena; por lo que se debe tratar de estimular al sector agrícola para la producción de este cultivo.

El amaranto genera grandes expectativas a nivel nutricional, socioeconómico y cultural; nutricional por su alto contenido de proteína, calcio y hierro; socioeconómico porque representa una fuente alternativa de ingresos para el campesino a un bajo costo y cultural porque forma parte de la dieta de la población rural, mayoritaria en el país. Este es una especie con gran potencial agronómico para ser cultivado por aquellas personas con escasos recursos. Por ser una especie C₄ puede aprovechar una baja precipitación, además de ser muy resistente a la sequía y al calor, produciendo grandes cantidades de biomasa, y el grano posee un valor nutricional elevado.

Alejandre y Lorence (1986), mencionan que la producción depende de las condiciones ambientales y fisiográficas de las localidades donde se siembre. Para obtener mayores rendimientos se deben utilizar distanciamientos de 10 a 50 cm entre plantas y de 80 cm entre surcos (Webber, 1987; Kauffman y Weber, 1990).

En la presente investigación se evaluó el efecto de nueve densidades de siembra (distanciamientos entre surcos de 40, 50 y 60 centímetros, y distanciamientos entre plantas de 10, 20 y 30 cm) sobre el rendimiento de biomasa en el cultivo de amaranto.

El estudio se realizó bajo las condiciones agroecológicas del municipio de Guazacapán, Santa Rosa. Los resultados obtenidos permitieron generar tecnología para el manejo de los cultivares de amaranto en la región donde se estableció el experimento.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 ORIGEN DEL AMARANTO

Sumar (1983) indica que estudios botánicos recientes demuestran la posibilidad de que el centro de origen del amaranto sean los Andes Bolivianos y Peruanos.

Sánchez (1980) indica que se cree que la especie *A. hypochondriacus* sea la más antigua en América y que probablemente después pasó a Asia y Europa, pero su verdadero origen se desconoce; es decir, se desconoce la especie silvestre de la cual proviene.

Sauer, citado por Alejandr  (1981) y Campogorra (1982) precisan que el origen del amaranto es el suroeste de los Estados Unidos y norte de México. Ellos encontraron indicios de que el amaranto era cultivado por los nativos para su alimentación, posteriormente debido a migraciones se traslad  a la meseta central, donde alcanzó su mayor relevancia como cultivo de grano en tiempos anteriores a la conquista.

Alejandr  (1981) en algunos estudios menciona que 60 especies son nativas de América y otras 15 de Europa, Asia y Australia, siendo la mayoría anuales y producen semillas. Algunas especies se consumen como hortalizas, especialmente en Asia.

Downton (1973) haciendo referencia a la historia del cultivo, explica que en tiempos de la conquista el amaranto fue de los principales granos cultivados en Centroamérica, siendo posteriormente relegado a un segundo plano por cultivos de grano más grande como el maíz y por la prohibición de la iglesia durante la colonia.

Según Alejandre (1981) algunos autores afirman que el género *Amaranthus* contiene cuatro especies antiguas cultivadas, las cuales han sido utilizadas para grano, siendo éstas: *A. hypochondriacus*, *A. caudatus*, *A. edulis*, *A. cruentus*; son originarias de

México, Centro y Sudamérica y fueron domesticadas antes o simultáneamente con el maíz.

2.2 CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA DE AMARANTO

Es planta "C₄" de crecimiento rápido y fotosíntesis eficiente, requiere dos terceras partes de la humedad que absorben las plantas corrientes C₃, es resistente a la sequía, resultando valioso en regiones de escasa precipitación o agua de riego (Lees, 1982).

Sánchez (1980) indica que el género *Amaranthus* comprende hierbas anuales procumbentes o erectas, con hojas simples, alternas, enteras y largamente pecioladas. Plantas generalmente matizadas con un pigmento rojizo llamado amarantina, algunas formas cultivadas son altamente coloreadas.

Sánchez (1980) precisa que las flores son unisexuales, monoicas o dioicas, en densos racimos situados en las axilas de las hojas. Estas son muy pequeñas, subtendidas terminales, pétalos y sépalos iguales y designados como tépalos, de tres a cinco estambres, ovario súpero unilocular que madura en un utrículo circunsésil o indehiescente con una sola semilla.

Sumar (1983) menciona que las especies de *Amaranthus* alcanzan hasta dos metros de altura, comúnmente poseen solo eje central con pocas ramificaciones laterales. Su raíz pivotante es corta y robusta. El tallo es estriado con aristas fuertes y hueco en el centro cuando alcanza su madurez. Las hojas son largamente pecioladas, romboides, lisas, de escasa pubescencia y la nervadura central es gruesa y prominente. La inflorescencia es una panícula laxa o compacta y de diversos colores; desde blanco amarillento, verde, rosado, rojo, hasta púrpura. El fruto es un pixidio conteniendo una sola semilla de 1 a 1.5 mm de diámetro y de colores variados como blanco, rosado, pardo rojizo, amarillento y negro.

2.3 TAXONOMÍA DEL AMARANTO

Según Alejandre, citado por Sánchez (1980) la familia Amaranthaceae está compuesta por 50 géneros y aproximadamente 800 especies. El género *Amaranthus* se divide en dos secciones: a) *Amaranthus* y b) *Plioptosis*

Sauer, citado por Sánchez (1980) indica que el género *Amaranthus* comprende alrededor de 50 especies de los trópicos y regiones templadas del mundo. Uno de los esfuerzos más valiosos y sostenidos para aclarar la taxonomía del género *Amaranthus*, tal vez sea el de Sauer, quién ha venido investigando desde hace tres décadas las relaciones y orígenes de numerosos ejemplares procedentes de diferentes lugares, logrando simplificar notablemente la clasificación de esos vegetales.

Sánchez (1980) cita a Sauer, indicando que la sección *Amaranthus* incluye especies de granos, amarantos coloridos, tipo hortalizas, ornamentales y malezas comunes. Existe variación en el tamaño de la hoja entre y dentro de especies, el color de la planta es verde o magenta; en las inflorescencias el color oscila de verde a púrpura.

2.4 COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL AMARANTO

Según Saina, citado por Sánchez (1980) el amaranto es una planta de excelente follaje y abundantes semillas, que fácilmente puede cultivarse en el campo, patios, jardines y huertos, por lo que resulta recomendable promover el aprovechamiento alimenticio de sus hojas, tallos y semillas, dada la extraordinaria composición química de todas las partes de la planta.

Rinno, citado por Grubben (1980) estimó que una dieta bien balanceada para europeos, que contenga 100 g de vegetales, provee un 20% de los requerimientos de proteína, un 33% del calcio, un 50% del hierro y el 100% de los requerimientos de carotenos y vitamina C. Estos datos se pueden tomar en cuenta para determinar el potencial de los vegetales en las áreas tropicales.

Campogorra (1982) menciona que el amaranto se considera como la “verdura de los pobres”, por sus cualidades nutritivas. Las hojas son ricas en carotenos, hierro, calcio, vitamina C y otros micronutrientes.

