

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE OCCIDENTE
DIVISIÓN DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE AGRONOMÍA

EVALUACIÓN DE TRES NIVELES DE FERTILIZACIÓN ORGÁNICA (COMPOST) Y UNA QUÍMICA EN LA PRODUCCIÓN DE BRÓCOLI (*Brassica oleracea* variedad *botrytis*) EN EL CASERÍO SAN JOSÉ SIGUILA, ALDEA XEQUEMEYA, DEL MUNICIPIO DE MOMOSTENANGO, DEPARTAMENTO DE TOTONICAPÁN.

TRABAJO DE GRADUACIÓN

Presentado a las Autoridades de la División de
Ciencia y Tecnología
del Centro Universitario de Occidente
de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Por:

RAMÓN WALTER PÉREZ YAX

Previo a conferírsele el Titulo de:

INGENIERO AGRÓNOMO
EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

En el Grado Académico de:
LICENCIADO EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

QUETZALTENANGO, FEBRERO DE 2,013

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE OCCIDENTE**

AUTORIDADES

Rector Magnífico: Dr. Carlos Estuardo Gálvez Barrios
Secretario General: Dr. Carlos G. Alvarado Cerezo

INTEGRANTES DEL CONSEJO DIRECTIVO

Directora General CUNOC: Licda. María del Rosario Cabrera
Secretario Administrativo: Lic. César Haroldo Milian R.

REPRESENTANTES DE LOS DOCENTES

**Dr. Oscar Arango B.
Lic. Teódulo Cifuentes**

REPRESENTANTES DE LOS ESTUDIANTES

**Br. Luís E. Rojas Menchú
Br. Víctor Lawrence Díaz Herrera**

DIRECTOR DE LA DIVISIÓN DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Ing. Agr. MSc. Héctor Alvarado Quiroa

COORDINADOR DE LA CARRERA DE AGRONOMÍA

Ing.Agr. MSc. Imer Vinicio Vásquez Velásquez

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE OCCIDENTE
DIVISIÓN DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE AGRONOMÍA**

**TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN
TÉCNICO PROFESIONAL**

DIRECTOR DE DIVISIÓN

Ing. Agr. MSc. Héctor Alvarado Quiroa.

PRESIDENTE

Ing. Agr. Gustavo A. Búcaro.

EXAMINADORES

Ing. Agr. Jesús Ronquillo.

Ing. Agr. Julio López Valdez.

Ing. Agr. Henry López G.

SECRETARIO

Lic. Javier Aguilar M.

COORDINADOR DE LA CARRERA DE AGRONOMÍA

Ing. Agr. MSc. Imer Vinicio Vásquez Velásquez

NOTA: “Únicamente el autor es responsable de las doctrinas y opiniones sustentadas en el presente trabajo de graduación”.(Artículo 31 del reglamento para Exámenes Técnicos Profesionales del Centro Universitario de Occidente y Artículo 19 de la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala).

Quetzaltenango, Febrero de 2013.

**HONORABLE CONSEJO DIRECTIVO
HONORABLE MESA DE PROTOCOLO Y ACTO DE JURAMENTACIÓN**

De conformidad con las normas que establece la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de graduación titulado:

“EVALUACIÓN DE TRES NIVELES DE FERTILIZACIÓN ORGÁNICA (COMPOST) Y UNA QUÍMICA EN LA PRODUCCIÓN DE BRÓCOLI (*Brassica oleracea* variedad *botrytis*) EN EL CASERÍO SAN JOSÉ SIGUILÁ, ALDEA XEQUEMEYA, DEL MUNICIPIO DE MOMOSTENANGO, DEPARTAMENTO DE TOTONICAPÁN”.

Como requisito previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas.

Respetuosamente.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ramón Walter Pérez Yax.
Carné 8930703

Totonicapán, 12 de Junio de 2012.

Ing. Agr. MSc. Héctor Alvarado Quiroa.
Director de División de Ciencia y Tecnología
Centro Universitario de Occidente.

Apreciable Señor Director:

Atendiendo al nombramiento que la Dirección a su cargo me confiriera, me permito informarle que he concluido la revisión del trabajo de graduación del estudiante Ramón Walter Pérez Yax, carné 8930703, titulado:

EVALUACIÓN DE TRES NIVELES DE FERTILIZACIÓN ORGÁNICA (COMPOST) Y UNA QUÍMICA EN LA PRODUCCIÓN DE BRÓCOLI (*Brassica oleracea* variedad *botrytis*) EN EL CASERÍO SAN JOSÉ SIGUILÁ, ALDEA XEQUEMEYA, DEL MUNICIPIO DE MOMOSTENANGO, DEPARTAMENTO DE TOTONICAPÁN.

Aprovecho la oportunidad para indicarle la importancia del trabajo, el cual cumple con los requisitos para su aprobación.

Atentamente.

Ing. Agr. Ernesto Augusto Arango García.
Colegiado No. 5,128
Asesor.

Quetzaltenango, 31 de Enero de 2013

Ing. Agr. MSc. Héctor Alvarado Quiroa.
Director División de Ciencia y Tecnología
Centro Universitario de Occidente-CUNOC.
Facultad de Agronomía.
Ciudad.

Estimado Ing. Alvarado:

Atentamente me dirijo a Usted para hacer de su conocimiento que en cumplimiento a la designación de la Dirección de Ciencia y Tecnología (según oficio No.024/SDCT/2012) he procedido a realizar la revisión final del trabajo de graduación del estudiante universitario RAMÓN WALTER PÉREZ YAX, titulado:

“EVALUACIÓN DE TRES NIVELES DE FERTILIZACIÓN ORGÁNICA (COMPOST) Y UNA QUÍMICA EN LA PRODUCCIÓN DE BRÓCOLI (*Brassica oleracea* variedad *botrytis*) EN EL CASERÍO SAN JOSÉ SIGUILÁ, ALDEA XEQUEMEYA, DEL MUNICIPIO DE MOMOSTENANGO, DEPARTAMENTO DETOTONICAPÁN”.

Habiendo hecho todas las enmiendas necesarias, considero que el trabajo realizado por el estudiante, sí llena los requisitos básicos para su PUBLICACIÓN, y no está demás indicar que sí es un aporte importante para la zona estudiada.

Atentamente.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Agr. M.A. Jorge Luís Rodríguez Pérez.
Colegiado Activo No. 844
REVISOR.



CENTRO UNIVERSITARIO DE OCCIDENTE
DIVISIÓN DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

El infrascrito DIRECTOR DE LA DIVISIÓN DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Del Centro Universitario de Occidente, ha tenido a la vista la CERTIFICACIÓN

DEL ACTA DE GRADUACIÓN No._____ de fecha _____

_____ del (la) estudiante RAMÓN WALTER PÉREZ YAX

Con carné No. 8930703 emitida por el Coordinador de la Carrera de Agronomía,

por lo que se AUTORIZA LA IMPRESIÓN DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN

Titulado: "EVALUACIÓN DE TRES NIVELES DE FERTILIZACIÓN ORGÁNICA

(COMPOST) Y UNA QUÍMICA EN LA PRODUCCIÓN DE BRÓCOLI (*Brassica*

oleracea variedad botrytis) EN EL CASERÍO SAN JOSÉ SIGUILÁ, ALDEA

XEQUEMEYA, DEL MUNICIPIO DE MOMOSTENANGO, DEPARTAMENTO DE

TOTONICAPÁN".

Quetzaltenango, _____ de 2013.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Agr. Héctor Alvarado Quiroa.
Director de División de Ciencia y Tecnología

ACTO QUE DEDICO:

A DIOS:

El eterno Padre Celestial de Sabiduría Perfecta e Infinita.

A MI MADRE:

María Teresa Yax Bulux. (Q.E.P.D).

Desde el cielo ha intercedido por sus hijos.

A MI ESPOSA:

María Santos Álvarez Chuc.

Por su apoyo incondicional en todo momento.

A MIS HIJOS:

Mercedes, Walter, Ronaldo, Josué, Saúl, Pablo, Gabriela.

Sea este un ejemplo de perseverancia, esfuerzo y superación.

A MIS HERMANOS:

María Elena, Marco Antonio, Gloria, Marina, Oscar, Victoriano.

Porque solo unidos hemos sabido llevar y practicar las enseñanzas
de nuestra Madre.

A MI FAMILIA EN GENERAL:

Por la solidaridad y apoyo moral que han demostrado en los
momentos difíciles de la vida.

AL GRUPO RELIGIOSO:

“Arca de la Alianza”. Zona 4 Totonicapán

Por la hermandad y amistad.

AGRADECIMIENTOS

Ing. Agr. MSc. Héctor Alvarado Quiroa.
Director de División de Ciencia y Tecnología.
Por el apoyo incondicional para culminar mi carrera Profesional.

Ing. Agr. Ernesto Augusto Arango García.
Por su apoyo desinteresado en los momentos precisos.

Ing. Agr. Jorge Luis Rodríguez Pérez.
Por su valiosa experiencia, humildad y sencillez en la revisión final de esta tesis.

Ing. Agr. Bernabé Abraham Son.
Lic. Eduardo Rafael Vital Peralta.
Por haber aceptado ser parte de este triunfo.

MAGA. Totonicapán.
Porque fue y sigue siendo una escuela de enseñanza.

Para todas aquellas personas que de una u otra manera colaboraron en mi
formación profesional.

A Usted:
Muy respetuosamente.

ÍNDICE.

CONTENIDO	Pág.
RESUMEN -----	1
1. INTRODUCCIÓN -----	3
1.1 Objetivos -----	5
1.2 Hipótesis -----	6
2. REVISIÓN DE LITERATURA -----	7
2.1 Requerimientos climáticos del cultivo -----	7
2.1.1 Temperatura -----	7
2.1.2 Humedad relativa óptima -----	7
2.1.3 Transpiración -----	7
2.1.4 Precipitación anual -----	8
2.2 Descripción del cultivo -----	8
2.3 Sistema radicular -----	8
2.4 Taxonomía -----	9
2.5 Particularidades del cultivo -----	9
2.5.1 Suelo -----	9
2.5.2 Clima -----	9
2.5.3 Preparación del terreno -----	10
2.5.4 Siembra -----	10
2.5.5 Trasplante. -----	10
2.5.6 Riego -----	11
2.5.7 Fertilización -----	11
2.5.8 Limpias -----	12
2.5.9 Cosecha. -----	12
2.5.10 Post cosecha -----	12
2.5.11 Principales plagas y enfermedades en brócoli.-----	13
2.5.12 Daños fisiológicos en brócoli -----	19
2.6 Clasificación de los fertilizantes utilizados en brócoli.-----	20
2.7 La interacción y la eficiencia de los fertilizantes -----	20
2.8 Importancia de los elementos en el brócoli y sus deficiencias -----	20
2.9 Fertilización en el cultivo del brócoli -----	23
2.10 Requerimiento de nutrientes. -----	23
2.11 Dosis usuales de fertilización -----	24
2.12 Importancia del brócoli en el contexto nacional e internacional-----	26
2.13 Experiencias en fertilización orgánica -----	26
2.14 Materia orgánica del suelo -----	28

2.14.1 Ciclo de la materia orgánica - - - - -	29
2.14.2 Factores que determinan la distribución de la materia orgánica en el suelo - - - - -	30
2.14.3 Influencia de la materia orgánica sobre algunas propiedades de los suelos - - - - -	31
2.14.4 Contenido de la materia orgánica en el suelo - - - - -	31
2.14.5 Propiedades de la materia orgánica - - - - -	32
2.14.6 Propiedades químicas y fisicoquímicas. - - - - -	34
2.15 Mejora genética - - - - -	34
2.16 Fisiopatías - - - - -	34
3. MATERIALES Y MÉTODOS - - - - -	36
3.1 Descripción del área experimental. - - - - -	36
3.2 Descripción del experimento - - - - -	36
3.2.1 Diseño del experimento - - - - -	36
3.2.2 Manejo del experimento - - - - -	37
3.2.3 Descripción de los tratamientos - - - - -	38
3.2.4 Tratamientos evaluados. - - - - -	39
3.3 Forma de aplicación de cada uno de los nutrientes según programa de fertilización - - - - -	40
3.4 Híbrido utilizado - - - - -	41
3.5 Variables de respuesta - - - - -	41
3.5.1 Rendimiento - - - - -	41
3.6 Análisis de la información - - - - -	41
3.7 Análisis económico - - - - -	41
4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS - - - - -	43
4.1 Rendimiento por hectárea - - - - -	43
4.2 Análisis de varianza de los tratamientos - - - - -	44
4.3 Prueba de medias del rendimiento - - - - -	44
4.4 Características fenotípicas - - - - -	45
4.4.1 Análisis de varianza para diámetro de las inflorescencias - - - -	46
4.4.2 Prueba de medias de las inflorescencias - - - - -	46
5. CONCLUSIONES - - - - -	47
6. RECOMENDACIONES - - - - -	48
7. BIBLIOGRAFÍA - - - - -	49
8. ANEXOS - - - - -	52

INDICE DE CUADROS

CONTENIDO	Pág.
Cuadro No. 1 Valor nutricional del brócoli.....	24
Cuadro No. 2 Descomposición de la materia orgánica.....	28
Cuadro No. 3 Rango general de interpretación de la materia orgánica.....	34
Cuadro No. 4 Rendimiento de cada unidad experimental, expresados en Tm/ha.....	43
Cuadro No. 5 Resultado del diámetro de las inflorescencias expresados en centímetros y que fueron considerados en peso para obtener el rendimiento.....	45

ÍNDICE DE CUADROS DE ANEXOS.

CONTENIDO	pág.
Cuadro No. 6A Resultado del Análisis de varianza (Andeva) para la variable rendimiento.....	53
Cuadro No. 7A Resultados obtenidos después de efectuar la comparación de medias del rendimiento del brócoli expresados en Tm/ha. Prueba de Tukey al 5%.....	53
Cuadro No. 8A Resultado del Análisis de varianza (Andeva) para diámetro de cabezas de brócoli.....	54
Cuadro No. 9A Resultados obtenidos después de efectuar la comparación de medias del diámetro de cabezas de brócoli mediante la prueba de Tukey al 5%	54
Cuadro No. 10A Resultado del análisis económico, considerando la rentabilidad de cada uno de los tratamientos para la producción de brócoli en función de los costos fijos y los costos variables.....	55
Cuadro No. 11A Tabla de las dosis aplicadas por cada programa de fertilización (química y orgánica) expresados en qq/ha.....	55
Cuadro No. 12A Resultado del muestreo de análisis de suelo.....	56
Cuadro No. 13A Resultado del análisis del compost.....	56
Cuadro No. 14A Requerimiento nutricional del brócoli.....	57
Cuadro No. 15A Resultado del análisis económico de los tratamientos evaluados en base a los costos de producción para 1 ha.....	58
Grafica que muestra el tipo de diseño experimental utilizado en la presente investigación.....	61
Gráfica que muestra el rendimiento en Tm/ha. de brócoli Obtenido al aplicar tres niveles de fertilización orgánica compost (B, C y D) más el testigo relativo y testigo absoluto (A y E).....	62
Gráfica que muestra el comportamiento del diámetro de cabezas de brócoli en cms. de los tres niveles de fertilización orgánica (B, C y D) incluyendo el testigo relativo y el testigo absoluto (A y E).....	63
Grafica que muestra fotografías del cultivo de brócoli.	64

RESUMEN

El presente estudio se llevó a cabo en el Caserío San José Siguilá, Aldea Xequemeyá, municipio de Momostenango, departamento de Totonicapán. El objetivo general fue el de generar tecnología apropiada que mejore el rendimiento del cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* variedad *botrytis*), específicamente en fertilización orgánica (compost) con la elaboración de aboneras mejoradas.