Sánchez (1980) cita a Lotti, quién indica que las hojas pulverizadas de ciertas especies de amaranto, revelan un estimable 23.3 % de proteína en comparación con el material de la planta entera que es de 16.62% (ver cuadro 1). Sánchez (1980) indica que el tallo usualmente contiene de 2.8 a 5.9 g de proteína, más de 300 mg de calcio, alrededor de 30 mg de fósforo y 2 mg de hierro en 100 g de tallo. Los tallos tienen un alto valor nutritivo y su único inconveniente estaría en la parte no digerible de la fibra cruda.

Cuadro 1. Análisis bromatológico de la hoja del amaranto. Composición por 100 g de porción comestible.

Valor energético	42.0	Cal.
Humedad	86.0	%
Proteína	3.7	g
Grasa	0.8	g
Hidratos de carbono (carbohidratos)	7.4	g
Fibra	1.5	g
Ceniza	2.1	g
Calcio	313.0	mg
Fósforo	74.0	mg
Hierro	5.6	mg
Vitamina A	1600.0	mg
Tiamina	0.05	mg
Riboflavina	0.24	mg
Niacina	1.2	mg
Ácido ascórbico	65.0	mg

(Wu y Flores, 1961)

Abbott y Campbell (1982) mencionan que las hojas del amaranto son excepcionalmente altas en calcio y contienen más fibra, niacina y ácido ascórbico que la espinaca, aunque los niveles de proteínas, hierro y otros minerales son similares.

Sánchez (1980) con respecto a la composición química de la semilla, indica que éstas contienen un promedio de 14.7 % de proteína, 3.1 % de grasa, 60.7 % de carbohidratos y además son muy ricas en los siguientes minerales: 510 mg de calcio, 397 mg de fósforo y 11 mg de hierro. Además, tienen proporciones discretas de tiamina, riboflavina, niacina y vitamina C.

Alfaro (1985) indica que un rendimiento adecuado y una composición química aceptable se obtiene al cosechar a los 40 días después de la emergencia, ya que se combinan los siguientes resultados: rendimiento de materia verde 6,530.4 kg/ha, rendimiento de proteína 154.3 kg/ha, contenido de fibra cruda 14.3 kg/ha, contenido de calcio 2279.8 mg, contenido de fósforo 740.9 mg, contenido de hierro 52.7 mg y contenido betacarotenos 24.1 mg (ver cuadro 2).

Cuadro 2. Comparación de hortalizas crudas (hojas), nutrientes seleccionados en 100 g.

Hortaliza	% Humedad	g Proteína	mg Calcio	mg Potasio	mg Hierro	(U.I.) Vitamina A	mg Tiamina	mg Riboflavina	mg Niacina	mg A. ascórbico
A. <i>hypoch.</i>	86.9	3.5	267	67	3.9	6100	0.08	0.16	1.4	80
Acelga	91.1	2.4	89	39	3.2	6500	0.06	0.17	0.5	32
Col rizada	85.3	4.	250	82	1.5	9300	0.16	0.31	1.7	152
Col común	87.5	4.2	179	73	2.2	8900	-	-	-	125
Espinaca	90.7	3.2	93	51	3.1	8100	0.10	0.20	0.6	51

(Composition of foods Handbook No. 8, USDA, Gathere Sánchez Marroquín 1980).

Viyajakumar y Shammugavelu (1985) en una evaluación con *A. hypochondriacus*, determinaron que el rendimiento de materia verde y materia seca, aumentan conforme

a la edad de la planta, mientras que el contenido o calidad nutricional disminuye sensiblemente después de los 40 días.

2.5 DATOS SOBRE EL CULTIVO DE AMARANTO

Según Sánchez (1980) los amarantos domésticos tienen la raíz principal larga y vigorosa, lo cual les permite resistencia a las sequías. Su gran cantidad de hojas anchas y hábito erecto forman una cubierta densa, útil para el control de malezas.

Sánchez (1980) indica que un cultivo dicotiledóneo para grano podría proporcionar nuevas oportunidades para rotación de cultivos, siembras dobles y múltiples, o romper grandes extensiones de cereales para contribuir a la disminución de enfermedades. Con respecto a la siembra del amaranto, menciona dos métodos: siembra directa y trasplante. En el primer método, las semillas son esparcidas con la mano, mezcladas con arena para lograr una distribución uniforme; la cantidad de semilla utilizada es aproximadamente de 5 – 10 kg/ha. La siembra se puede hacer en hileras distanciadas entre 20 a 30 cm, a la tercera semana de germinación se puede efectuar un raleo, dejando entre 3 a 5 cm de distancia entre plantas. En el segundo método, las semillas son sembradas al voleo y cubiertas con una delgada capa de suelo, para ser trasplantadas al campo definitivo después de dos a tres semanas.

En lo que se refiere a densidades de población, Ruttle, citado por Sánchez (1980) en un experimento con *Amaranthus hypochondriacus*, llegó a determinar que la densidad de la población óptima es de 40,000 plantas/ha o sea la mayor que evaluó. Estos resultados se completaron con datos obtenidos de 80 lugares, sembrados todos con *Amaranthus hypochondriacus*, notándose mucha uniformidad en los rendimientos.

En cuanto a rendimiento, Grubben (1980) menciona que este varía de acuerdo al clima, fertilidad del suelo y densidades de siembra. También se debe considerar la edad de la planta en el momento de la cosecha; plantas jóvenes son más suculentas y la porción

comestible es mayor, pero la cosecha realizada en estado tardío puede dar mayores rendimientos, aunque menos calidad.

Los rendimientos de grano son muy variables, así se han reportado rendimientos desde 900 hasta 4,000 kg/ha, y en lo que se refiere al rendimiento de materia verde, en *A. hybridus* se obtuvieron hasta 20 t/ha de materia fresca a los 40 días después de la siembra, de los cuales el porcentaje de hojas osciló entre 42 y 60%, mientras que en *A. cruentus* y *A. caudatus* se han obtenido alrededor de 30 t/ha de materia verde a los 40 días y alrededor de 60 t/ha a los 60 días, también con porcentajes de hojas superiores al 40% (Nieto, 1990).

Campbell y Abbott (1982) en una evaluación de 20 materiales de amaranto, obtuvieron rendimientos que variaron desde 3 a 17 t/ha, utilizando una densidad de siembra de 200 plantas/m², habiendo realizado una cosecha durante la floración temprana por corte de la planta a una altura de 5 cm arriba del suelo. Los mayores rendimientos fueron obtenidos durante un período de precipitación moderada y altas temperaturas.

Willson, citado por Oke (1980), comparó los efectos de la siembra al voleo y en hileras, utilizando cinco niveles de fertilización de NPK (15-15-15), encontró que la siembra al voleo fue superior a la siembra en hilera. La respuesta al nivel de 200 kg NPK/ha, fue superior al de 0 y 100 kg de NPK. Sin embargo, los niveles de fertilidad no afectaron la composición química de las hojas.

Kogbe, citado por Oke (1980) encontró que la cosecha comercial (peso fresco total) y la cosecha comestible (peso fresco de la hoja, incluyendo pecíolo), se incrementó significativamente al utilizar 20 t/ha de gallinaza. El rendimiento obtenido sin fertilización fue de 22 t/ha de peso fresco total y alcanzó 45.5 t/ha al aplicar 20 t/ha de gallinaza.