El híbrido de brócoli Marathón, utilizado por la mayoría de productores para exportación, se ha observado que los más altos porcentajes de aparición del desorden fisiológico ahuecamiento del tallo a la altura de la inflorescencia, se debe a deficiencia de boro y molibdeno, lo que provoca el rechazo en el mercado exterior, mientras que con la aplicación de materia orgánica los porcentajes bajan considerablemente.

La investigación se basó específicamente en evaluar tres niveles de fertilización orgánica con el uso de compost en el cultivo del brócoli por ser considerado por los agricultores como uno de los cultivos de mayor importancia en esa área, en primer lugar para mejorar la calidad y cantidad del producto siendo un cultivo de exportación y en segundo lugar por contar con un sistema de riego para trabajar el cultivo durante todo el año. Para ello se tomaron en cuenta tres aspectos fundamentales de beneficio para el productor como lo son: la producción potencial media, la producción en campos demostrativos y la producción propia del agricultor, usando como comparador el uso de fertilizante químico. Las cantidades de fertilizante orgánico para cada tratamiento fueron en base a los requerimientos del cultivo, resultados de análisis de suelos y compost.

El estudio se realizó utilizando un diseño de bloques al azar con cinco tratamientos y cinco repeticiones incluyendo a un testigo absoluto y otro relativo; el tamaño de cada parcela experimental fue de 9.00 M² conteniendo 50 plantas la parcela bruta y 24 plantas la parcela neta.

Para esta investigación se evaluaron las siguientes variables: a) rendimiento expresados en Tm/ha. b) diámetro de las inflorescencias expresados en cms. c) análisis económico en función de los costos fijos y costos variables.

De acuerdo a los resultados obtenidos se determinó que se encontró diferencia significativa entre los tratamientos en relación al rendimiento por unidad de área. El tratamiento que dio el mayor rendimiento 29.90 Tm/ha. Con una rentabilidad del 100%, resultó de utilizar 20.25 qq/ha. de fertilizante químico (15-15-15 + urea). El segundo mejor tratamiento del ensayo a nivel de rendimiento 28.52 Tm/ha. con una rentabilidad del 95% es al que se le aplicó 460 qq/ha. de fertilizante orgánico (compost). El tratamiento que le siguió a los dos anteriores en cuanto a rendimiento 18.58 Tm/ha. con una rentabilidad del 32%, corresponde al que se le aplicó 322 qq/ha. de fertilizante orgánico (compost). El tratamiento que obtuvo un 2% de rentabilidad resultó de utilizar 230 qq/ha. de fertilizante orgánico (compost) y tuvo un rendimiento de 14 Tm/ha. Finalmente el tratamiento que sirvió como testigo al que no se le aplicó ningún tipo de fertilizante, obtuvo un rendimiento de 10 Tm/ha. con una rentabilidad negativa del - 22%.

Los datos de rendimiento y diámetro de cabezas del brócoli, se interpretaron usando el análisis de varianza, se realizó así mismo una comparación de medias por el método de Tukey al 5% de probabilidad para cada una de las variables descritas. La variable peso de la pella fue evaluada por medio de un muestreo sistemático; mientras que el análisis económico se realizó por medio de la tasa marginal de retorno al capital.

El nivel de fertilización orgánica que presentó el mayor rendimiento por unidad de área fue el tratamiento “D” con un rendimiento medio de 28.52 Tm/ha. y un ingreso bruto de Q.81,567.00. Por lo que de acuerdo al análisis económico en función de los costos fijos versus los costos variables, se recomienda a los productores utilizar este programa de fertilización debido a que económicamente es menor al químico en relación a costos y nos garantiza menos contaminación del ambiente.

1. INTRODUCCIÓN.

En los últimos años se ha venido buscando nuevas alternativas para incrementar la producción del cultivo del brócoli y disminuir los costos de inversión, y una de ellas es a través de la fertilización orgánica con el uso de compost .La importancia económica del brócoli se debe actualmente a su demanda en el mercado internacional. El destino para los Estados Unidos es del 85% de la exportación y el resto para algunos países europeos. Los Departamentos que se consideran zonas brocoleras de Guatemala con mayor producción son: San Marcos, Quetzaltenango, Sololá, Quiché, Chimaltenango, Sacatepéquez, Guatemala, Jalapa, Alta Verapaz y Baja Verapaz.

Existen plantas de procesamiento en donde se llevan a cabo actividades de clasificación, empaque y embarque, siendo por ello el brócoli un cultivo que actualmente tiene gran importancia socioeconómica en Guatemala.

Hoy día el aumento gradual del uso de los fertilizantes químicos de acuerdo a la necesidad de incrementar los rendimientos de los cultivos, ha sido la alternativa más fácil para el agricultor, sin embargo su uso constante ha ido deteriorando algunas características físicas y químicas del suelo, al mismo tiempo que ha incrementado los costos de producción, por el aumento gradual del precio de los fertilizantes químicos. Este fenómeno se ha agudizado específicamente en el cultivo de hortalizas (brócoli, coliflor, tomate, papa), que son los productos más importantes del Caserío San José Siguilá, ya que cada día se reduce el ingreso neto del agricultor por el uso inadecuado de los fertilizantes químicos así como de los pesticidas en general.

Como una alternativa de solución al problema planteado, la agricultura orgánica ofrece una serie de bondades que aún son desconocidas por la mayoría de agricultores de la región, por tal razón se hace necesario la evaluación del uso del compost como medio de fertilización en la producción de hortalizas a través de la elaboración de aboneras mejoradas, ya que se cuenta con los materiales necesarios para su construcción y uso.

El presente trabajo de evaluación proporciona información sobre programas de fertilización orgánica que pueden mejorar el rendimiento del cultivo del brócoli con calidad de exportación, así como en el plano económico constituirse en una nueva fuente de ingresos, logrando generar tecnología apropiada para el cultivo con nuevas y mejores alternativas de fertilización, para obtener la mayor producción y rentabilidad con el fin de mantener un rango de producción competitivo que cumpla con la demanda actual en el país.

En este estudio se evaluaron tres niveles de fertilización orgánica (compost) para el cultivo del brócoli (*Brassica oleracea* variedad *botrytis*), en el Caserío San José Siguilá, Aldea Xequemeyá, municipio de Momostenango, Totonicapán; considerándose como un aporte más a la investigación de este cultivo que viene a beneficiar a los productores de situación económica media de la agricultura en Guatemala.

1.1 OBJETIVOS.

GENERAL:

Generar tecnología apropiada que mejore la producción del cultivo de brócoli en la comunidad de San José Siguilá Momostenango, a través de la evaluación de tres niveles de fertilización Orgánica (compost) y su comparación con el químico 15-15-15.

ESPECÍFICOS:

1. Determinar cuál de los niveles de fertilización orgánica, presenta mayor Rendimiento en toneladas métricas por hectárea.
2. Establecer el costo de producción y la tasa marginal de retorno, de cada tratamiento para determinar el más rentable.
3. Evaluar el efecto de las diferentes formas de fertilización orgánica, con relación a la producción potencial media, producción en campos demostrativos y producción propia del agricultor.

1.2. HIPÓTESIS.

- Ho. El rendimiento del brócoli producido a través de la utilización de abono orgánico (compost), es estadísticamente igual en cualquiera de los tres niveles.
- Ho. En ninguno de los tratamientos evaluados hay diferencia en la tasa marginal de retorno al capital.
- Ha. El rendimiento del brócoli producido a través de la utilización de abono orgánico (compost),, es superior al menos en alguno de los tres niveles en términos estadísticos.
- Ha. Existe diferencia en la tasa marginal de retorno al capital, para los distintos tratamientos.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Requerimientos climáticos del cultivo:

2.1.1 Temperatura:

El brócoli es una hortaliza que requiere climas frescos o templados y bajo ciertas condiciones se da en climas que tienden a ser cálidos. La temperatura óptima oscila entre 15 a 18 °C y la temperatura ideal para la germinación está entre 25 y 30 °C. El brócoli tiene los mismos requerimientos climáticos que la coliflor, aunque es mucho menos sensible al calor a pesar de que los primeros estadios de crecimiento pueden darse a temperaturas elevadas. La calidad es mejor si las inflorescencias maduran en tiempo frío.

2.1.2 Humedad relativa optima:

Proexant, (1992), manifiesta que el brócoli se desarrolla bien en lugares templados y fríos, cuya humedad relativa óptima es del 80% y mínima del 70%. Se requiere una humedad relativa menor que 95% para optimizar la vida de almacenamiento (21-28 días). El brócoli almacenado a 5°C puede tener una vida útil de 14 días, pero de sólo 5 días a 10°C. Generalmente, el brócoli se enfriá rápidamente con la inyección de una mezcla hielo-agua (liquid-icing) a los cartones encerados en los que se ha empacado el producto en el campo.

2.1.3 Transpiración:

Debido a la alta tasa de respiración que presenta, el brócoli se hará perecedero rápidamente una vez cosechado. Además es un producto muy sensible a déficit hídrico, rechazándose cuando alcanza valores del 5% de deshidratación, ya que pierde turgencia y su color característico. Después de cosechado es muy importante el pre-enfriado para bajar la temperatura de campo. Luego se debe mantener la cadena de frío, conservándose a temperaturas cercanas a 0 °C y con 90% de humedad relativa. Para alcanzar altos rendimientos y calidad de las inflorescencias, la planta de brócoli no debe sufrir de estrés hídrico, ya sea por falta o exceso de agua y/o calidad de esta. Los requerimientos de agua varían según las condiciones ambientales y el estado de desarrollo del cultivo. Posterior al trasplante el riego debería ser cada 7 a 10 días, dependiendo de las temperaturas existentes.

El consumo total por parte del cultivo es de 4.000 m³ de agua / ha-1. El máximo requerimiento hídrico ocurre cuando el cultivo ha alcanzado la máxima cobertura foliar y desarrollo de la inflorescencia, sin embargo los riegos al inicio deben ser frecuentes para asegurar un buen establecimiento (Krarup, 1992).

2.1.4 Precipitación anual:

Esta debe fluctuar entre 800 mm. y 1,200 mm. Con una altitud entre 2,600 y 3,000 m.s.n.m., luminosidad y fotoperiodo neutro. Los vientos fuertes aumentan la transpiración de la planta ocasionando una rápida deshidratación.

2.2 Descripción del cultivo:

Limonelli, (1979), manifiesta que el brócoli es una planta anual o perenne, generalmente de mayor tamaño que la coliflor. El brócoli es muy similar a la coliflor desde el punto de vista botánico, con la diferencia que en su caso, la parte comestible resulta ser la inflorescencia no madura de color verde, mientras que el caso de la coliflor, la parte comestible es la inflorescencia de color blanco, en su estado primordial.

La planta pertenece a la familia de las crucíferas, entre los materiales que se han evaluado en Guatemala están: Marathón, Shogun, Green Duke, Green Valiant, Sultán, Arcadia, Galaxy, Green Belt, Pirata y otros. (10). La dosis de semilla por hectárea es de 323 o 405 gramos (o sea de 226 a 283 gramos/mz. Lo que equivale a 21 gramos por cuerda de 40 * 40 varas).

Para el altiplano central se recomienda los materiales Marathón, Sultán, Galaxy, Green Duke; para el altiplano oriental y parte norte se recomienda Marathon; para las partes más altas y templadas el Arcadia y Green Valiant y para el altiplano occidental se recomienda el uso de cualquiera de los anteriormente mencionados.

2.3 Sistema radicular:

El brócoli presenta una raíz pivotante de la que parte una cabellera ramificada y superficial de las raíces. Desarrolla un tallo principal corto con diámetro de 2-6 centímetros y de 20-50 centímetros de largo sobre el que se disponen las hojas con internados cortos, con una apariencia de roseta de coliflor donde termina la inflorescencia principal.

2.4 Taxonomía: (17)

El brócoli tiene la siguiente clasificación:

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Sub-clase	Dilleneidae
Orden	Capparales
Familia	Brassicaceae
Género	Brassica
Especie	oleracea
Híbrido	Marathon
Nombre científico	Brassica oleracea

2.5 Particularidades del cultivo: (16)

2.5.1 Suelo:

El brócoli se adapta a una gran variedad de tipos de suelo, que fluctúan desde los muy livianos hasta los muy pesados, prosperan mucho mejor en los suelos de textura franca. Deben además poseer altos contenidos de materia orgánica y suficientes nutrientes capaces de conferirles características físicas y químicas deseables, con un ph. entre 6.0 a 7.0

2.5.2 Clima:

Cálido, templado y frío, temperatura ambiente entre 18 a 25°C. Altura óptima entre 1,000 y 6,000 pies sobre el nivel del mar.

2.5.3 Preparación del terreno: (12)

Se debe limpiar bien el terreno, especialmente que no queden rastrojos de crucíferas de cosechas anteriores; hay que eliminar toda clase de malezas, especialmente las que sean hospederos de plagas, haciendo un picado lo más profundo que se pueda (20 a 30 cms) y tratar de mullir bien el suelo, es decir no dejar terrones grandes que dañen el desarrollo y calidad de las raíces y que el cultivo tenga un medio de desarrollo adecuado. Cuando se tiene problemas con plagas del suelo, se suele desinfectar el mismo con clorpirifos a razón de 33 kg/ha.