2.6 VENTAJAS DEL CULTIVO DE AMARANTO

Sánchez (1994) menciona algunas ventajas relevantes del cultivo, las cuales son:

- a) Supera a los cereales básicos (maíz, trigo y arroz) y a otros cereales (cebada y sorgo) en rendimiento de grano y paja/ha y de proteína total/ha en condiciones de 300-700 mm de precipitación anual y suelos de mediana a baja calidad.
- b) Crece desde 0 – 3000 msnm.
- c) Las hojas y las semillas la consumen los humanos, ya sea como ensaladas, estofados, pan, cajetas, bollos, polvorones, galletas, mazapanes, alegrías, etc.
- d) Aumento de la extensión de tierras cultivables por sus pocas exigencias y adaptabilidad, incrementando la rentabilidad de la tierra y aumentando ingresos para el campesino por sus altos rendimientos.
- e) Menor costo de producción por área cultivada, comparado con otros cultivos similares.

2.7 ESTUDIOS REALIZADOS EN GUATEMALA SOBRE EL AMARANTO

Alfaro (1985) realizó una evaluación del rendimiento y composición química del amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*), en el Centro Experimental de la Facultad de Agronomía, de la Universidad de San Carlos; obtuvo que el rendimiento de materia verde obtenido con una densidad 144,284 plantas/ha, permite inferir que, reduciendo las distancias entre posturas a 0.15 y 0.20 m (266,666 y 200,000 plantas/ha respectivamente), sería posible obtener rendimientos de 15,238.8 kg/ha de materia verde, haciendo el corte entre los 35 y 40 días.

La misma autora indica que los rendimientos al realizar el corte a los 25 días después de la emergencia, son bastante bajos, pero pueden ser incrementados reduciendo el espacio entre plantas, ya que la composición química del amaranto en esta etapa es mayor y puede aprovecharse para el consumo, tanto las hojas como el tallo.

Beteta (1987) en una evaluación del rendimiento y contenido de proteína foliar de 16 cultivares de amaranto (*Amaranthus* spp.), realizado en la finca Bulbuxyá, San Miguel Panam, Suchitepéquez, indica que con una densidad de 83,333 plantas/ha, los cultivares que mejor se comportaron con respecto al rendimiento bruto verde, neto verde, neto seco y altura de corte fueron: Fa-350, INCAP-23206, INCAP-17-USA-805-649, INCAP-8-USA-825-434.

Corado (1986) en una evaluación de rendimiento foliar de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) utilizando dos métodos y diferentes distanciamientos de siembra, realizado en el Centro Experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos, obtuvo que con una densidad de 83,333 plantas/ha (distanciamiento de 0.6 m entre surcos y 0.2 m entre plantas), el rendimiento foliar de peso bruto y peso neto fue de 7,000 kg/ha y 3,372 kg/ha respectivamente, utilizando el método de siembra directa.

Escalante (1987) en una evaluación del rendimiento foliar y proteína de 16 materiales promisorios de bleado (*Amaranthus* spp.), realizado en Salamá, Baja Verapaz, concluyó que con una densidad de 83,333 plantas/ha, el rendimiento de peso bruto fresco, peso neto fresco y el peso neto seco, son altamente variables y fueron los materiales 8-USA-825-434 y 23-206, los que presentaron los rendimientos más altos.

Pérez (1987) en una evaluación del rendimiento foliar de cinco cultivares seleccionados de *Amaranthus* spp., en la aldea Buena Vista, Chimaltenango, indica que los mayores rendimientos en materia verde, con una densidad de 41,666 plantas/ha fueron de 933.76 kg/ha y 812.90 kg/ha; que corresponde a los cultivares 23206 y H.S. respectivamente, y que comparado con los obtenidos con otros investigadores se consideran bajos.

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

Hoy en día el cultivo del amaranto ha generado gran interés en diversas partes del mundo, por su utilización diversificada, ya que puede usarse la semilla y la hoja tierna, así como los residuos de cosecha de la semilla.

Con respecto a la relación densidad de siembra con el rendimiento, se puede indicar que el rendimiento es la expresión de todos los factores (luz, temperatura, agua, fotosíntesis, superficie fotosintética) que actúan durante el ciclo vital de la planta. La densidad de siembra tiene efectos sobre el rendimiento a través del número de plantas/ha, el rendimiento decrece debido probablemente a la falta de recursos adecuados del medio, por la misma presión de competencia entre las plantas. Un factor a favor de las densidades más altas y distancias entre surcos más cortos, es que las plantas cubren el suelo más rápidamente y cubren la maleza que está germinando, no permitiéndole desarrollarse.

Debido a la poca importancia dada al cultivo hasta hace unos pocos años, en Guatemala no se tienen conocimientos sólidos sobre el manejo del mismo, específicamente sobre la densidad de población, que asegure una rentabilidad aceptable en una plantación comercial. Sin embargo, a nivel internacional, se han obtenido datos contradictorios en diversos ensayos, en los cuales algunos reportan a la siembra al chorrío como la mejor, mientras en otros informes se reporta que la siembra en la cual existe un distanciamiento entre surcos y uno entre plantas, es superior para la producción de hoja.

Por lo anterior, en el presente estudio se propuso generar tecnología y contribuir de alguna forma al conocimiento sobre el potencial productivo del amaranto, evaluando diferentes distanciamientos de siembra.

IV. OBJETIVOS

4.1 GENERAL

Generar tecnología para la producción de biomasa en amaranto, bajo las condiciones del municipio de Guazacapán, Santa Rosa.

4.2 ESPECÍFICOS

- Determinar el efecto de diferentes densidades de siembra sobre la producción de biomasa en el cultivo de amaranto
- Determinar con cuál de los tratamientos a evaluar se obtiene una mejor relación beneficio-costos.

V. HIPÓTESIS

Al menos una de las densidades de siembra a evaluar incrementa el rendimiento de biomasa en el amaranto.

Por lo menos uno de los tratamientos a evaluar presenta una mayor relación beneficio-costos en el cultivo de amaranto.

VI. METODOLOGÍA

6.1 LOCALIZACIÓN

La evaluación se realizó en la aldea Platanares, sector Camalote, kilómetro 109.5 por la carretera CA2, Guazacapán, Santa Rosa, coordenadas 14° 4' 9,0" latitud norte y 90° 26' 10.8" longitud oeste. La altitud es de 235 metros sobre el nivel del mar. Guazacapán colinda con los siguientes municipios: al norte con Pueblo Nuevo Viñas, al este con Chiquimulilla, al oeste con Taxisco y al sur con el Canal de Chiquimulilla y luego con el Océano Pacífico. Dista de Cuilapa, la cabecera departamental, 45 kilómetros y 114 kilómetros de la capital de la República. Las poblaciones vecinas de Taxisco y Chiquimulilla distan a cinco y tres kilómetros, respectivamente.

Según el sistema de clasificación de zonas de vida (Holdrige, 1982) el área corresponde a la zona ecológica bosque húmedo subtropical cálido.