2.5.4 Siembra:

Actualmente la mayoría de productores que siembran el cultivo del brócoli, hoy en día prefieren trabajar con plántulas de pilones por varias razones, dentro de las que podemos mencionar: evita la preparación y desinfección del suelo para la elaboración de semilleros, minimiza costos en el control de plagas y hongos del suelo, acorta el ciclo del cultivo, facilidad de manejo del pilón a la hora del trasplante, etc. Seguidamente se prepara el terreno para la siembra directa y para ello hay que hacer un picado de la tierra lo más profundo que se pueda (30 cms.) tratando de que el suelo quede sin terrones, bien mullido o desmenuzado y suelto para que no haya problemas que obstaculicen el desarrollo de la planta.

2.5.5 Trasplante:

Este se realiza cuando el terreno ya está preparado y cuando la plántula tenga de 4 a 5 hojas y/o 12 cms de altura, el cual se debe hacer en horas frescas cuando no haya mucho sol. Para prevenir las enfermedades del tallo y la raíz, hay que remojar las raíces en una mezcla de agua con orthocide a razón de 30 gramos en 4 galones de agua.(8). Evítese las dobladuras de raíces al colocar la plantita, luego presione suavemente en uno de los costados para que no quede ninguna cámara de aire. La distancia de siembra entre plantas varía entre 30-50 cms. y entre surcos de 45-60 cms. con estas distancias se busca tener una población de 40,000 plantas /ha. (28,000 a 36,000 plantas por Mz. Por lo general el brócoli destinado a la agroindustria se trasplanta a una mayor densidad (5-8 plantas/m²) que aquellos destinados al mercado fresco (4 plantas/m²) (Bianco y Pimpini, 1990).

2.5.6 Riego:

Krarup, (1992), señala que el riego debe ser abundante y regular en la fase de crecimiento. Se realiza riego al momento del trasplante y a los dos días posteriores, no se debe permitir que sufra por necesidad de agua, ya que puede alterar el desarrollo fisiológico de la planta y causar formación prematura de cabezas pequeñas. En ambiente meridional con trasplante de mediados de verano el consumo hídrico total para los tres meses hasta la cosecha es de más o menos 4000 m³/ha (400 mm). La humedad del suelo debe oscilar entre 60% de la capacidad de campo como mínimo, y el 80% como máximo, si la humedad desciende del 50% de la capacidad de campo, la producción puede reducirse entre el 25 y el 30%. En la fase de inducción floral y formación de pella conviene que el suelo esté sin excesiva humedad (Cásseres, 1980).

2.5.7 Fertilización:

Cásseres, (1980), señala que en general, el brócoli requiere mucho abono, sobre todo nitrógeno y potasio, es menos exigente en fósforo. En la mayoría de los casos se recomienda la incorporación de estiércol o abonos verdes al suelo, supliendo más tarde con aplicaciones de nitrógeno al lado del surco. Rodríguez, (1982), manifiesta que el 75% del nitrógeno y el potasio se absorben a partir de la formación de la cabeza, en cambio las exigencias por fósforo se manifiesta durante todo el ciclo relativamente constante. (2)

El brócoli es exigente también en boro y molibdeno, debido al crecimiento rápido, ciclo corto y producción elevada; en suelos en los que el magnesio sea escaso conviene hacer aportación de este elemento. Cartagena, (1998), afirma que el brócoli responde a la aplicación de nitrógeno en dosis de 120 a 240 kg/ha, principalmente cuando se aplica también fósforo de 50 a 210 kg/ha. Sólo durante el primer mes de trasplante se asimila entre el 5 y 10% del total de nutrientes y la asimilación máxima tiene lugar durante la formación de la cabeza. El brócoli es muy sensible a las deficiencias de nutrientes minerales principalmente. Es mejor que el abono orgánico se aplique 8 días antes del trasplante o al momento del trasplante.(9)

2.5.8 Limpias:

La primera limpia se hace a los primeros 10 ó 15 días después del trasplante, la segunda limpia se hace a los 25 ó 30 días después del trasplante; si es necesario hacer una tercera limpia a los 45 ó 50 días después del trasplante. Se recomienda tener limpia la plantación a los primeros 30 días después del trasplante, porque es cuando la planta más se desarrolla, no dejar que las malezas crezcan más de 10 cms. (1)

2.5.9 Cosecha:

Es importante el estado de madurez en que se realiza la cosecha, esta debe efectuarse cuando la inflorescencia se encuentra compacta y los pétalos de las pequeñas flores no son visibles. Se pueden hacer de uno a tres cortes por semana y esto dependerá de la temperatura, si baja se hacen menos cortes y si la temperatura aumenta se hacen más cortes. La producción deseable esperada por hectárea es en promedio de 43,000 cabezas de brócoli (30,000 lbs/Mz) (5) Junovich,(2004), Manifiesta que la cosecha es de tipo manual, con cuchillos comunes, cuando la inflorescencia está completamente formada, y se escogen tallos de 2 cm, que se depositan en jajas plásticas. Después de la recepción se preparan y clasifican los floretes y tallos para comenzar el proceso industrial. Es indicio de sobre madurez coloraciones amarillas sobre la inflorescencia. Las coloraciones púrpuras en el tallo, no afectan la calidad del brócoli para la industria del congelado, ya que dichas coloraciones desaparecen en la etapa de pre-cocido del brócoli.

2.5.10 Post cosecha:

En excelentes condiciones de manejo, el brócoli puede tener una duración de post cosecha potencial de 14 días, si las condiciones de manejo son adecuadas.

Así, el brócoli para consumo fresco, por su corta vida útil está destinado a mercados locales. El hidroenfriamiento y el enfriamiento con aire forzado también pueden usarse, pero el manejo de la temperatura durante la distribución es más crítico que el empacado con hielo.

2.5.11 Principales plagas y enfermedades en brócoli.(12)

Plagas de las inflorescencias

a. Palomilla Dorso de Diamante (PDD) (Lep.; Plutellidae; *Plutella xylostella* L.)

Se le ha identificado en Guatemala, como la plaga principal del cultivo, sus poblaciones por lo general, no llegan a afectar el rendimiento del cultivo, pero si afectan la calidad del producto final por la presencia de larvas y pupas dentro de la inflorescencia.

La larva constituye el principal problema en el cultivo, ya que al iniciarse la formación de la inflorescencia tiende a subir y empupar en esta parte de la planta, lo cual viene a dañar la calidad del producto. Algunas prácticas de control cultural recomendadas pueden ser: a) uso de semilla limpia o el empleo de plántulas (pilones), ya que los semilleros pueden ocasionar una migración del campo de siembra, b) eliminación de los hospederos alternos (rastrojo de siembras anteriores) de las crucíferas que se encuentran en las cercanías de los lotes de cultivo, c) al cosechar se debe procurar no dejar material vivo dentro del campo para eliminar la fuente de infestación, d) el riego por aspersión, preferiblemente por la tarde, contribuye a la reducción de sus poblaciones. El control biológico se hace por medio del empleo de parasitoides larvales como *Diadegma insulare* (Hym.; Braconidae) que contribuye a reducir sus poblaciones; y parasitoides de huevos como: *Trichogramma* spp. y *Trichogrammatoidea bactrae* (Hym.; Trichogrammatidae). En cuanto al control químico, *P. xylostella* ha desarrollado resistencia a piretroides órgano fosforados y carbamatos. De la germinación al trasplante se recomienda usar *Bacillus thuringiensis*. Estas aplicaciones deben hacerse semanalmente al encontrarse las primeras larvas en el muestreo. Las aspersiones con plaguicidas deben cubrir enteramente el follaje, principalmente en el envés de las hojas, y a manera de recomendación se debe tomar en cuenta el pH del agua (entre 5 y 7) especialmente para las aplicaciones de *B. thuringiensis*.

b. Áfidos o el pulgón de las coles (Hom.; Aphididae; *Brevicoryne brassicae*). La calidad de la cosecha es afectada por la presencia de pulgones o exuvias de los mismos dentro de la inflorescencia, motivo por el cual se rechaza. El ciclo completo de desarrollo varía entre 7 y 15 días, dependiendo de las temperaturas. La dispersión de esta plaga dentro de una plantación es por medio de hembras aladas, las que se encuentran en forma individual en el envés de las hojas, Estos insectos se alimentan chupando la savia de la planta ocasionándole debilitamiento, distorsión de los tejidos y disminuyendo el rendimiento.

Cuando hay inflorescencia, las colonias tienden a migrar y reproducirse en las épocas secas, observándose mayor daño en los meses de octubre a abril. Las lluvias ayudan a disminuir sus poblaciones, lo cual ocurre entre los meses de invierno desde mayo hasta septiembre. Algunas prácticas de control cultural que se pueden implementar son: a) eliminación de rastrojos y malezas hospederas de virus, b) uso de barreras vivas o rompevientos para evitar la entrada de las colonias, c) cultivos sembrados durante la época lluviosa son menos atacados. El control biológico se realiza por medio de depredadores de áfidos, entre los que destacan los coccinélidos (*Coleomegilla maculata*, *Hippodamia convergens*).

El control químico se recomienda hacerlo con insecticidas sistémicos al follaje. También se han obtenido buenos resultados con aplicaciones de aceite agrícola, agua mezclada con jabón (al 1%). Las aplicaciones deben efectuarse en el envés del follaje.

c. Gusano anillado o mariposas blancas de las coles (Lep.; Pieridae; *Leptophobia aripa* (Boisd.). Las larvas pueden causar un daño severo a las plantas y reducir considerablemente los rendimientos. Son de hábito diurno y las hembras pueden colocar más de 100 huevos en su ciclo de vida. Entre los meses de octubre a enero, ocurren las mayores densidades poblacionales, se ha establecido que en el altiplano central de Guatemala, disminuyen sus poblaciones en los meses de marzo a abril. Este insecto es de fácil control debido a que las larvas y sus poblaciones no han desarrollado resistencia a los insecticidas.

d. Falso medidor de las coles (Lep.; Noctuidae; *Trichoplusia ni*). Es una plaga importante en el cultivo del brócoli, sus larvas se comen el follaje, lo que puede ocasionar pérdidas de rendimiento; así también se introducen en las inflorescencias, lo que viene a disminuir la calidad del producto, llegando en extremos de ataque a causar rechazo de la producción. Las pupas de este insecto son cafés, y también se les encuentra en el envés de las hojas y miden más o menos 18 mm. Los adultos miden 30 mm de envergadura, son nocturnos por lo que es difícil de observarlos de día. Al igual que la plaga anterior (*L. aripa*), es de fácil control ya que tampoco han desarrollado resistencia a los insecticidas y por su hábito de alimentación.

Plagas del suelo:

a. Ronrón de junio o gallina ciega (Col.; Scarabaeidae; *Phyllophaga* sp., y *Anomala* sp.). Son de las plagas del suelo más importante ya que en sus estadios larvarios (gallinas ciegas) producen los daños más significativos. Se alimentan de las raíces de las plantas, reduciendo su capacidad de síntesis y ocasionalmente provocan la muerte de las mismas. Al inicio de las lluvias, las pupas maduran y se convierten en adultos (ronrones), que son los ronrones los cuales se aparean y ponen huevos dentro del suelo. La larva puede vivir entre 1 y 2 años o más en el suelo antes de convertirse en adulto. Entre las prácticas culturales que se deben implementar para el control de las larvas es al momento de la preparación del suelo para la siembra procurando que las larvas queden al descubierto. Otro método que contribuye a la disminución de las larvas en el suelo es la recolección manual de las mismas al momento de la preparación del terreno para la siembra.

Para el control químico de las larvas es importante efectuarse las aplicaciones preventivas al momento de la siembra o bien en la preparación del terreno. Cuando ocurren infestaciones tardías, se sugiere aplicar un segundo tratamiento con insecticidas incorporados al suelo al momento de la fertilización o durante el aporque.

b. Gusano alambre (Col. Elateridae; *Aeolus* sp.). Los adultos habitan en el suelo la mayor parte del tiempo, pueden vivir de 10 a 12 meses. Las larvas se alimentan de las raíces, debilitando o matando la planta. La hembra pone sus huevos principalmente alrededor de las raíces. Los daños se manifiestan al inicio del trasplante, ya que corta la base de los tallos de las plantas recién sembradas, ocasionando pérdida por la reducción de plantas. Se encuentra en grandes cantidades en lugares donde hay rastrojo o que sean ricos en materia orgánica. Muchas veces es fácil determinar la presencia del gusano alambre por los síntomas de marchitez o muerte de la planta. En el control cultural se recomienda hacer una limpieza profunda de los rastrojos en el campo y mantener suelo libre de malezas por varias semanas, especialmente gramíneas. También la preparación del suelo disminuye las poblaciones y expone las larvas a los enemigos naturales. El control químico es recomendable aplicando insecticidas granulados al momento de la siembra. El uso adecuado de los muestreos y la aplicación del control químico en situaciones necesarias optimiza el control de la plaga.

c. Gusano nochero (Lep.; Noctuidae; *Agrotis ipsilon*). Los adultos son de color café con marcas dorsales más pálidas cuando están pequeñas y se vuelven de color negro grisáceo. Llegan a medir 40-50 mm de largo cuando están totalmente desarrolladas. El daño que las larvas ocasionan a la planta es irreversible, ya que éstas cortan o atraviesan los tallos a ras del suelo, las larvas pequeñas raspan los tallos debilitando la planta. El control cultural se hace con una buena preparación del suelo lo que reduce en gran parte la presencia de las larvas y pupas. También la eliminación anticipada de malezas en el campo contribuye a reducir en gran parte las larvas y pupas. El control biológico se logra por medio de parasitoides larvales de la familia Tachinidae (Díptera). El control químico se da por medio del uso de insecticidas de contacto granulados aplicados por la noche o bien el uso de cebos. El cebo se realiza con veneno en polvo mezclado con afrecho o aserrín, melaza y agua, colocados al atardecer a una distancia de 1 - 2 m.

d. Gusano soldado (Lep.; Noctuidae; *Spodoptera* sp.). Las larvas de ésta especie varían de 1 a 35 mm de largo y generalmente son de color gris verdoso y a veces casi negro. Es una plaga clave como masticador del tejido vegetal. El mayor daño que ocasionan las larvas es en el rechazo (en planta), al contaminar las inflorescencias (cabezas de flor) de brócoli con su presencia y excremento. También actúan como cortadores, es decir, cortan las plántulas a nivel del suelo durante la noche. Estos ataques son muy severos en áreas y períodos secos. Cuando las plantas de brócoli tengan 8 hojas o más, se deben inspeccionar un número aproximado de 100 plantas con frecuencias de 3 veces por semana. El control cultural por medio de la labranza del suelo ayuda a reducir las poblaciones ya sea por destrucción mecánica o exposición a depredadores. El control químico se recomienda desde el momento de la siembra a través del uso de cebos y de insecticidas granulados aplicados al suelo, posteriormente se pueden efectuar aplicaciones con insecticidas líquidos de contacto o ingestión.

Enfermedades del cultivo de brócoli. (12)

Enfermedades causadas por bacterias:

Hay bacterias causantes de pudriciones blandas (*Erwinia*, *Pseudomonas*, *Xantomonas*) que afectan la apariencia física generalmente, las pudriciones debidas a estos microorganismos se asocian con daño físico, sobreviven por daño en el suelo y restos vegetales.

a). *Erwinia* sp. El fitopatógeno se desarrolla en condiciones de alta humedad, se puede diseminar por los insectos y se extiende con gran rapidez con temperaturas de 25 a 30°C.

b). *Pseudomonas* sp. Las infecciones aparecen principalmente en las hojas, en forma de pequeñas manchas húmedas extendiéndose rápidamente debido a que existe una unión entre ellas y volviéndose de color café la parte afectada se torna blanda y con un olor desagradable, finalmente toda la planta se pudre. Las bacterias pueden sobrevivir más de un año, el agua y las herramientas favorecen su diseminación. Cuando el suelo está infestado, se recomienda hacer rotación de cultivos mínimo un año.

c). *Xantomonas* sp. Sus manifestaciones se inician con un amarillamiento y marchitamiento localizado alrededor de las hojas causada por heridas luego se vuelve marrón y mueren.

El fitopatógeno puede estar en el suelo hasta por dos años y se disemina por medio de las herramientas utilizadas durante la preparación del suelo, alta temperatura y elevada fertilidad en el semillero, exceso de humedad o suelos saturados, altas temperaturas de 27 a 30°C.

Enfermedades causadas por hongos:

Los hongos transmiten gran variedad de enfermedades, entre los cuales se encuentran: *Alternaria brassicae*, *Poma lingam*, *Rhizoctonia solani*, *Cercospora brassicola*, *Plasmodiophora brassicae*, *Fusarium* sp. *Pythium*, *Peronóspora* sp. *Phytophthora* sp.

a). *Alternaria brassicae*. Se presenta con manchas sobre las hojas principalmente las más viejas. Las manchas a menudo empiezan pequeñas, expandiéndose en lesiones circulares que frecuentemente son rodeados de círculos amarillos. En el suelo se encuentra la enfermedad, es diseminada por el viento y el agua principalmente cuando existe una saturación del suelo y con temperaturas entre 20 a 27°C. Al aparecer la enfermedad se recomienda hacer rotación de cultivos. Las plantas afectadas presentan un desarrollo pobre, apariencia de marchitez y se vuelven de un color rojo azulado, su diseminación se debe a los campos contaminados y al agua.

b). *Phoma lingam*. Este patógeno se presenta en la base del tallo de la planta, los primeros síntomas son manchas irregulares y pálidas. Las plantas presentan un desarrollo pobre, apariencia de marchitez y se vuelven de un color rojo azulado, su diseminación se debe a los campos contaminados y al agua. Se recomienda rotación de cultivos.

c). *Rhizoctonia solani*. Este hongo afecta principalmente tallos, causando que éstos sean más pequeños en su diámetro, se caracterizan por ser fibrosos y el desarrollo de las plantas es muy lento. Este hongo es favorecido por la humedad, los daños pueden ser considerables si no se realiza una rotación de cultivos. La enfermedad está relacionada a la saturación del agua en el suelo, temperaturas de 20 a 28°C. Produce una marchitez generalizada en toda la planta, iniciando por las hojas y luego por el tallo.

d). *Cercospora brassicola*. El fitopatógeno se presenta como manchas de color verde amarillo, generalmente se encuentran rodeadas de tejido marrón y en ataques severos producen defoliación.

Se relaciona con alta humedad relativa y temperaturas entre 13 a 18°C. Se recomienda una rotación de cultivos.

e). *Plasmodiophora brassicae* A la enfermedad causada por este hongo se le conoce como "la hernia" pueden permanecer en el suelo ácido por varios años o en los implementos utilizados. Los síntomas que se pueden observar es la marchitez generalizada de la planta durante el período de mayor calor del día, las hojas se vuelven de color verde pálido con amarillamiento luego las plantas se recuperan. Las raíces son más grandes de lo normal y presenta varias anomalías como hinchamiento y mal formación.

Las raíces llegan a romperse y entran por las heridas organismos secundarios, que provocan un decaimiento general. Para evitar su diseminación se recomienda pasar de un suelo infectado a un suelo sano, no utilizar implementos contaminados tales como el azadón y el machete. No sembrar en suelos ácidos. Aplicación de cal para regular el pH y rotación de cultivos.

f). *Fusarium sp.* Este hongo causa la enfermedad llamada "muerte súbita" de las plantas y ocurre generalmente antes y durante la siembra de la semilla, se asocia con temperaturas bajas, lo que inhibe o retrasa la germinación. Este hongo se ve favorecido por la humedad, los daños pueden ser considerables si no se realiza una rotación de cultivos.

g). Pythium sp. Este hongo también produce la muerte súbita de las plantas. Esta ocurre en la siguiente etapa fisiológica, cuando las plantas ya emergieron, La infección ocurre en la altura del cuello, mostrando tejido acuoso y estrangulado, disminuyendo conforme crecen las plantas. Este hongo se vea favorecido por la humedad los daños pueden ser considerable si no se realiza una rotación de cultivos.

h). Peronóspora sp. Este hongo causa la enfermedad del “Mildéu” y se caracteriza por que las hojas se recubren de una pelusa (seda) blanca o moho gris en el haz de la hoja luego se vuelve de color morado, amarillo o marrón (6). La infección se da en las hojas cuando penetra en el sistema vascular produce una pudrición negra lo cual afecta la comercialización. El desarrollo de la enfermedad se da por condiciones de neblinas prolongadas, lluvias ligeras y temperaturas nocturnas entre 8 a 16°C.

i). Phytophthora sp. Esta enfermedad se caracteriza porque los bordes de las hojas se tornan de color rojo o morado y se desarrolla una marchitez desde los bordes de las hojas hasta los tallos. Si el ataque es muy severo y la planta muy joven, puede causar la muerte. Está relacionado con suelos muy húmedos, mal drenados, con temperaturas entre 13 a 25°C. Se recomienda hacer una rotación de cultivos.

2.5.12 Daños fisiológicos en brócoli.(12)

a) Lepra: Es un daño fisiológico que se presenta por una escama superficial en la base del tallo. Se le atribuye a deficiencias de micronutrientes como Calcio, Boro, Magnesio, Zinc, Molibdeno y Manganese. También se atribuye a lesiones superficiales leves que van cicatrizando con el tiempo. La lepra puede producir que los tallos se rajen o quiebren, se facilite la entrada de bacterias y hongos a la planta.

b) Tallo hueco: Es el agrietamiento interno del tallo, lo que representa una disminución en la calidad. Se le atribuye a la deficiencia de boro, el cual es acompañado de una necrosis de los tejidos internos. Otra causa es la fertilización nitrogenada, ya que causa un crecimiento acelerado de la planta. Esta alteración fisiológica se debe a un crecimiento irregular. Todo lo anterior varía según la época del año y la zona, pues existe una estrecha relación entre factores ambientales: nutrición, temperatura, humedad disponible en el suelo con las características de las variedades utilizadas.

2.6 Clasificación de los fertilizantes utilizados en el cultivo del brócoli:

El brócoli responde a la fertilización nitrogenada; sin embargo, el exceso de nitrógeno causa tallos huecos. Es importante dotar al cultivo de cantidades suficientes de fósforo y potasio. Los fertilizantes químicos correctamente utilizados no causan residuos tóxicos en la planta, puesto que están compuestos de nutrientes que pasan a ser elementos integrantes de la estructura química de la planta. Así, el nitrógeno se transforma en clorofila y luego en proteínas, el fósforo en sabia y el potasio permite la concentración de azúcares y color (Salazar, 1999). El estado nutricional del suelo es una información muy importante para la obtención de altos rendimientos, ya que permite realizar una fertilización óptima y balanceada, el análisis de suelo indicará los niveles de macronutrientes y micronutrientes presentes en él. Los fertilizantes son productos que representan entre el 20 y 30% de los costos de producción de un cultivo. Muchos agricultores están aplicando fertilizantes en exceso, encareciendo los costos de producción, desmejorando la calidad y desnaturalizando la fertilidad de los suelos. Se debe hacer un llamado a los agricultores del país para que traten de minimizar las adiciones innecesarias de fertilizantes, nitrogenados, fosforados y potásicos al suelo (Bernal, 2004).

2.7 Las interacciones y la eficiencia de los fertilizantes:

Una interacción se refiere al efecto de un insumo o factor de la producción en respuesta de otro factor; por ejemplo los cultivos presentan respuestas altas, cuando la fertilización y otras prácticas de manejo interactúan positivamente.

En las interacciones se incluyen factores como: distanciamiento entre surcos, población de plantas, variedades, fecha de siembra, control de plagas y enfermedades, control de malezas, rotación de cultivos, pH del suelo, etc. Los mejores retornos económicos de la aplicación de fertilizantes se logran cuando se utilizan sistemas de producción basados en buenas prácticas agrícolas (BPA) y buenas prácticas de manejo (BPM).

2.8 Importancia de los elementos en el cultivo del brócoli y sus deficiencias:

Nitrógeno: Rodríguez, et al., (2003), manifiesta que el nitrógeno se encuentra en forma libre como componente del aire; en forma orgánica, constituyendo formación de tejidos y órganos vegetales, animales, desechos y en forma mineral como compuestos simples que se caracterizan por su solubilidad mayor o menor según -

los distintos medios. Síntomas de deficiencia de Nitrógeno: La insuficiente nutrición de la planta en nitrógeno se manifiesta, en primer lugar con vegetación raquítica, maduración acelerada con frutos pequeños y poca calidad causada por la inhibición de formación de carbohidratos, hojas de color verde amarillento, caída prematura de las hojas, disminución del rendimiento (MIRAT, 2006).

Bertsch, (2003), indica que en algunas plantas puede observarse una coloración púrpura en los pecíolos y nervios de las hojas, debido a la formación de pigmentos antociánicos.

Fósforo: Rodríguez, (1982), señala que el fósforo no se encuentra en estado de "pureza química", sino que se combina constituyendo los compuestos orgánicos e inorgánicos. Entre los compuestos orgánicos se encuentran los fosfolípidos, ácidos nucleicos, fitina e inositol, pertenecientes a la composición de la materia orgánica de vegetales y animales.

Los compuestos inorgánicos proceden además de la descomposición bacteriana del material orgánico, de los minerales del suelo del grupo del apatito y de fosfatos específicos como los del calcio, hierro y aluminio, además de otros sin una identificación química clara. Síntomas de deficiencia de Fósforo: Bertsch, (2003), manifiesta que con frecuencia, tiende a presentarse un estado general de achaparramiento. Las puntas de las hojas se secan y se manifiestan un amarillamiento. Estas presentan una ondulación característica. La deficiencia de fósforo al igual que la de nitrógeno, suele comenzar en las hojas inferiores que son más viejas. Se presentan hojas con un verde oscuro apagado que adquiere luego un color rojizo o púrpura característicos y llegan a secarse. Además, el número de brotes disminuye, formando tallos finos y cortos con hojas pequeñas, menor desarrollo radicular, menor floración y menor cuajado de frutos.

Potasio: Thompson, (1985), manifiesta que el potasio es absorbido por las plantas en forma de ión K+, pero desde hace mucho tiempo el contenido de potasio de un suelo y de los fertilizantes se expresa en forma de K₂O. El potasio es uno de los tres cationes principales que utilizan las plantas. Es una de las bases retenida en forma intercambiable por las arcillas y por los aniones orgánicos.

Es un catión bastante móvil, tanto en el suelo como en la planta, si bien como componente de la estructura de un retículo cristalino es muy inmóvil y relativamente resistente al proceso de meteorización.

Síntomas de deficiencia. Rodríguez, (2003), señala que los síntomas que presentan los vegetales ante las deficiencias de potasio se pueden generalizar en: reducción general del crecimiento, los tallos y la consistencia general de la planta son de menos resistencia física y presentan un menor vigor de crecimiento. Espinosa, (1994), indica que el síntoma más característico, es la aparición de moteado de manchas cloróticas, seguido por el desarrollo de zonas necróticas en la punta y borde de las hojas. Estos síntomas suelen aparecer primero en las hojas maduras debido a la gran movilidad de este elemento en la planta.

Calcio: El calcio es absorbido por las plantas en forma de catión Ca++. Una vez dentro de la planta, el calcio funciona en varias formas, incluyendo las siguientes: a) estimula el desarrollo de las raíces y de las hojas, b) reduce el nitrato (NO₃⁻) en la planta, c) activa varios sistemas de enzimas, d) neutraliza los ácidos orgánicos en la planta. **Síntomas de deficiencia:** Un síntoma común de la deficiencia de calcio es un pobre crecimiento de las raíces, las que se tornan negras y se pudren. Las hojas jóvenes y otros tejidos nuevos desarrollan síntomas debido a que el calcio no se transloca dentro de la planta.

Los tejidos nuevos necesitan calcio para la formación de sus paredes celulares, por lo tanto la deficiencia de calcio causa que los filos de las hojas y que los puntos de crecimiento sean gelatinosos. En casos severos, los puntos de crecimiento mueren.

Azufre: Sarli, (1980), indica que a diferencia del calcio y el magnesio que son absorbidos por las plantas como cationes, el azufre es absorbido principalmente como anión sulfato (SO₄⁼). También puede entrar por las hojas como dióxido de azufre (SO₂) presente en el aire. El azufre es parte de cada célula viviente y forma parte de dos de los 21 aminoácidos que forman las proteínas. **Síntomas de deficiencia** INPOFOS, (1997), dice que las plantas que tienen una deficiencia de azufre presentan un color verde pálido en las hojas más jóvenes, aun cuando en casos de deficiencia severa toda la planta puede presentar color verde pálido y crecimiento lento. Las hojas se arrugan a medida que la deficiencia progresá.

Boro: Este elemento participa en la planta en el transporte de azúcares y es esencial en la formación de paredes celulares. La inflorescencia del brócoli se ve afectado por la carencia de este elemento. Los síntomas de deficiencia de boro se manifiestan con la presencia de huecos internos en el tallo de las inflorescencias.