La precipitación media anual es de 1,756 mm, humedad relativa media anual: 84.95 %, temperatura media anual: 24.6 °C (INSIVUMEH, 2011).

Según Simmons, Tarano y Pinto (1959), los suelos pertenecen a la serie Taxisco, color café rojizo oscuro, con clase textural franco arcillosa y una profundidad de 1.25 m.

6.2 MATERIAL EXPERIMENTAL

El material experimental lo conformó la semilla de amaranto (*Amaranthus caudatus*)

6.3 FACTORES ESTUDIADOS

De acuerdo a los resultados se trabajó con dos factores:

- a) Distanciamiento entre plantas
- b) Distanciamiento entre surcos

6.4 DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS

Se evaluaron 9 tratamientos, los cuales se describen a continuación:

Tratamiento 1	a1b1	0.1 m entre plantas y 0.4 m entre surcos (250,000 plantas/ha)
Tratamiento 2	a2b1	0.1 m entre plantas y 0.5 m entre surcos (200,000 plantas/ha)
Tratamiento 3	a3b1	0.1 m entre plantas y 0.6 m entre surcos (166,666 plantas/ha)
Tratamiento 4	a1b2	0.2 m entre plantas y 0.4 m entre surcos (125,000 plantas/ha)
Tratamiento 5	a2b2	0.2 m entre plantas y 0.5 m entre surcos (100,000 plantas/ha)
Tratamiento 6	a3b2	0.2 m entre plantas y 0.6 m entre surcos (83,333 plantas/ha)
Tratamiento 7	a1b3	0.3 m entre plantas y 0.4 m entre surcos (83,333 plantas/ha)
Tratamiento 8	a2b3	0.3 m entre plantas y 0.5 m entre surcos (66,666 plantas/ha)
Tratamiento 9	a3b3	0.3 m entre plantas y 0.6 m entre surcos (55,555 plantas/ha)

6.5 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, con arreglo en parcelas divididas, con tres repeticiones. De cada tratamiento se obtuvieron tres submuestras, de 10 plantas cada una.

La parcela grande estuvo constituida por los distanciamientos entre surcos

- a1 distanciamientos 0.4 m
- a2 distanciamientos 0.5 m
- a3 distanciamientos 0.6 m

La parcela pequeña se refiere a los distanciamientos entre plantas, siendo los siguientes.

- b1 distanciamientos 0.1 m
- b2 distanciamientos 0.2 m
- b3 distanciamientos 0.3 m

6.6 MODELO ESTADÍSTICO

El modelo estadístico que se utilizó fué el siguiente:

$$Y_{ijkl} = U + R_i + A_j + E_{ij} + B_k + AB_{jk} + E_{ijk} + M_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} = Variable respuesta asociada a la $ijkl$ -ésima unidad experimental.

U = Efecto de la media general.

R_i = Efecto del i -ésimo bloque.

A_j = Efecto del j -ésimo nivel del factor "A" (distancia entre surcos.)

E_{ij} = Error experimental asociado a parcela grande.

B_k = Efecto del k -ésimo nivel del factor "B" (distancia entre plantas.)

AB_{jk} = Efecto debido a la interacción del j -ésimo nivel del factor A con los k -ésimos niveles del factor B.

E_{ijk} = Error experimental asociado a parcela pequeña.

M_{ijkl} = Error de muestreo debido al i -ésimo bloque, j -ésimo nivel del factor A, k -ésimo nivel del factor B y l -ésima submuestra.

6.7 UNIDAD EXPERIMENTAL

La unidad experimental constó de 3 metros de ancho por 6 metros de largo, cada una equivalente a 18 m². Constando de 6, 7 y 8 surcos, dependiendo de los distanciamientos evaluados.

El número total de plantas por parcela fue de 450, 360, 300, 225, 180, 150, 150, 120, 100, dependiendo de los distanciamientos evaluados.

El área neta del experimento fue de 754 m².

6.8 CROQUIS DE CAMPO

La distribución de los tratamientos en el campo se muestra en la figura 1.

a3			a1			a2		
b3	b1	b2	b2	b3	b1	b1	b2	b3

a2			a1			a3		
b2	b1	b3	b3	b1	b2	b3	b1	b2

a3			a2			a1		
b3	b1	b2	b2	b3	b1	b2	b1	b3

Figura 1. Distribución de los tratamientos en campo.

6.9 MANEJO DEL EXPERIMENTO

El amaranto se cultivó desde la segunda semana de abril (preparación del terreno), hasta la cuarta semana de junio. En el terreno seleccionado se distribuyeron las parcelas con orientación este a oeste, de esta forma se aprovechó en mejor forma la radiación solar. La distribución de los diferentes tratamientos fue al azar dentro del bloque.

6.9.1 Preparación del terreno

Se realizó en forma manual, utilizando un herbicida sistémico (Glifosato), con el propósito de dejar el terreno libre de malezas.

6.9.2 Siembra

Se utilizó el método de siembra directa, colocando un promedio de 10 semillas por postura, debido a las pequeñas dimensiones de éstas y se colocaron a las diferentes distancias en evaluación.

6.9.3 Raleo

Este se realizó a los veinte días después de la germinación, dejando una planta por postura.

6.9.4 Fertilización

No se realizó fertilización alguna, se trabajó en condiciones de fertilidad natural del suelo.

6.9.5 Limpias

Debido a la incidencia abundante de malezas, se practicaron limpiezas en forma manual, cada 15 días, haciendo un total de tres en todo el ciclo del cultivo.

6.9.6 Control de plagas

Para el control de la tortuguilla (*Diabrotica* sp.) se aplicó un insecticida de tipo piretroide (Imidacloprid), en dosis de 0.5 L/ha a los 30 días después de la emergencia.

6.9.7 Riegos

Se realizaron cuando se consideró que existía poca humedad en el suelo.

6.9.8 Cosecha

Se realizó manualmente, cortando las plantas con su tallo, a una altura de cinco centímetros del suelo, a los 60 días después de la germinación.

Se cosecharon los surcos centrales de cada parcela, divididos en 3 submuestras por cada tratamiento y dejando los surcos laterales para efecto de borde, obteniendo manojos de 10 plantas cada uno, que fueron transportados al lugar donde se realizó la toma de datos.

6.10 VARIABLES DE RESPUESTA

Durante el experimento se evaluaron las siguientes variables.

6.10.1 Días a emergencia

Días tomados desde el momento de la siembra, hasta que la plantación emergió por lo menos en el 50% del total de posturas existentes en el área neta de la parcela.

6.10.2 Porcentaje de emergencia

Se obtuvo a los 12 días, a partir de la relación: número de posturas emergidas y el número de posturas colocadas durante la siembra.

6.10.3 Altura de planta al momento del corte (cm)

Se tomaron 10 plantas por parcela neta, a las cuales se les midió el incremento en altura cada 12 días, con el fin de determinar su curva de crecimiento. A los 60 días después de la germinación, se midió la altura final de las plantas, de la base del tallo al ápice apical.