2.9 Fertilización en el cultivo del brócoli:

Los programas de fertilización en el cultivo del brócoli se basan en los resultados del análisis del suelo y en el conocimiento de la demanda nutricional para cada etapa fenológica. La mayoría de los nutrientes los suministra el suelo, a menos que el contenido de estos, este por debajo del nivel crítico. En cuyo caso será necesario suministrar el nutriente limitativo. Prácticamente en todos los casos se requiere aplicar nitrógeno, pues este elemento se encuentra en concentraciones insuficientes en la mayor parte de los suelos. Es importante tomar en cuenta que las curvas de demanda son un punto de partida especialmente para el nitrógeno, pues se debe considerar el factor eficiencia, por lo que las dosis de aplicación del nitrógeno son normalmente mayores. La fertilización de fondo es recomendable para el caso del fosforo, que es un nutriente poco móvil se recomienda aplicar el 50% del fosforo y si el suelo no presenta problemas de fijación se puede aplicar la totalidad de este nutriente.

Las inadecuadas fertilizaciones que se hacen actualmente a muchos de los cultivos hortícolas, se deben principalmente a aplicaciones de fertilizantes que no son requeridos por el cultivo en cuanto a cantidad y época de aplicación de los nutrientes.

El principal objetivo de esta actividad es encontrar un nivel o niveles de fertilización que nos permita incrementar los rendimientos hasta ahora obtenidos y que los productores obtengan mayores beneficios económicos al reducir los costos de producción.

2.10 Requerimiento de nutrientes:

El brócoli ha sido calificado como la hortaliza de mayor valor nutritivo por unidad de peso de producto comestible, su aporte de vitamina C, B₂ y vitamina A es elevado, además suministra cantidades significativas de minerales. Debe tenerse en cuenta que para realizar esta actividad, es importante tomar en cuenta el estado nutricional del suelo para la obtención de altos rendimientos, ya que permitirá realizar una fertilización óptima y balanceada. Determinar el estado nutricional actual de la parcela mediante un análisis de suelo indicará los niveles de macronutrientes y micronutrientes presentes en el y su grado de disponibilidad para el cultivo. Para ello se recomienda realizar esta práctica previo a establecer el cultivo y repetirlo durante todos los años. Por lo que el resultado de dicho análisis determina si es necesario aplicar directamente al suelo los nutrientes que estén por debajo del nivel crítico. (10)

El conocimiento de la demanda nutricional para cada etapa fenológica es la base para preparar los programas de fertilización en los cultivos. Junto con otras hortalizas, el brócoli es muy importante en la nutrición humana, y su valor nutritivo radica principalmente en su alto contenido de vitaminas y minerales, es una excelente fuente de vitamina A, potasio, hierro y fibra, además de ser rico en hidratos de carbono, proteínas y grasa (Bernal, 2004).

Cuadro No. 1 Valor nutricional del brócoli:

El brócoli ha sido calificado como la hortaliza de mayor valor nutritivo por unidad de peso de producto comestible. Su aporte de vitamina C, B2 y vitamina A es elevado; además suministra cantidades significativas de minerales.

Valor nutricional del brócoli por 100 g de producto comestible	
Proteínas (g)	5.45
Lípidos (g)	0.3
Glúcidos (g)	4.86
Vitamina A (U.I.)	3.500
Vitamina B ₁ (mg)	100
Vitamina B ₂ (mg)	210
Vitamina C (mg)	118
Calcio (mg)	130
Fósforo (mg)	76
Hierro (mg)	1.3
Calorías (cal)	42-32

2.11 Dosis usuales de fertilización:

El consumo global de fertilizante aumentó alrededor de 31% de 1996 al 2008 y en los países en vías de desarrollo este incremento es de 56%. Cáseres, (1980), señala que en general, el brócoli requiere mucho abono, sobre todo nitrógeno y potasio, es menor exigente en fósforo.

En la mayoría de los casos se recomienda la incorporación de estiércol o abonos verdes al suelo, supliendo más tarde con aplicaciones de nitrógeno al lado del surco.

Rodríguez, (1982), manifiesta que el 75% del nitrógeno y el potasio se absorben a partir de la formación de la cabeza, en cambio las exigencias por fósforo se manifiesta durante todo el ciclo relativamente constante. El brócoli es exigente también en boro y molibdeno, debido al crecimiento rápido, ciclo corto y producción elevada; en suelos en los que el magnesio sea escaso conviene hacer aportación de este elemento.

Cartagena, (1998), afirma que el brócoli responde a la aplicación de nitrógeno en dosis de 120 a 240 kg/ha, principalmente cuando se aplica también fósforo de 50 a 210 kg/ha. Sólo durante el primer mes de trasplante se asimila entre el 5 y 10% del total de nutrientes y la asimilación máxima tiene lugar durante la formación de la cabeza. El brócoli es muy sensible a las deficiencias de nutrientes minerales principalmente.

Según “La agricultura de Colombia” (2008), el brócoli responde positivamente a la fertilización nitrogenada pero debe ser muy cuidadosa su aplicación. En términos generales, un cultivo puede llegar a extraer 68 kg/ha de nitrógeno, 23 kg/ha de fósforo y 56 kg/ha de potasio y producir cerca de 23 toneladas.

En pruebas de fertilización realizadas en suelos del oriente antioqueño (Colombia), se observó una buena respuesta a la adición de materia orgánica (5 tn/ha) y a fertilizante compuesto en relación 1:3:1 en dosis de 500 kg/ha aplicados a los 20 días después del trasplante.

El MAGAP (1991), reporta que en Costa Rica se han observado buenos resultados con la aplicación de 12 g de fertilizante fórmula 10-30-10 en el trasplante y 10 g de nitrato de amonio a cada planta, después de 30 días. Se recomienda la aplicación de fertilizantes foliares, principalmente los que contienen elementos como boro, magnesio y azufre.

El brócoli es una planta altamente sensible a la deficiencia de boro (que se manifiesta con la presencia de huecos internos en el tallo de la inflorescencia) y de molibdeno.

2.12 Importancia del brócoli en el contexto nacional e internacional: (15)

El mercado del Brócoli producido en Guatemala, se comercializa hacia Estados Unidos, Europa, y parte de Centroamérica. La calidad del producto requerido con fines de exportación viene definido por su tamaño, color, peso y forma. El gobierno de los Estados Unidos, a través de la administración de alimentos y drogas (FDA.) cumple la responsabilidad de monitoreo de residuos, tomando muestras buscando plaguicidas prohibidos principalmente clorotalonil y metamidofós. Así como el cumplimiento en la tolerancia de cada plaguicida, esto a través del registro que establece la oficina de protección ambiental (EPA, por sus siglas en inglés), tolerancia que describe la cantidad máxima permisible de un residuo de plaguicida presente en un producto agrícola.

Estados Unidos considera aprobado el uso de un plaguicida, después de que la EPA ha verificado los riesgos o beneficios derivados de su uso, esta agencia puede registrar algunos usos propuestos por el fabricante, una vez registrado el producto, la EPA establece los residuos máximos aceptables para el cultivo de brócoli. La Unión Europea (UE) por su parte ha tratado de estandarizar las tolerancias en sus países miembros para aplicarlos en aquellos que no disponen de tolerancias propias.

2.13 Experiencias en fertilización orgánica: (13)

Según La FAO, Los suelos que se manejan orgánicamente poseen un alto potencial para contrarrestar los efectos de la degradación del suelo. La degradación de las tierras secas se denomina desertización. Las causas de la desertización son el sobre cultivo.

Existe muy poca evidencia científica que pruebe el potencial de la agricultura orgánica para combatir la desertización, pero diversos ejemplos prácticos de los sistemas de la agricultura orgánica en áreas áridas muestran cómo la agricultura orgánica puede colaborar para que las tierras degradadas vuelvan a recuperar la fertilidad. Como experiencia en una granja biodinámica de SEKEM en Egipto cerca de El Cairo se cultiva 70 hectáreas de desierto. Por medio de la aplicación de métodos agrícolas orgánicos y biodinámicas (abono orgánico, acolchado, cultivo de cobertura) las arenas del desierto se convirtieron en suelo fértil, sustentando ganado.

El uso indiscriminado de fertilizantes químicos con fuentes de síntesis de materiales clorados ha recibido serios cuestionamientos en los últimos años, debido a que la acción de estos productos están causando graves trastornos en el ambiente, por lo que es necesario desarrollar cultivos con un manejo integral donde se incluya a la materia orgánica (MO) como base en la compensación nutricional de los cultivos, en zonas productivas como las de brócoli en el cantón Espejo, provincia del Carchi; es posible efectuar la fertilización con enmiendas orgánicas debido a la gran cantidad de desechos animales de las haciendas lecheras o a través de materiales como humus, compost y bokashi existentes en la zona.

La FAO (1995), manifiesta que los materiales orgánicos pueden mejorar la fertilidad de los suelos proporcionando a las plantas elementos nutritivos, modificando las condiciones físicas del suelo, aumentando la actividad

microbiológica para un mayor aporte de energía, protegiendo a los cultivos de un exceso temporal de sales minerales o de sustancias tóxicas, gracias a su fuerte capacidad de absorción y las fluctuaciones rápidas de acidez-alcalinidad del suelo, merced a su capacidad tampón.

Coronado (1997), dice los abonos orgánicos también se conocen como enmiendas orgánicas, fertilizantes orgánicos, fertilizantes naturales, entre otros. Existen diversas fuentes orgánicas como abonos verdes, estiércoles, compost, humus de lombriz, bioabonos; los cuales varían su composición química de acuerdo al proceso de preparación e insumos que se emplean.

Consejería de Agricultura, Pesca y Alimentación de la Generalitat Valenciana manifiesta el aporte de materia orgánica supone una adición de alimentos y energía para los microorganismos y demás flora responsable de llevar adelante los ciclos bioquímicos en la naturaleza, bien por la mejora de las condiciones físico-químicas del suelo. No obstante con la flora que se adiciona al terreno pueden entrar algunos macro y microorganismos indeseables.

La estructura es de enorme trascendencia en la fertilidad del suelo y depende de la forma de agregación de las partículas del suelo y estas agregaciones son tanto más positivas cuanto más equilibrada es la presencia de materia orgánica en él. Pero es que además, la estructura conseguida con una correcta presencia de materia orgánica es mucho más estable, es decir, que admite el laboreo sin sufrir modificaciones importantes.

2.14 Materia orgánica del suelo: (19)

La materia orgánica es uno de los componentes del suelo, en pequeña porción, formada por los restos vegetales y animales que por la acción de la microbiota del suelo son convertidos en una materia rica en reservas de nutrientes para las plantas, asegurando la disponibilidad de macro y micronutrientes. Cuando son agregados restos orgánicos de origen vegetal o animal, los microorganismos del suelo transforman los compuestos complejos de origen orgánico en nutrientes en forma mineral que son solubles para las plantas; pero este proceso es lento, por lo tanto la materia orgánica no representa una fuente inmediata de nutrientes para las plantas, sino más bien una reserva de estos nutrientes para su liberación lenta en el suelo.

La cantidad de materia orgánica en los suelos generalmente se expresa como porcentaje en base al peso del suelo. En la práctica, es difícil en el laboratorio separar el material orgánico e inorgánico de un suelo, por lo que una estimación del contenido de materia orgánica se obtiene indirectamente a través del análisis de un elemento que es constituyente de todas las sustancias orgánicas en el suelo: el carbono (C). Es decir, conociendo la cantidad de carbono orgánico (C₂) presente en una muestra de suelo, indirectamente se puede estimar cuál es su porcentaje de materia orgánica.

Cuadro No. 2 Descomposición de la materia orgánica (20)

La descomposición o mineralización de los residuos orgánicos por los microorganismos del suelo es netamente un proceso oxidativo:

Materia	Acción	Energía +	Nitrógeno (N)
Orgánica (carbohidrato + O ₂ + s, proteínas, lignina, grasas, aceites, etc.)	enzimática de los microorganismos del suelo	(5 Kcal/g de Materia Seca)	Fósforo (P) Potasio (K) Azufre (S) Calcio (Ca) Magnesio (Mg)

Una vez oxidada, lo que queda de la materia orgánica ha sido definida como humus, que es un material oscuro, heterogéneo y coloidal y responsable en gran parte de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) de los suelos.

2.14.1 Ciclo de la materia orgánica en el suelo (19)

En el ciclo de la materia orgánica en el suelo los residuos de plantas (raíces, tallos, hojas, flores, frutos, etc.) son atacados por los microorganismos en dos formas diferentes:

- a) Los compuestos de fácil descomposición son mineralizados rápidamente y el producto final es CO₂, H₂O, nitrógeno, fósforo, calcio y magnesio, los cuales pueden ser usados como nutrientes por las plantas o ser incorporados o inmovilizados por los microorganismos para poder desarrollar su propia actividad metabólica.
- b) Los compuestos más resistentes son mineralizados lentamente y conjuntamente con sustancias resintetizadas de origen microbiano, constituyen el humus, el cual con el tiempo puede ser descompuesto lentamente produciendo nuevamente formas iónicas simples a ser usadas por las raíces de las plantas. Estos compuestos son ácidos fulvicos, ácidos húmicos y huminas.

El dióxido de carbono, producto de la mineralización de la M.O. en el suelo y la respiración del sistema radical de las plantas puede salir del suelo a la atmósfera, donde puede ser usado en la fotosíntesis de la planta.

Las proteínas de los residuos orgánicos son descompuestas en aminoácidos y éstos en amonio, transformaciones realizadas por organismos heterótrofos como bacterias, hongos y actinomicetos. El amonio es oxidado en el proceso denominado nitrificación por bacterias autótrofas, en dos procesos, en el cual uno de ellos es acidificador del suelo debido a liberación de H⁺. El producto final de estos procesos es el nitrato (NO₃) la forma de nitrógeno más importante para las plantas, ya que es la forma soluble en que ellas pueden absorberlo. El nitrógeno natural del suelo proviene de los restos orgánicos en descomposición ya que no hay yacimientos minerales del suelo que provean nitrógeno.

En el caso del fósforo, este puede tener dos orígenes en el suelo. El fosforo del suelo puede provenir de yacimientos minerales de apatita que puede venir en tres formas como fluorapatita, cloroapatita e hidroxiapatita; y proviene de los restos orgánicos que son mineralizados por los microorganismos del suelo.

Las formas orgánicas del fosforo en el suelo están en forma de esteres de fosfatos. Al ser mineralizado, el fósforo puede encontrarse en dos formas moleculares como son el orto fosfato primario (HPO_4^{2-}), forma predominante, y el orto fosfato secundario ($H_2PO_4^-$), y su presencia en el suelo varía de acuerdo al pH del suelo: en suelos con $pH < 5$ predominan los orto fosfatos secundarios, mientras que en suelos con $pH 5,5-7,5$, predominan los orto fosfatos primarios, siempre y cuando no haya presencia de minerales como el aluminio, calcio, magnesio o hierro. Esta mineralización de fosforo depende de factores como la temperatura, la cual al incrementarse incrementa también la tasa de mineralización.