6.10.4 Rendimiento bruto de materia fresca (kg/ha)

Este dato se obtuvo cortando las plantas a una altura de 5 cm del suelo. Luego se pesó el tallo y las hojas de las mismas, posteriormente se hizo la conversión a kg/ha.

6.10.5 Rendimiento neto fresco (kg/ha)

Del rendimiento bruto de materia fresca se restó el peso correspondiente al tallo. Se hicieron las correspondientes conversiones a kg/ha.

6.10.6 Rendimiento neto de materia seca (kg/ha)

Muestras de las hojas se colocaron en bolsas de papel kraft, las cuales se perforaron con anterioridad para permitir la circulación del aire, para que el secado fuera más uniforme. Dichas bolsas fueron colocadas en un horno, con una temperatura de 60 °C, durante un período de 16 horas, después del cual se procedió a tomar el peso seco (g) y posteriormente se hizo la conversión a kg/ha.

6.11 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

6.11.1 Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) α 0.05, a las siguientes variables:

- * Altura de la planta al momento del corte
- * Rendimiento de materia fresca
- * Rendimiento neto fresco
- * Rendimiento neto de materia seca

Cuando los análisis de varianza mostraron diferencia significativa entre tratamientos, se realizó una prueba de Tukey (0.05). Posteriormente cada variable de respuesta se

procedió a discutirla, de acuerdo a los resultados obtenidos y los criterios agronómicos del investigador.

6.11.2 Análisis económico

En el análisis económico se determinó cuál de las densidades de siembra era la mejor opción económica, tomando en cuenta el costo de producción, ingreso por venta, utilidad neta y beneficio-costo.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 DÍAS A EMERGENCIA

En el cuadro 3 se presentan los resultados de las variables porcentaje de emergencia y días a emergencia, en donde se observó que los tratamientos 3, 5, 6 y 9 germinaron a los cuatro días, y los distanciamientos restantes a los cinco días

7.2 PORCENTAJE DE EMERGENCIA

Se tomó el porcentaje de emergencia (cuadro 3) y en éste se observó que los distanciamientos 0.2 entre plantas y 0.6 entre surcos y 0.3 metros entre plantas y 0.5 metros entre surcos tienen los porcentajes de emergencia más altos.

Cuadro 3. Resultados obtenidos de porcentaje de emergencia y días a emergencia.

Tratamiento	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Porcentaje de emergencia	94	95	95	95	95	96	95	96	95
Días a emergencia	5	5	4	5	4	4	5	5	4

7.3 ALTURA DE PLANTAS AL MOMENTO DEL CORTE

En el cuadro 4 se presenta un resumen de los resultados obtenidos de cada una de las variables evaluadas, en el que se aprecia que con respecto a la altura al momento del corte, el distanciamiento de 0.6 metros entre surcos y 0.3 metros entre plantas, con una densidad de 55,555 plantas/ha, presentó la mayor altura, con un promedio de 186 cm,

siguiéndole en orden de importancia el distanciamiento de 0.5 metros entre surcos y 0.3 metros entre plantas, con una densidad de 66,666 plantas/ha, con una altura promedio de 160 cm.

Con respecto a esta variable, se observa que los tratamientos en los cuales el distanciamiento entre plantas fue de 0.1 metros, obtuvo los promedios más bajos, aunque el distanciamiento de 0.4 metros entre surcos y 0.2 metros entre plantas, con una densidad de 125,000 plantas/ha presentó la altura más baja, con un promedio de 104 cm. Esto es explicable debido a que presentan las densidades más altas, lo que ocasiona que las raíces detengan su proceso de expansión, con lo cual se reduce el rendimiento de cada planta, debido a la competencia que se produce entre ellas mismas.

Cuadro 4. Resumen de los resultados promedio obtenidos para cada una de las variables analizadas.

Distanciamiento de Siembra (m)		Densidades Plantas/ha	A.M.C. (cm)	R.B.F. (kg/ha)	R.N.F. (kg/ha)	R.M.S. (kg/ha)
D/S	D/P					
0.6	0.3	55,555	186	9626	3031	532
0.5	0.3	66,666	160	9483	2905	485
0.4	0.3	83,333	149	9207	2834	468
0.6	0.2	83,333	123	9180	2779	441
0.5	0.2	100,000	122	8997	2730	420
0.4	0.2	125,000	104	8907	2646	393
0.6	0.1	166,666	121	8997	2728	362
0.5	0.1	200,000	115	8532	2662	362
0.4	0.1	250,000	116	8046	2538	292

REFERENCIAS:

D/S	= Distancia entre surcos	R.B.F	= Rendimiento bruto fresco
D/P	= Distancia entre plantas	R.N.F.	= Rendimiento neto fresco
A.M.C.	= Altura al momento del corte	R.M.S.	= Rendimiento materia seca

A lo largo del ciclo vegetativo se tomaron datos de altura de crecimiento, de ellos se elaboraron curvas de crecimiento (figura 2). Dichos datos fueron de alto valor para medir el desarrollo en cada densidad, bajo condiciones ambientales de Guazacapán, Santa Rosa.

El mayor potencial de crecimiento se observó entre los 45 a 60 días después de la germinación.

Los valores más altos en cuanto a altura se refiere se encontraron en los distanciamientos 0.2 x 0.6 (123 cm), 0.3 x 0.4 (149 cm), 0.3 x 0.5 (160 cm) y 0.3 x 0.6 (186 cm) en la última lectura a los 60 días después de la emergencia.

En general el cultivo del amaranto presenta complicaciones durante sus primeras etapas de crecimiento. Sin embargo, se confirma en la presente investigación que el mayor rendimiento de materia verde se obtiene entre los 40 y 50 días después de la emergencia.