El potasio es un elemento que proviene principalmente de formas minerales no orgánicas del suelo, sin embargo un pequeño porcentaje proviene de los restos vegetales en descomposición donde el potasio es devuelto al suelo y puede o no permanecer en la solución del suelo. Cabe destacar un dato importante acerca de la disponibilidad de potasio; existen bacterias capaces de disolver las formas minerales de potasio para liberar K^+ .

En cuanto al azufre, constituye algunas de las proteínas las cuales son oxidadas liberando sulfatos (SO_4^{2-}), forma de absorción para las plantas y acidificando levemente el suelo.

2.14.2 Factores que Determinan la Distribución de la M.O. en el Perfil del Suelo:

A) Tipo de vegetación: Las raíces de las gramíneas son fuente importante de MO la cual se concentra en la horizonte "O", mientras que en suelos boscosos, la mayor fuente de materia son las hojas y restos de tallos que se concentran en el horizonte "O", las raíces no son buena fuente de MO ya que éstas perduran por varios años a diferencia de las raíces de las gramíneas.

B) El drenaje: suelos con alto contenido de humedad y poca aireación tienen mayor concentración de MO debido a que en ausencia de oxígeno la mineralización de ésta es reducida.

C) Condiciones climáticas: climas secos y con altas temperaturas reducen el crecimiento de las plantas y aceleración su descomposición, mientras que climas húmedos y con buena humedad retardan la mineralización de la materia orgánica, conservando su contenido en el suelo.

D) La topografía: también es importante en la distribución de la MO En suelos con pendiente elevada, la escorrentía de las aguas causa erosión del suelo, arrastrando la materia orgánica de la superficie y distribuyéndola a otras partes del terreno.

E) Cambio de vegetación natural por vegetación de cultivo: cuando un suelo es virgen, toda su vegetación es incorporada nuevamente al suelo, pero en caso de que se elimine esa vegetación del terreno para cultivar, ésta última no regresa en su totalidad al suelo sino que es consumida por el hombre. Esta situación provoca una disminución del contenido de materia orgánica.

2.14.3 Influencia de la materia orgánica sobre algunas propiedades de los suelos:

- a). Mejora la agregación y estabilidad de los agregados del suelo reduciendo la susceptibilidad a la escorrentía y erosión.
- b). Aumenta la capacidad de retención de humedad de los suelos, particularmente en aquellos de textura arenosa.
- c). Tiene influencia sobre el color de los suelos, estando generalmente asociados los colores oscuros con mayor contenido de materia orgánica.
- d). Es responsable en un alto porcentaje de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), especialmente en los suelos ácidos tropicales. La reducción en el contenido de materia orgánica en el suelo, generalmente causa una disminución en su CIC.
- e). En la mineralización de la materia orgánica se liberan cantidades apreciables de nitrógeno, azufre, fósforo y algunos micronutrientes esenciales para el crecimiento y producción de las plantas. Esta liberación es relativamente lenta y evita fuertes pérdidas de nutrientes por lavado como ocurre con los fertilizantes comerciales de alta solubilidad.
- f). Algunos óxidos amorfos en el suelo pueden formar complejos con la materia orgánica disminuyendo la fijación del fósforo hacia formas no aprovechables por las plantas.

2.14.4 Contenido de materia orgánica del suelo.(20)

El contenido de materia (M.O.) de los suelos es muy variable. Un típico suelo de pradera (Molisol) puede contener 5 a 6 % de M.O. en los 15 cm. superiores, mientras que un suelo arenoso aproximadamente 1%. En tanto que un suelo pobemente drenado a menudo tiene contenidos de M.O. próximos al 10 % o más y los suelos tropicales (Oxisoles) son conocidos por sus bajos contenidos de M.O.

El nivel de M.O. en los suelos es proporcional al contenido de nitrógeno (N). La relación C/N de la materia orgánica generalmente cae en el rango de 10 a 12, aunque valores mayores no son inusuales. Debido a la facilidad con que se realiza una determinación Khjeldhel el N es a menudo utilizado como una medida del contenido de M.O. Los procesos naturales que llevan al desarrollo de los suelos con contenidos variables de M.O. están relacionados a los llamados factores de formación del suelo:

2.14.5 Propiedades de la materia orgánica. (19)

Propiedades Físicas:

1).Confiere al suelo un determinado color oscuro.

2).Estructura. Da lugar a una buena estructura, estable.

Las sustancias húmicas tienen un poder aglomerante, las cuales se unen a la fracción mineral y dan buenos floculos en el suelo originando una estructura grumosa estable, de elevada porosidad, lo que implica que la permeabilidad del suelo sea mayor.

3).Tiene una gran capacidad de retención de agua lo que facilita el asentamiento de la vegetación, dificultando la acción de los agentes erosivos.

4).La temperatura del suelo es mayor debido a que los colores oscuros absorben más radiaciones que los claros.

5).Protege al suelo de la erosión. Los restos vegetales y animales depositados sobre la superficie del suelo lo protegen de la erosión hídrica y eólica. Por otra parte, como ya hemos mencionado, el humus tiene un poder aglomerante y da agregados que protegen a sus partículas elementales de la erosión.

6).Protege al suelo de la contaminación. La materia orgánica adsorbe plaguicidas y otros contaminantes y evita que estos percolen hacia los acuíferos.

2.14.6 Propiedades Químicas y Fisicoquímicas:

a). Las sustancias húmicas tienen propiedades coloidales, debido a su tamaño y carga (retienen agua, hinchan, contraen, fijan soluciones en superficie, dispersan y flocculan).La materia orgánica es por tanto una fase que reacciona con la solución del suelo y con las raíces.

b). Capacidad de cambio. La materia orgánica fija iones de la solución del suelo, los cuales quedan débilmente retenidos, están en posición de cambio, evita por tanto que se produzcan pérdidas de nutrientes en el suelo. La capacidad de cambio es de 3 a 5 veces superior a la de las arcillas, es por tanto una buena reserva de nutrientes.

c).Influye en el pH. Produce compuestos orgánicos que tienden a acidificar el suelo.

d). Influye en el estado de dispersión/flocculación del suelo.

e). Es un agente de alteración por su carácter ácido, descompone los minerales.

Propiedades Biológicas:

Fassbender (4) y Suquilanda (12), mencionan la importancia de la materia orgánica sobre las propiedades físicas y químicas del suelo, de la siguiente manera:

- a). Aporta los nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas, durante el proceso de descomposición (nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, boro, cobre, hierro, magnesio etc.)
- b). Activa biológicamente el suelo, ya que representa el alimento para la población biológica que en el existe. (Lombriz de tierra y bacterias fijadoras de nitrógeno).
- c). Mejora la estructura del suelo favoreciendo a su vez el movimiento de agua y aire y por ende el desarrollo radicular de las plantas.
- d). Reduce la plasticidad y cohesión de las partículas.
- e). Aumenta la capacidad de retención de agua.
- f). Acelera la disponibilidad de nitrógeno, fósforo y azufre.
- g). Incrementa la capacidad de intercambio catiónico del suelo, en proporciones de 5 a 10 veces más que las arcillas.
- h). Amortiguan los cambios rápidos de acidez, alcalinidad, salinidad del suelo y contra la acción de pesticidas y metales tóxicos pesados.
- i). Influye en los procesos formadores del suelo.
- j). Cambio en el color del suelo a colores más oscuros.
- k). Contribuye a la regulación del pH. del suelo.
- l). Reduce las pérdidas del suelo por erosión hídrica y eólica.
- m).Incrementa la temperatura del suelo.
- n). Incrementa la fertilidad potencial del suelo.
- ñ). Disminuye la compactación del suelo.

Cuadro No. 3 Rango General de Interpretación de la Materia Orgánica. (13)

Elemento.	Rango.	Clasificación.
% de Materia Orgánica.	2	Bajo.
	2 – 3	Ligeramente bajo.
	4 - 5	Adecuado.
	6 - 8	Ligeramente alto.
	>8	Alto.

Restrepo Jairo 2001. Elaboración de abonos orgánicos fermentados y biofertilizantes foliares.

2.15 Mejora genética:

Los objetivos de la mejora genética en brócoli se basan fundamentalmente en:

- a). Incremento de los rendimientos.
- b). Producción homogénea y recolección solapada.
- c). Adaptación de los factores agronómicos que influyen en el desarrollo de la planta y de la inflorescencia.
- d). Resistencia a plagas y enfermedades.

2.16 Fisiopatías:

Tallo hueco: es una cavidad en la parte central del tallo de la base de la inflorescencia. La superficie de corte en el pedúnculo tiende a volverse parda. El desarrollo de esta fisiopatía depende del cultivar y de las condiciones durante la producción.

Amarillamiento de las inflorescencias: Esta puede deberse a sobre madurez en la cosecha, temperaturas altas de almacenamiento y/o contacto con el etileno. En todos estos casos la causa fisiológica es la senescencia de las inflorescencias. La aparición de un color amarillo en las inflorescencias termina con la vida comercial del brócoli.

El amarillamiento por senescencia no debe confundirse con el color verde claro-amarillento que presentan las áreas de las inflorescencias que no estuvieron expuestas a la luz durante el crecimiento, algunas veces llamado “amarillamiento marginal”.

Granos pardos en la superficie del cogollo: es una fisiopatía en la que ciertas áreas de las inflorescencias no se desarrollan correctamente, mueren y se tornan pardas. Se cree que es provocada por un desequilibrio nutricional de la planta.

3. MATERIALES Y MÉTODOS:

3.1 Descripción del área experimental:

El experimento se realizó en el Caserío San José Siguilá el cual se encuentra localizado en la aldea Xequemeyá, Municipio de Momostenango, Departamento de Totonicapán.

Su clima es templado debido a que se encuentra a 1,853 metros sobre el nivel del mar (msnm). Durante el año se presentan dos épocas la lluviosa o invierno que va del mes de mayo a octubre y la seca o verano que va del mes de noviembre a abril. Su temperatura promedio oscila entre 18 a 23°C y su zona de vida: Bosque húmedo montano bajo subtropical (bh-MB) según Holdridge. Las medidas cartesianas con respecto al Meridiano de Greenwich son de 15°08'14" latitud Norte y 91°16'17" longitud Oeste, las colindancias del Caserío son las siguientes:

- Al Norte: La aldea San Luis Sibilá. de Santa Lucia la Reforma.
- Al Sur : La aldea Xequemeyá de Momostenango.
- Al Este: La Aldea Pa'maría de Santa Lucia la Reforma.
- Al Oeste: La aldea Jocote Seco de Santa Lucia la Reforma.

Sus suelos: En un 80% pertenecen a la serie Camanchá y Totonicapán, siendo principalmente suelos de origen volcánico, con un declive predominante entre 20-50% (4) y su fertilidad es que son suelos profundos, bien drenados, de color claro, con una fertilidad natural de media a alta. El potencial de los suelos posibilita la siembra de diversos cultivos entre los que se mencionan maíz, frijol, hortalizas, frutales deciduos, bosques mixtos y de coníferas. (4)

El Caserío dista a una distancia de 22.5 kilómetros del Municipio de Momostenango y 56.5 kilómetros de la cabecera departamental de Totonicapán.

3.2 Descripción del experimento:

3.2.1 Diseño del Experimento:

El experimento se realizó bajo un diseño de Bloques al Azar con cinco tratamientos y cinco repeticiones. Se usaron para el efecto 25 unidades experimentales y el tamaño de cada unidad experimental fue de 9.00 mts². (4.5x2); se dejaron distanciamientos entre tratamientos y repeticiones de 0.75 metros. El área total fue de: 331.5 mts². La parcela bruta ocupó un área de 9.00 metros cuadrados y estuvo conformada por 50 plantas; mientras que la parcela neta fue de 3.5 metros cuadrados con un total de 24 plantas, las cuales se sembraron a una distancia de 0.5 metros al cuadro.

El método estadístico usado, está dado por la ecuación:

$$X_{ij} = u + T_i + B_j + E_{ij}$$

Dónde: X = Total.

I = No. de tratamientos.

J = No. de repeticiones.

U = Media general.

T_i = Efecto de tratamientos.

B_j = Efecto de bloques.

E_{ij} = Error experimental.

3.2.2 Manejo del experimento:

Las actividades de campo que se desarrollaron durante el experimento fueron las siguientes:

a). Preparación del Suelo:

Se realizó en forma manual 8 días antes del trasplante efectuando un picado profundo de 30 a 40 centímetros para propiciar un buen desarrollo de las raíces. Seguido de medir, trazar y señalizar las parcelas experimentales a trabajar.

b). Trasplante y fertilización:

Por razones de interés por parte de los agricultores de hacer la prueba de plantillas en pilón, no se elaboró semillero, sino solamente se encargaron pilones de brócoli del híbrido Marathón. Haciendo agujeros a distancias de 50 cms. al cuadrado entre plantas y surcos dentro de cada parcela experimental, procurando evitar dobladuras de las raíces al colocar la plántula, luego se presiona en uno de sus lados para que no queden cámaras de aire.

El fertilizante orgánico se aplicó en banda ocho días antes del trasplante, en una sola aplicación al fondo de los surcos elaborados en cada una de las unidades experimentales de acuerdo al requerimiento del cultivo y al análisis del suelo y compost; tomando como base la producción potencial media, la producción en campos demostrativos y la producción propia del agricultor. Para la fertilización del testigo relativo (fertilizante químico), se hizo una primera aplicación a razón de 50 lbs. Por cuerda de 15-15-15, esto a los 10 días después del trasplante.

La segunda aplicación se realizó a los 30 días después de la primera aplicación utilizando urea a razón de 38 lbs. Por cuerda. Además se realizaron cuatro aplicaciones de un fertilizante foliar multimineral quelatado cuando empezó a formarse la inflorescencia a razón de 50 cc. por bomba de 4 galones de agua con un intervalo de aplicación de 10 días.

c). Control de malezas:

Se realizaron tres limpias en forma manual, la primera se efectuó a los 12 días después del trasplante, la segunda a los 30 días después del trasplante y la tercera a los 50 días después del trasplante.

d). Control de plagas y enfermedades:

Para el control de plagas se hicieron aplicaciones de endosulfan o deltametrina alternados a cada 10 días en dosis de 50 cc. En 4 galones de agua. Así también para el control de enfermedades se utilizó mancozeb a razón de 50 cc. Por bomba de 4 galones de agua.

e). Riego:

Durante el periodo de la investigación, fue necesario efectuar riegos durante los primeros días del trasplante, seguido posteriormente a intervalos de cada 6 a 8 días respectivamente, teniendo el cuidado de no tener mucha humedad.

f). Cosecha:

Se realizó a los 90 días después del trasplante, efectuándose tres cortes en total, se eliminó el efecto de bordes y los rendimientos fueron pesados con balanza, los datos de las pellas en cada tratamiento se sumaron para tener el peso total por unidad experimental, luego se dividió por el número de pellas para obtener el peso pella, expresándose estos en Tm/ha, tomando para el efecto 10 plantas al azar de cada unidad experimental.

3.2.3 Descripción de los tratamientos:

La Investigación consistió en evaluar tres niveles de fertilización orgánica con el uso de compost en el cultivo del brócoli; tomando en cuenta tres aspectos fundamentales de beneficio para el productor como lo fueron: la producción potencial media, la producción en campos demostrativos y la producción propia

del agricultor, usando para el efecto como comparador el uso de fertilizante químico. Las cantidades de fertilizante orgánico para cada tratamiento fueron en base a los requerimientos del cultivo, resultados de análisis de suelos y de materia orgánica compost. (9)

3.2.4 Los tratamientos evaluados fueron los siguientes: (fertilización química).

Tratamiento A: Testigo relativo (fertilización química). Este es el programa de fertilización comercial según recomendaciones agronómicas para el cultivo del brócoli, utilizando 40 kg. por cuerda en 2 aplicaciones, se hizo una primera aplicación a razón de 50 lbs. Por cuerda de 15-15-15, esto a los 8 días después del trasplante. La segunda aplicación se realizó a los 30 días después de la primera aplicación utilizando urea a razón de 38 lbs. Por cuerda. Además se realizaron cuatro aplicaciones de un fertilizante foliar multimineral quelatado cuando empezó a formarse la inflorescencia a razón de 50 cc. por bomba de 4 galones de agua con un intervalo de aplicación de 10 días. El área total fue de: 331.5 mts². La parcela bruta ocupó un área de 9.00 metros cuadrados y estuvo conformada por 50 plantas; mientras que la parcela neta fue de 3.5 metros cuadrados con un total de 24 plantas, las cuales se sembraron a una distancia de 0.5 metros al cuadro.

Fertilización Orgánica.

Tratamiento B: Este programa de fertilización orgánica evaluado en el cultivo del brócoli, resultó del requerimiento del cultivo, al análisis del suelo y al análisis del compost, tomando como base la producción propia del agricultor equivalente a utilizar 455 kg. de compost por cuerda.

La parcela bruta ocupó un área de 9.00 metros cuadrados y estuvo conformada por 50 plantas; mientras que la parcela neta fue de 3.5 metros cuadrados con un total de 24 plantas, las cuales se sembraron a una distancia de 0.5 metros al cuadro.

Tratamiento C: Este segundo programa de fertilización orgánica evaluado en el cultivo del brócoli, resultó del requerimiento del cultivo, al análisis del suelo y al análisis del compost, tomando como base la producción en campos demostrativos equivalente a utilizar 637 kg. de compost por cuerda.

La parcela bruta ocupó un área de 9.00 metros cuadrados y estuvo conformada por 50 plantas; mientras que la parcela neta fue de 3.5 metros cuadrados con un total de 24 plantas, las cuales se sembraron a una distancia de 0.5 metros al cuadro.

Tratamiento D: : Este programa de fertilización orgánica evaluado en el cultivo del brócoli, resultó del requerimiento del cultivo, al análisis del suelo y al análisis del compost, tomando como base la producción potencial media equivalente a utilizar 910 kg. de compost por cuerda.

La parcela bruta ocupó un área de 9.00 metros cuadrados y estuvo conformada por 50 plantas; mientras que la parcela neta fue de 3.5 metros cuadrados con un total de 24 plantas, las cuales se sembraron a una distancia de 0.5 metros al cuadro.

Tratamiento E: Testigo absoluto (cero fertilización). Aquí no existió ningún tipo de fertilización, por lo que los resultados de la producción fueron negativos.

La parcela bruta ocupó un área de 9.00 metros cuadrados y estuvo conformada por 50 plantas; mientras que la parcela neta fue de 3.5 metros cuadrados con un total de 24 plantas, las cuales se sembraron a una distancia de 0.5 metros al cuadro.

3.3 Forma de aplicación de cada uno de los nutrientes según programa de fertilización:

- a) Para el tratamiento A, (fertilización química), la forma de aplicación de cada uno de los nutrientes: nitrógeno (N), fosforo (P) y potasio (K) fue en forma manual y las dosis variaron con respecto a la primera y segunda aplicación: Primera aplicación: 15-15-15; Segunda aplicación: 46-0-0. Además se realizaron cuatro aplicaciones de un fertilizante foliar multimineral quelatado cuando empezó a formarse la inflorescencia a razón de 50 cc. por bomba de 4 galones de agua con un intervalo de aplicación de 10 días.
- b). Para el tratamiento B, C y D (fertilización orgánica compost), se aplicó en forma manual cada uno de los nutrientes: nitrógeno (N), fosforo (P) y potasio (K) de acuerdo a los requerimientos del análisis del suelo y del compost y las dosis variaron para cada unidad experimental, siendo este distribuido entre surcos ocho días antes de la siembra.
- c). Para el tratamiento E, no se le hizo ninguna aplicación de fertilizante, por lo que solo se tomó en cuenta como un testigo absoluto.

3.4 Híbrido utilizado:

El híbrido que se utilizó fue Marathón, de alto potencial con un rendimiento de 15 a 20 qq/cuerda de 25*25 varas. Las cabezas o pellas son grandes y compactas con un ancho de 20 cm. es de color verde oscuro, tallos fuertes y gruesos, una altura de plantas de 60 a 70 cms.

3.5 Variables de respuesta

3.5.1 Rendimiento:

- Peso total: Se pesaron cada una de las inflorescencias de los diferentes tratamientos, expresándose el rendimiento en Tm/ha. (realizándose tres cortes en total).
- Diámetro de la pella: Se realizó la lectura al momento de la cosecha, midiéndose el diámetro de cada inflorescencia en centímetros (durante los tres cortes).
- Costos de producción: Para el efecto se llevó un control de los trabajos realizados y gastos en la libreta de campo. Para realizar el análisis económico, se tomaron los costos de producción de cada tratamiento, estos datos se analizaron con el método de presupuesto parcial y análisis marginal.

3.6 Análisis de la información:

El análisis de la información se realizó mediante los aspectos fenotípicos: Diámetro de la pella, así como los rendimientos obtenidos; se sometieron a un análisis de varianza para determinar diferencias estadísticas entre tratamientos. Así mismo se realizó una comparación de medias con el uso de la prueba de Tukey al 5 %. En los tratamientos que presentaron diferencias estadísticamente significativas.

3.7 Análisis económico:

Se realizó el análisis económico considerando la rentabilidad de cada uno de los tratamientos para la producción de brócoli, en función de los costos fijos y los costos variables que implica el proceso de producción, obteniendo los siguientes resultados: ver cuadro No. 10A de anexos.

Del análisis económico se deduce que si existe diferencia entre los tratamientos, en relación al rendimiento por unidad de área. Por lo que se deduce que de los tres niveles de aplicación de fertilizante orgánico (tratamientos B, C y D), el que obtuvo mayor rendimiento es el tratamiento D con una rentabilidad del 95 %.

Si lo comparamos con el tratamiento A (fertilización química) que tuvo una rentabilidad del 100 %, nos podemos dar cuenta que en relación a los costos de producción, el tratamiento "D" tuvo una inversión menor al químico, por lo que se considera aceptable para el agricultor. Sin embargo puede apreciarse que el tratamiento C (fertilización orgánica) según su rendimiento, costos de producción y rentabilidad; es considerado como una segunda alternativa que muy bien puede trabajar el agricultor y que le presente mejores ingresos en su producción a través de un manejo adecuado del compost.

4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 Rendimiento por hectárea:

Cuadro No. 4: Se ordenaron los datos de cada unidad experimental y se expresaron en toneladas métricas por hectárea los cuales provienen de tres cortes de cosecha, dichos datos se muestran a continuación.

TRATAMIENTO	REPETICIONES					X _{ij}	X
	1	2	3	4	5		
A	30.02	28.06	29.76	31.33	30.35	149.52	29.90
B	13.70	14.35	13.05	14.03	15.01	70.14	14.03
C	19.57	18.27	16.96	18.92	19.18	92.90	18.58
D	28.39	29.37	31.33	27.41	26.10	142.60	28.52
E	9.78	11.75	9.39	8.81	10.77	50.50	10.10
Totales.	101.46	101.80	100.49	100.50	101.41	505.66	20.23

En el presente cuadro se puede observar que se presentaron tratamientos con alto rendimiento, por lo que se puede deducir que sí existe diferencia significativa entre los tratamientos evaluados. De acuerdo al análisis nos damos cuenta que con estos resultados estamos obteniendo producciones mucho mayores a las normales dentro del cultivo del brócoli, pero ello es debido a que en el terreno donde se realizó el experimento, hay una muy buena rotación de cultivos. La siembra se realizó durante el mes de agosto donde hay menos incidencia de plagas y enfermedades y se trabajó con pilones y se corrió menos riesgo a la pudrición del tallo y de acuerdo a los análisis del suelo y compost, el fosforo es un elemento importante durante la etapa de crecimiento de la planta, el cual se encontraba en condiciones altas lo cual favoreció un crecimiento rápido del cultivo.

También el híbrido Marathón fue otro de los factores que influyó en los resultados, ya que es considerado como uno de los más rendidores; así mismo la concentración de materia orgánica en el suelo, más las aplicaciones que se le hicieron, dieron como resultado rendimientos más altos.

Dada la importancia del cultivo de esta hortaliza, se prevé que en los próximos 50 años será necesario un incremento sin precedentes en la producción agrícola para satisfacer la gran demanda de la población mundial. El cultivo de brócoli requiere de dosis altas de fertilizantes, por lo que es imperativa la búsqueda de nuevos métodos de producción agronómica y económicamente sustentables para proteger el entorno. Por lo tanto, la reducción en el uso de fertilizantes nitrogenados y fosforados sintéticos (fuentes inorgánicas) por la fijación biológica del nitrógeno y solubilización biológica del fósforo; contribuirá en la reducción de la contaminación del aire y agua dando una alternativa de producción para los productores de brócoli.

4.2 Análisis de Varianza de los tratamientos

Para definir mejor la diferencia que existe entre cada tratamiento, se realizó un análisis de varianza en donde podemos mencionar que si existe diferencia altamente significativa entre tratamientos, mientras que entre bloques la diferencia existente no es significativa, debido a que algunas unidades experimentales quedaron al borde del camino y otras a la par de otro cultivo. Ver cuadro No. 6A de anexos.

4.3 Prueba de Medias del rendimiento

El bajo coeficiente de variación indica que el experimento fue bien manejado, por lo que se realizó una prueba de medias en donde se muestran los resultados obtenidos después de efectuar la comparación de medias de rendimiento en Tm/ha., prueba de Tukey al 5 % de probabilidad de error. Ver cuadro No. 7A de anexos.

Al aplicar la prueba de Tukey a los rendimientos obtenidos por los diferentes tratamientos dio como resultado que la fertilización química (tratamiento A) y una de las formas de fertilización orgánica (tratamiento D) son superiores a los demás, por lo que se considera que ambos tratamientos son estadísticamente iguales.

En relación a estudios similares, los rendimientos arriba mencionados se consideran un poco altos, pero se debe a que en el terreno donde se realizó el experimento existe un buen manejo de rotación de cultivos, buena concentración de materia orgánica, fósforo y potasio, de acuerdo a los resultados del análisis del suelo. La textura del terreno es franco-arenoso por lo que hay una muy buena concentración de los elementos: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y boro que ayudan a la formación de la inflorescencia.

4.4 Características fenotípicas.

Cuadro No. 5. Diámetro de las Inflorescencias: Aquí se muestran los resultados obtenidos al realizar un muestreo de los diámetros de las cabezas de brócoli expresadas en centímetros y que fueron considerados en el peso para obtener el rendimiento.

TRATAMIENTO	REPETICIONES					Xij	X
	1	2	3	4	5		
A	13.91	14.08	12.50	14.33	14.16	68.98	13.80
B	9.90	10.22	10.15	9.88	10.97	51.12	10.22
C	11.75	10.25	10.51	10.60	10.55	53.66	10.73
D	12.84	12.45	11.98	13.00	12.10	62.37	12.47
E	9.00	9.50	8.93	9.40	9.12	45.95	9.19
Totales.	57.40	56.50	54.07	57.21	56.90	282.08	11.28

El cuadro anterior muestra que el tratamiento A (testigo relativo), es superior en cuanto a diámetro de inflorescencia, seguido del tratamiento D, mientras que los tratamientos B y C mostraron un comportamiento intermedio, finalmente el tratamiento E por ser el testigo que no se le dio ningún tipo de fertilización, el diámetro fue bajo.

Se puede explicar que esto fue debido a factores fisiológicos que intervinieron durante el ciclo vegetativo de la planta, como por ejemplo: la concentración de boro que se encuentra contenido en la materia orgánica de la cual es liberado para uso del cultivo, este se interrelaciona con el potasio y el calcio en el metabolismo de la planta.

4.4.1 Análisis De Varianza Para Diámetro De Cabezas.

Los resultados de diámetro obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza en donde se puede observar que existe diferencia significativa entre tratamientos, más no a nivel de bloques, lo que indica que estadísticamente los tratamientos son diferentes y que los bloques son uniformes. Esta situación ameritó la realización de una prueba de medias por el método de Tukey cuyos resultados se muestran en el cuadro No. 8A de anexos.

4.4.2 Prueba de Medias de las inflorescencias

En el cuadro No. 9A de anexos se muestran los resultados obtenidos después de efectuar la comparación de medias de diámetros de cabezas, mediante la prueba de Tukey al 5 %. En donde se muestra que los tratamientos B y C son estadísticamente iguales en cuanto a diámetros de cabezas, mientras que los tratamientos A, D y E son totalmente diferentes entre ellos y respecto a los anteriores. El tratamiento E es el más bajo de todos en cuanto a diámetro.

5. CONCLUSIONES.

5.1 El tratamiento orgánico que presentó el mayor rendimiento de brócoli y a bajo costo por unidad de área, fue el tratamiento “D” con un rendimiento promedio de 28.52 Tm/ha. y un ingreso bruto de Q.81,567.00

5.2 Hay una diferencia significativa en el rendimiento del brócoli utilizando abono orgánico compost en comparación con la fertilización química, especialmente el tratamiento “D”, ya que en relación a los costos económicamente es más bajo y nos garantiza menor contaminación del ambiente.

5.3 De acuerdo al análisis económico en función de los costos fijos versus los costos variables y la tasa marginal de retorno al capital, existe diferencia entre los tratamientos, por lo que el nivel de fertilización de abono orgánico compost C y D, son considerados como una alternativa para los productores.