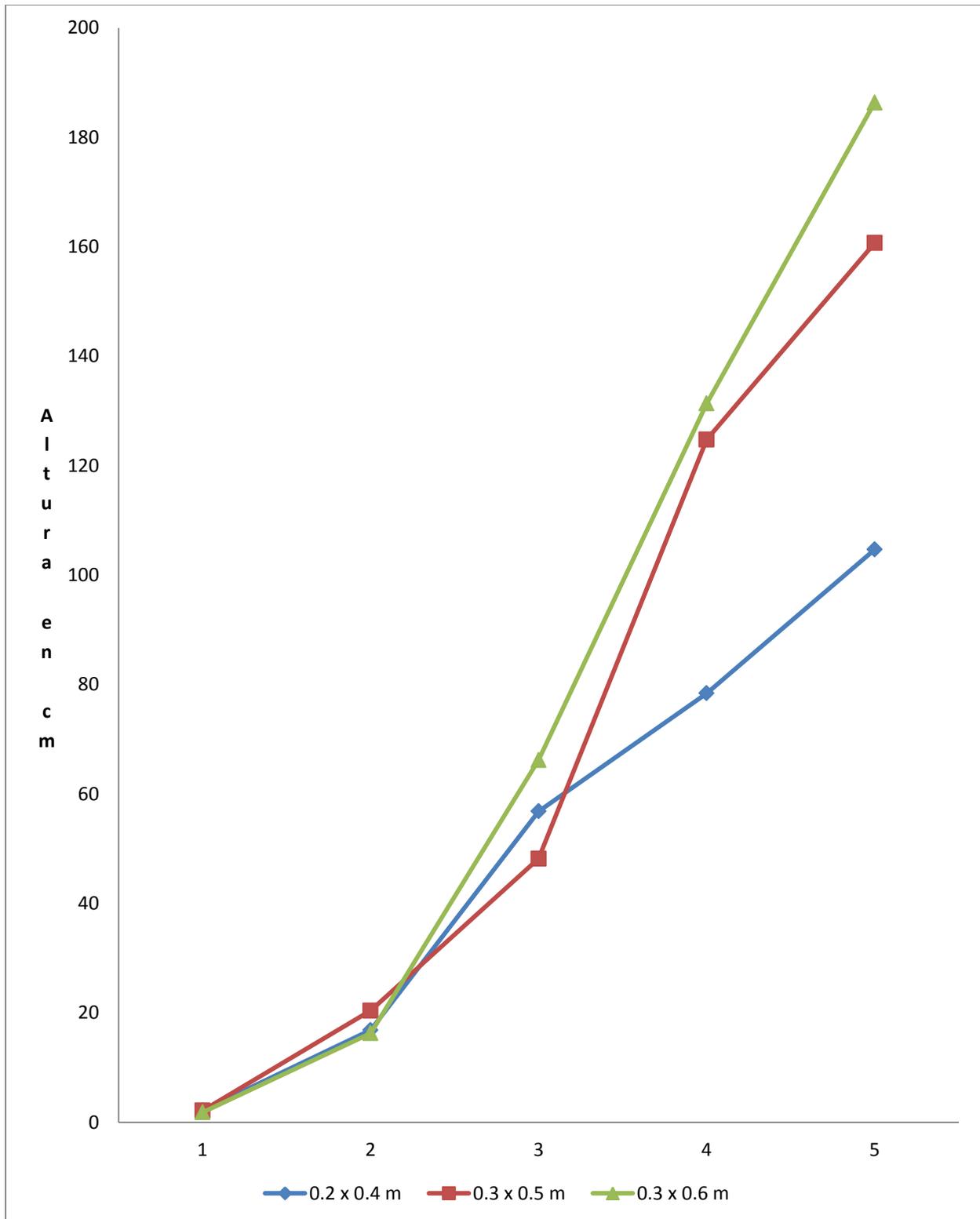


Figura. 2 Curvas de crecimiento de los 2 distanciamientos más sobresalientes y del menos sobresaliente en amaranto.

En el cuadro 5 se observan los resultados del análisis de varianza efectuado a la variable altura al momento del corte.

Para el factor “A” y factor “B”, existió diferencia significativa, tanto al 1% como al 5%, esto indica que el distanciamiento entre plantas y distanciamiento entre surcos tuvieron influencia en el comportamiento de la altura, lo cual se debe a la competencia directa que hay entre las plantas en su etapa de desarrollo.

El análisis de varianza del cuadro 5 muestra que para la interacción de los factores A x B (distancia entre plantas x distancia entre surcos), no existió diferencia significativa.

Cuadro 5. Resumen del análisis de varianza para altura al momento del corte.

Fuente de variación	gl	F cal		F tab	
				0.05	0.01
Bloques	2				
Factor A	2	39.45	**	6.94	4.33
Error a	4				
Factor B	2	6.78	**	3.89	2.81
Interacción	4	1.89	NS	3.26	2.48
Error b	12				
Total	26				

- * Significativo al 5%
- ** Significativo al 1%
- NS No Significativo
- Factor A Distanciamiento entre surcos
- Factor B Distanciamiento entre plantas

En el cuadro 6 se observa que no existió diferencia entre los distanciamientos 0.4 metros y 0.5 metros entre surcos, con un promedio 123.22 cm y 132.67 cm respectivamente; los distanciamientos 0.4 metros y 0.6 metros fueron estadísticamente diferentes, con un promedio de 123.22 cm y 143.56 cm, debido a la densidad de plantas que existe para el distanciamiento 0.4 metros, mientras que para el distanciamiento 0.6 metros la densidad de plantas es menor, por lo tanto, la planta crecerá más.

Cuadro 6. Prueba de Tukey en el factor "A" para altura al momento del corte.

Distancia entre surcos	Promedio (cm)	Comparador
0.6 m	143.56 a	18.73
0.5 m	132.67 b	
0.4 m	123.22 b	

En el cuadro 7 se observa que no existió diferencia entre los distanciamientos 0.2 metros y 0.1 metros entre plantas, que tuvieron 116.67 cm y 117.44 cm promedio de altura respectivamente, lo cual indica que estadísticamente fueron iguales. Además se puede notar que el distanciamiento 0.3 metros fue estadísticamente diferente, presentando un promedio de 165.33 cm, esto debido a la menor competencia que existió entre las mismas plantas.

Cuadro 7. Prueba de Tukey en el factor "B" para altura al momento del corte.

Distancia entre plantas	Promedio (cm)	Comparador
0.3 m	165.33 a	18.73
0.1 m	117.44 b	
0.2 m	166.67 b	

7.4 RENDIMIENTO BRUTO DE MATERIA FRESCA

En cuanto al rendimiento bruto de materia fresca, el distanciamiento de siembra que obtuvo el mayor rendimiento fue el de 0.6 metros entre surcos y 0.3 entre plantas, con un rendimiento de 9626.67 kg/ha; seguido del distanciamiento de 0.5 metros entre surcos y 0.3 metros entre plantas, con un rendimiento de 9483.67 kg/ha; el distanciamiento de 0.4 metros entre surcos y 0.1 metros entre plantas, obtuvo el menor rendimiento, con 8046.33 kg/ha.

Cuadro 8. Resumen del análisis de varianza para rendimiento bruto fresco.

Fuente de variación	Gl	F cal	0.05	F tab	0.01
Bloques	2				
Factor A	2	48.30 **	6.94		4.33
Error a	4				
Factor B	2	16.83 **	3.89		2.81
Interacción	4	2.46 NS	3.26		2.48
Error b	12				
Total	26				

* Significativo al 5%
 ** Significativo al 1%
 NS No Significativo
 Factor A Distanciamiento entre surcos
 Factor B Distanciamiento entre plantas

En el cuadro 9 se observa que existió diferencia entre los distanciamientos 0.4 metros, 0.5 metros y 0.6 metros entre surcos, para la variable rendimiento bruto fresco, cuyos rendimientos promedios fueron 8720.44 kg/ha, 9004.22 kg/ha y 9267.89 kg/ha respectivamente, lo cual indica que fueron estadísticamente diferentes, debido a las densidades que resultaron de cada distanciamiento.

Cuadro 9. Prueba de Tukey en el factor "A" para rendimiento bruto fresco.

Distancia entre surcos	Promedio (kg/ha)	Comparador
0.6 m	9267.89 a	228.12
0.5 m	9004.22 b	
0.4 m	8720.44 c	

En el cuadro 10 se aprecia que existió diferencia entre los distanciamientos 0.3 metros, metros, 0.2 metros y 0.1 metro entre plantas para la variable rendimiento bruto fresco, cuyos promedios fueron de 9439.33 kg/ha, 9028.11 kg/ha y 8525.11 kg/ha respectivamente, lo cual indica que fueron estadísticamente diferentes entre si

Cuadro 10. Prueba de Tukey para el factor "B" para rendimiento bruto fresco.

Distancia entre plantas	Promedio (kg/ha)	Comparador
0.3 m	9439.33 a	228.12
0.2 m	9028.11 b	
0.1 m	8525.11 c	

7.5 RENDIMIENTO NETO FRESCO

Con respecto al rendimiento neto fresco, el rendimiento más alto fue para el distanciamiento de 0.6 metros entre surcos y 0.3 metros entre plantas, cuyo rendimiento fue de 3031.67 kg/ha; siguiéndole el distanciamiento de 0.5 metros entre surcos y 0.3 metros entre plantas con 2905.00 kg/ha, correspondiendo el rendimiento más bajo al distanciamiento de 0.4 metros entre surcos y 0.1 metros entre plantas, con 2538.67 kg/ha.

Cuadro 11. Resumen del análisis de varianza para rendimiento neto fresco.

Fuente de variación	gl	F cal	0.05	F tab	0.01
Bloques	2				
Factor A	2	41.01 **	6.94		4.33
Error a	4				
Factor B	2	16.92 **	3.89		2.81
Interacción	4	0.46 NS	3.26		2.48
Error b	12				
Total	26				

* Significativo al 5%

** Significativo al 1%

NS No Significativo

Factor A Distanciamiento entre surcos

Factor B Distanciamiento entre plantas

En el cuadro 12 se aprecia que no existió diferencia entre los tratamientos 0.5 metros y 0.6 metros entre surcos, con promedios de peso neto fresco de 2766.00 kg/ha y

2846.33 kg/ha respectivamente, debido que los distanciamientos 0.5 y 0.6 metros brindan más espacio a las plantas para poder desarrollarse.

Cuadro 12. Prueba de Tukey en el factor “A” para rendimiento neto fresco.

Distancia entre surcos	Promedio (kg/ha)	Comparador
0.6 m	2846.33 a	87.61
0.5 m	2766.00 a	
0.4 m	2673.22 b	

En el cuadro 13 se observa que no existió diferencia entre los distanciamientos 0.1 metros y 0.2 metros entre posturas para la variable peso neto fresco, con: 2643.11 kg/ha y 2718.78 kg/ha respectivamente, presentando el distanciamiento 0.3 metros el rendimiento más alto, con 2923.67 kg/ha, esto debido a la menor competencia que existió entre plantas para producir más follaje.

Cuadro 13. Prueba de Tukey en el factor “B” para rendimiento neto fresco.

Distancia entre plantas	Promedio (kg/ha)	Comparador
0.3 m	2923.67 a	87.61
0.2 m	2718.78 b	
0.1 m	2643.11 b	

7.6 RENDIMIENTO NETO DE MATERIA SECA

En cuanto a la variable rendimiento de materia seca, sobresalió el distanciamiento de 0.6 metros entre surcos y 0.3 metros entre plantas, con un rendimiento promedio de 532.33 kg/ha, siguiéndole el distanciamiento de 0.5 metros entre surcos y 0.3 metros entre plantas, cuyo rendimiento promedio fue de 485.00 kg/ha, mientras que el rendimiento promedio más bajo correspondió al distanciamiento de 0.4 metros entre surcos y 0.1 metros entre plantas, con 292.33 kg/ha.

Cuadro 14. Resumen del análisis de varianza para rendimiento neto de materia seca.

Fuente de variación	gl	F cal	0.05	F tab	0.01
Bloques	2				
Factor A	2	48.79 **	6.94		4.33
Error a	4				
Factor B	2	15.08 **	3.89		2.81
Interacción	4	1.33 NS	3.26		2.48
Error b	12				
Total	26				

* Significativo al 5%
 ** Significativo al 1%
 NS No Significativo
 Factor A Distanciamiento entre surcos
 Factor B Distanciamiento entre plantas

En el cuadro 15 se aprecia que no existió diferencia entre los distanciamientos 0.5 metros y 0.6 metros, con promedios de rendimiento en materia seca de 422.44 kg/ha y 445.33 kg/ha respectivamente, presentando el distanciamiento 0.4 metros el rendimiento más bajo, con 384.67 kg/ha.

Cuadro 15. Prueba de Tukey en el factor "A" para rendimiento neto de materia seca.

Distancia entre surcos	Promedio (kg/ha)	Comparador
0.6 m	445.33 a	33.35
0.5 m	422.44 a	
0.4 m	384.67 b	

En el cuadro 16 se observa que existió diferencia entre los tres distanciamientos entre posturas, el de 0.1 metro obtuvo un rendimiento de materia seca promedio de 339.00 kg/ha, el distanciamiento 0.2 metros un rendimiento promedio de 418.22 kg/ha y el distanciamiento 0.3 metros un rendimiento 495.22 kg/ha.

Cuadro 16. Prueba de Tukey en el factor “B” para rendimiento neto de materia seca.

Distancia entre plantas	Promedio (kg/ha)	Comparador
0.3 m	495.22 a	33.35
0.2 m	418.22 b	
0.1 m	339.00 c	

En el cuadro 17 se presentan los resultados de los coeficientes de variación que registran un intervalo de 5.33 – 19.92%, indicativo de un buen manejo del experimento.

Cuadro 17. Coeficientes de variación de las variables estudiadas.

Variable	C.V.
Altura al momento del corte	19.92 %
Rendimiento bruto fresco	5.34 %
Rendimiento neto fresco	5.33 %
Rendimiento materia seca	17.61 %

Con respecto al rendimiento bruto fresco, rendimiento neto fresco y rendimiento materia seca, los promedios más bajos los presentan aquellos tratamientos en los que el distanciamiento entre plantas fue de 0.1 metros, esto puede ser debido a las altas densidades que presentan estos tratamientos, lo cual ocasiona que los tallos sean más delgados, las hojas más pequeñas y delgadas, lo que provoca una disminución tanto en su capacidad fotosintética, como en su capacidad competitiva.

7.7 ANÁLISIS ECONÓMICO

En el cuadro 18 se presentan los resultados del análisis económico para los nueve tratamientos en estudio.

El valor del kilogramo de amaranto (peso bruto) se determinó cotizando precios por manojo en diferentes mercados y luego haciendo la relación a la unidad de interés. Se llegó a concluir que el precio actual del kilogramo de amaranto es de Q 6.00

En este análisis se puede observar que los tratamientos 0.3 x 0.6 y 0.3 x 0.5 presentaron las más altas rentabilidades, siendo éstas de 606.24 y 573.29 % respectivamente.

Atendiendo a los índices de rentabilidad, es notorio que el cultivo de amaranto es un cultivo rentable, lo que da un estímulo fuerte al productor.

De esta manera al considerar la generación de tecnología para este cultivo y aún más al incorporar otras prácticas de cultivo, nos conducen a un alza considerable en los rendimientos.

Cuadro 18. Análisis económico de los tratamientos evaluados.

Tratamiento	Rendimiento (kg/ha)	Ingreso bruto (Q/ha)	Costo total (Q/ha)	Ingreso neto (Q/ha)	Rentabilidad (%)	Relación Beneficio/ Costo
0.3 x 0.6	9626.67	57,760.02	8,178.50	49,581.52	606.24	6.06
0.3 x 0.5	9483.67	56902.02	8,451.30	48,450.72	573.29	5.73
0.3 x 0.4	9207.66	55,245.96	8,655.90	46,590.05	538.25	5.38
0.2 x 0.6	9180.00	55080.00	8,473.04	46,606.96	550.06	5.5
0.2 x 0.5	8997.00	53982.00	8,838.77	45,143.23	510.74	5.1
0.2 x 0.4	8907.33	53,443.98	9,512.90	43,931.07	461.81	4.61
0.1 x 0.6	8997.00	53,982.00	9,774.84	44,207.16	452.25	4.52
0.1 x 0.5	8532.00	51,192.00	10,323.44	40,868.57	395.88	3.96
0.1 x 0.4	8046.33	48,277.98	11,158.70	37,119.27	332.65	3.33

VIII. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos y diferentes análisis del presente trabajo se concluye:

- * El *Amaranthus caudatus* muestra marcada respuesta a los distanciamientos de siembra evaluados, en cuanto a su rendimiento de biomasa, aceptándose la hipótesis planteada.
- * El distanciamiento de siembra 0.3 metros entre plantas, presenta los mejores resultados en cada una de las variables evaluadas.
- * Los distanciamientos de 0.6 metros entre surcos y 0.3 metros entre plantas (densidad de 55,555 plantas/ha) tiene un rendimiento superior y proporciona la más alta rentabilidad, siendo esta de 606.24%.
- * El mayor rendimiento bruto de materia fresca se encontró en el distanciamiento 0.3 x 0.6 m, con un rendimiento de 9,626 kg/ha.
- * Los distanciamientos de 0.6 metros entre surcos y 0.3 metros entre plantas (densidad de 55,555 plantas/ha) tiene la relación beneficio costo más alta con una relación de 6.06.

IX. RECOMENDACIONES

De acuerdo con los resultados y conclusiones obtenidas en esta investigación se recomienda lo siguiente:

- * Se recomienda la utilización del distanciamiento de 0.6 metros entre surcos y 0.3 metros entre plantas (densidad de 55,555 plantas/ha) para cultivar *Amaranthus caudatus*, dada la alta rentabilidad ofrecida.
- * Realizar estudios tendientes a evaluar la producción de semilla, posterior al corte de hoja, para aumentar la rentabilidad del cultivo.
- * Efectuar estudios a fin de definir el rendimiento de biomasa en amaranto a los 40 días después de la germinación, porque a los 60 días la hoja mostró mucha madurez.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbott, J.A.; Campbell T.A. (1982). Sensory evaluation of vegetable amaranth (*Amaranthus* spp.). Hort Sciencie 17(3) : 409-410
- Alejandr , I. (1981). Fertilización y densidad de población en amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*). Revista Chapingo (M x.) No. 29-30 : 20-27.
- Alejandre, I.G. y Lorence F.G.(1986). Cultivo del amaranto en México. Colección Cuadernos Universitarios serie Agronomía No. 12. Universidad Autónoma Chapingo. 245 p.
- Alfaro, M.A. (1985). Evaluación del rendimiento y composición química del amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) en tres diferentes épocas de corte. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía 48 p.
- Becerra, R. (2000). El amaranto: nuevas tecnologías para un antiguo cultivo. CONABIO. Biodiversitas 30: 1-6
- Beteta, J.D. (1987). Evaluación del rendimiento y contenido de proteína foliar de 16 cultivares de amaranto (*Amaranthus* spp.) en la finca Bulbuxy , San Miguel Pana, Suchitepéquez. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 39 p.
- Campbell, T.A.; Abbott, J.A, (1982). Field evaluation of vegetable amaranth (*Amaranthus* spp.). Hort Sciencie (EE.UU.) 17(3) : 47-409.
- Campogorra, I. (1982). Amaranto, el alimento de los aztecas, mamá de las zonas  ridas. Perspectivas de la UNESCO (París) No. 873: 1-5.
- Corado, M.A. (1986). Evaluación del rendimiento foliar del amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.) utilizando dos métodos y diferentes distanciamientos de siembra. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 32 p.
- Dowton, W.J.S. (1973). (*Amaranthus edulis*): a high lysine grain amaranth. World crops 25 (1) : 20.
- Escalante D.A. (1987). Evaluación del rendimiento foliar y proteína de 16 materiales promisorios de bleado (*Amaranthus* spp.) en Salam , Baja Verapaz. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 39 p.

- Grubben, G.J.H. (1980). Cultivation methods and growth analysis of vegetable amaranth with special reference to south Benin. In Proceedings of the second Amaranth Conference, Emaus, USA, Rodale Press. p. 63-67.
- Holdrige, L.R. (1982) Ecología basada en zonas de vida. Trad. por Humberto Jiménez. San José, Costa Rica, IICA, 216 p.
- INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología) (2011) Datos Meteorológicos.
- Kauffman, C.S. y L.E Weber (1990). Grain Amaranth. En: Janick, J. y Simon, J.E pp. 127-139. Advances in new crops. Timber Press, Portland, OR.
- Lees, P. (1982). Amaranto ¿El súper cultivo del futuro? Agricultura de las Américas (EE.UU.) 31(8): 16-17, 32.
- Nieto, C. (1990). El Cultivo del Amaranto (*Amaranthus* spp.) Una alternativa Agronómica para Ecuador. Programa de Cultivos Andinos EESC. 24p.
- Oke, O.L. (1980). Amaranth in Nigeria. In Proceeding of the second Amaranth Conference. Emmaus, UDA, Rodale Press. p. 22-23.
- Pérez, C.R. (1987). Evaluación del rendimiento foliar de cinco cultivares seleccionados de (*Amaranthus* spp.) bajo las condiciones de la aldea Buena Vista, Chimaltenango. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 35 p.
- Sánchez A. (1980). Potencialidad agroindustrial del amaranto. México, Centro de Estudios Económicos y Sociales del Tercer Mundo. 238 p.
- Sánchez A. (1994). Ventajas del cultivo de Amaranto. México, Centro de Estudios Económicos y Sociales del Tercer Mundo. 20 p.
- Simmons, Ch.; Tarano, J.M.; Pinto J.H. (1959). Clasificación y Reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Trad. Por Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, José de Pineda Ibarra. 1000p.
- Sumar L. (1983). El pequeño gigante. El Amaranto y su Potencial; boletín (Gua.) No. 2:4.
- Viyajakumar, M.; Shammugavelu, K.A. (1985). Comparación del valor nutritivo de las partes verdes de ciertos *Amaranthus*. El Amaranto y su Potencial: boletín (Gua.) No. 2:5.
- Webber, E. (1987). Amaranth Grain Production Guide. Rodale Research Center Rodale Press Inc.

Wu, W.T.; Flores, M. (1961). Tabla de composición de alimentos para uso en América Latina. Guatemala, Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá. p. 12,21.