5.4 Dentro de los tres niveles de fertilización orgánica (compost) que se evaluaron, se puede deducir que la producción potencial media fue la más rentable de acuerdo a los costos de producción.

6. RECOMENDACIONES

6.1 Desde el punto de vista agronómico y económico, se recomienda utilizar en el Caserío de San José Siguilá, Aldea Xequemeyá, del Municipio de Momostenango, para el cultivo de brócoli el híbrido maratón y 28.52 Tm/ha. de fertilizante orgánico (compost) para poder obtener un 95 % de rentabilidad, siempre que haya un buen manejo en la diversificación de cultivos y buena aplicación de materia orgánica.

6.2 Buscar nuevos métodos de producción agronómica y económicamente sustentables para proteger el entorno. Por lo tanto la reducción del uso de fertilizantes químicos por la fijación biológica del nitrógeno y solubilización biológica del fósforo a través de ensayos de fertilización orgánica, contribuirá en la reducción de la contaminación del aire y agua dando una alternativa de producción para los productores de brócoli.

6.3 Ante el proceso de la globalización que afecta a la agricultura, Guatemala respondió especializándose en productos de exportación no tradicionales tales como el brócoli, que en el año 2009 fue considerado en otros países de Latinoamérica como la fiebre del oro verde, por lo que se recomienda que los productores, más allá de la producción, integran redes verticales entre espacios de producción, transformación y exportación.

6.4 Probar el efecto residual de los abonos orgánicos en un segundo cultivo, en el mismo campo experimental, con el fin de determinar la eficacia y eficiencia de los abonos orgánicos, que mejoren la producción del agricultor y contribuyan a reducir en parte los costos de inversión mediante la transferencia de tecnología.

7. BIBLIOGRAFÍA.

1. Alburgo, F.E. (1998). **Cultivo de Brócoli:** Manual agrícola Superb. Guatemala. C. A. 73 p.
2. Cásseres, E. (1980). **Producción de Hortalizas:** Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 310 p.
3. Baca N.C. (1985). **Compost:** Dirección General de Servicios Agrícolas, DIGESA. (MAGA). Guatemala. 10 p.
4. Fassbender, H.W. (1975). **Química de Suelos con énfasis en suelos de América Latina:** Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 390 p.
- 5 Fernández, C I A. (1987). **Evaluación del Rendimiento de 4 Variedades de brócoli y la respuesta a 4 fuentes de nutrientes, Aldea Tablón Villa Nueva Guatemala.** Tesis (Ingeniero Agrónomo). Quetzaltenango: Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía. pp. 7-31
- 6 National Plant Food Institute. (1980). **Manuel de Fertilizantes.** Trad. Modesto Rodríguez. 2 ed. México. Editorial Limusa, 291 p.
7. Pastoral Social, (1995). **Manual de Fertilización Orgánica II: Pastoral de la Tierra,** Parroquia San Miguel. Totonicapán. 8 p.
8. Programa Quiché, Ala. (1994). **Recomendaciones agronómicas para el cultivo del brócoli,** Folleto Técnico, Nebaj, Quiche, Guatemala. 21 p.
9. Vega, G.F.A. (1987). **Evaluación del Efecto de Niveles de “P”, “K” y Bo. Sobre el Rendimiento y calidad del cultivo de brócoli, Aldea Pachalí, Santiago Sacatepéquez, Guatemala.** Tesis (Ingeniero Agrónomo). Quetzaltenango: Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía. pp. 4-37.
10. Villela Ramírez, J.D. (1993). **El Cultivo del Brócoli:** Proyecto de Desarrollo Agrícola (P.D.A.) MAGA. Guatemala. 47 p.
11. Suquilanda, M. (1995). **Fertilización orgánica.** UPS-FUNDAGRO, Quito, Ecuador. pp. 5-6

12. Rodríguez Barrios, S. L. (2006). **Sistematización de las experiencias de los programas fitosanitarios en el cultivo del brócoli de exportación.** Tesis (Ingeniero Agrónomo). Guatemala: Universidad de San Carlos, Facultad de Agronomía. pp. 2-24
13. Restrepo, J.(2001). **Elaboración de abonos orgánicos fermentados biofertilizantes foliares:** Experiencias con agricultores en Mesoamérica Brasil CORI. San José, Costa Rica. pp. 1-49
14. Carrillo Riofrio, F.M. (2010).**Evaluación de seis mezclas de fertilizantes inorgánicos en el rendimiento del cultivo del brócoli (brasica oleracea variedad itálica).**Tesis (Ingeniero Agrónomo). Riobamba, Ecuador: Escuela de Ingeniería Agronómica. pp. 5-30
15. GUZMÁN, V.(2007). **Evaluación de seis híbridos de brócoli (Brassica oleracea var. Itálica, híbrido Legacy), a tres densidades de siembra.** Tesis (Ingeniero Agrónomo). Machachi-Pichincha. Quito, Ecuador: Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas pp.38-50.
16. Cayambe Yambay, D.A. (2011). **Evaluación de la Aclimatación y Rendimiento de 14 cultivares de brócoli (Brassica oleracea Legacy var. Itálica), a campo abierto.** Tesis (Ingeniero Agrónomo). Riobamba: Provincia de Chimborazo, Ecuador: Escuela de Ingeniería Agronómica, Facultad de Recursos Naturales. pp. 3-29
17. Mier, P. (2006). **Evaluación de cuatro niveles de fertilización orgánica (gallinaza), en el cultivo de brócoli variedad Legacy.** Tesis (Ingeniero Agrónomo). Ciudad el Ángel, Provincia del Carchi Cantón Espejo. Ecuador: Escuela de Agronomía. pp. 5-40

18. Gall, J. (2005). **El brócoli en el Ecuador. “La Fiebre del Oro Verde”.**
cultivos no tradicionales, estrategias campesinas y globalización.
Texto traducido del francés por Natalia D' Aquino. pp. 262-283
19. Silva, A. (1992).**La materia Orgánica del Suelo.** Disponible en: <http://www.fagro.edu.uy> Uruguay. 16 p.
20. Burés, S. (2004). **La Descomposición de la Materia Orgánica.**
Disponible en: <http://www.inorganic.com>. s/p.
21. Gómez, E. et al. (2006). **“Biodegradación de Asfálticos del Prestigio mediante la aplicación de las técnicas de compostaje-vermicompostaje y Residuos.** España. pp 56-63.

8. ANEXOS.

Cuadro No. 6A Resultado del análisis de varianza (ANDEVA), para la variable rendimiento y de esta manera definir mejor la diferencia que existe entre cada tratamiento.

FACTOR DE VARIEDAD	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.5%	
Total.	24	1563.75	-----	-----	-----	
Bloques.	4	0.2899	0.072	0.035	3.01	N.S.
Tratamiento.	4	1530.57	382.64	186.19	3.01	* *
Error Experimental.	16	32.89	2.055	-----		

Ns. =No significativo.

** = Altamente significativo.

C.V. = Coeficiente de variación 7.08 % (el diseño es confiable).

Cuadro No. 7A En este cuadro se muestran los resultados obtenidos después de efectuar la comparación de medias de rendimiento del brócoli expresados en Tm/ha. Prueba de Tukey al 5%.

TRATAMIENTO.	RENDIMIENTO MEDIO.	SIGNIFICANCIA.
A	29.90	a
D	28.52	a
C	18.58	b
B	14.03	c
E	10.10	d

Comparador: 2:8

Cuadro No. 8A Los resultados para diámetro de cabezas, fueron sometidos a un análisis de varianza (ANDEVA). Para ver si existe diferencia significativa entre tratamientos.

FACTOR DE VARIACIÓN	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F.5 %	
Total.	24	73.09	----	----	----	----
Bloques.	4	1.47	0.37	1.48	3.01	NS.
Tratamiento.	4	67.70	16.92	67.68	3.01	*
Error experimental.	16	3.92	0.25	----	----	----

C.V. = 4.43 %

NS. = No Significativo.

* = Significativo.

Cuadro No. 9A El siguiente cuadro muestra los resultados obtenidos después de efectuar la comparación de medias del diámetro de cabezas mediante la prueba de Tukey al 5%.

TRATAMIENTO	RENDIMIENTO MEDIO	SIGNIFICANCIA
A	13.8	a
D	12.5	b
C	10.7	c
B	10.2	cd
E	9.2	e

Comparación: 1.23

Cuadro No. 10A Resultados del análisis económico, considerando la rentabilidad de cada uno de los tratamientos para la producción de brócoli, en función de los costos fijos y los costos variables.

TRATAMIENTO	Rendimiento Tm/ha.	Costo total Q./ha.	Ingreso Bruto Q./ha.	Ingreso Neto Q./ha.	Rentabilidad
A	29.90	42,632.00	85,514.00	42,882.00	100 %
B	14.03	39,432.00	40,125.00	693.80	2 %
C	18.58	40,352.00	53,138.00	12,786.00	32 %
D	28.52	41,732.00	81,567.00	39,835.00	95 %
E	10.10	37,132.00	28,886.00	- 8,246.00	- 22 %

Cuadro No. 11A Tabla de las dosis aplicadas por cada programa de fertilización química y orgánica, incluyendo al testigo absoluto, expresados en qq/ha.

Trat	Nivel de Fertilización	Cantidad utilizada qq/ha.	Aplicaciones	Formula	Época de aplicación
A	Fertilización química.	20.25	2	15-15-15 + Urea.	La primera se realizó a los 10 días después del trasplante (50 lbs. Triple 15/cda.). La 2 ^a . a los 30 días después de la primera aplicación (38 lbs urea/cda.)
B	Fertilización orgánica.	230	1	Compost.	Se realizó en una sola aplicación 8 días antes del trasplante.
C	Fertilización orgánica.	322	1	Compost.	Se realizó en una sola aplicación 8 días antes del trasplante.
D	Fertilización orgánica.	460	1	Compost.	Se realizó en una sola aplicación 8 días antes del trasplante.
E	Cero fertilización	00	00	00	No se realizó ninguna aplicación de fertilización.

Cuadro No. 12A Se realizó un análisis del suelo con el fin de conocer la disponibilidad de los nutrientes en el mismo. Para el efecto se tomaron un total de cinco sub-muestras para su posterior homogenización y análisis respectivo.

DETERMINACIÓN	RESULTADOS	
N	0	- - - - -
P	45.65 ppm.	Muy alto.
K	103 ppm.	Medio.
Mat. Org.	2.98 %	Medio.
PH.	5.2	Acido.
Textura.		Franco Arenoso.

Cuadro No. 13A El cultivo del brócoli es muy exigente en materia orgánica, por lo que se realizó un análisis del abono orgánico (compost) con el objeto de aplicar las cantidades de fertilizante orgánico recomendadas para cada tratamiento.

ELEMENTO	PORCENTAJE %	PPM.
NITRÓGENO	3.46 %	
FOSFORO		4,060 ppm.
POTASIO		4,300 ppm.

Fuente: Resultados de análisis de compost del laboratorio de Producción Animal Prodesa, Maga Quetzaltenango.

Cuadro No. 14A El requerimiento nutricional del brócoli es una información muy importante ya que nos indica la cantidad de macro y micronutrientes que requiere el cultivo y en base a estos datos, juntamente con los resultados del análisis del suelo y del compost fue que se aplicaron las dosis de fertilizante para cada tratamiento.

Macro nutrientes	Elemento	Kg./hectárea
Nitrógeno	N	350
Fósforo	P	100
Potasio	K	70
Micro nutrientes		
Calcio	Ca	30
Magnesio	Mg	25
Hierro	Fe	125

Cuadro No. 15A Análisis Económico de los Tratamientos Evaluados. Para la presente investigación se tomaron en cuenta los siguientes Costos de Producción para 1 ha.

ACTIVIDADES	Unidad de Medida	Cant.	Precio Unitario/ Jornal	Valor Parcial Q.	Total Q.
Mano de Obra.					
Preparación del terreno.	Jornales.	46	75.00	3,450.00	
Trasplante.	Jornales.	46	75.00	3,450.00	
Fertilización.	Jornales.	46	75.00	3,450.00	
Limpias.	Jornales.	46	75.00	3,450.00	
Control fitosanitario.	Jornales.	46	75.00	3,450.00	
Cosecha + acarreo.	Jornales.	46	75.00	3,450.00	
Sub-total.					Q.20,700.00
Insumos:					
Pilones de brócoli.	Pilones.	40,250	00.20	8,050.00	
Pesticidas:					
Fungicidas.	Kilogramos	12	125.00	1,500.00	
Insecticidas.	Litros.	6	175.00	1,050.00	
Foliares y adherentes.	Litros.	12	90.00	1,080.00	
Sub-total.					Q.11,680.00
Costos Indirectos:					
Interés anual (15% s/insumos).				1,752.00	
Transporte.				3,000.00	
Sub-total.					Q.4,752.00
Costos Totales:					Q.37,132.00

TRATAMIENTO A: Fertilización Química.

Los costos de producción para 1 ha. son:

Fertilizante químico 20.25 qq. ----- Q. 5,500.00

Sub-total de costos de producción. ----- Q. 37,132.00

Total. ----- Q. 42,632.00

De acuerdo al cuadro No. 11 el tratamiento A (fertilización química) tuvo un rendimiento medio de 29.90 Tm/ha. Lo que equivale a Q.85,514.00 como ingreso bruto.

TRATAMIENTO B: Fertilización Orgánica (compost) 10 qq/cda.

Los costos para 1 ha. Fueron los siguientes:

Fertilizante orgánico compost 230 qq. ----- Q. 2,300.00

Sub-total costos de producción. ----- Q. 37,132.00

Total. ----- Q. 39,432.00

El rendimiento medio obtenido fue de 14 Tm/ha. por lo tanto el ingreso bruto fue de Q.40,125.00

TRATAMIENTO C: Fertilización Orgánica (compost) 14 qq/cda.

Los costos para este tratamiento por ha. son:

Fertilizante orgánico compost 322 qq. ----- Q. 3,220.00

Sub-total costos de producción. ----- Q. 37,132.00

Total. ----- Q. 40,352.00

El rendimiento medio de este tratamiento fue de 18.58 Tm/ha. y el ingreso bruto fue de Q.53,138.00

TRATAMIENTO D: Fertilización Orgánica (compost) 20 qq/cda.

Los costos de producción para 1 ha. son:

Fertilizante orgánico compost 460 qq. ----- Q. 4,600.00

Sub-total costos de producción. ----- Q. 37,132.00

Total. ----- Q. 41,732.00

Se obtuvo un rendimiento medio, según el cuadro No. 11 de 28.52 Tm/ha. y un ingreso bruto de Q.81,567.00

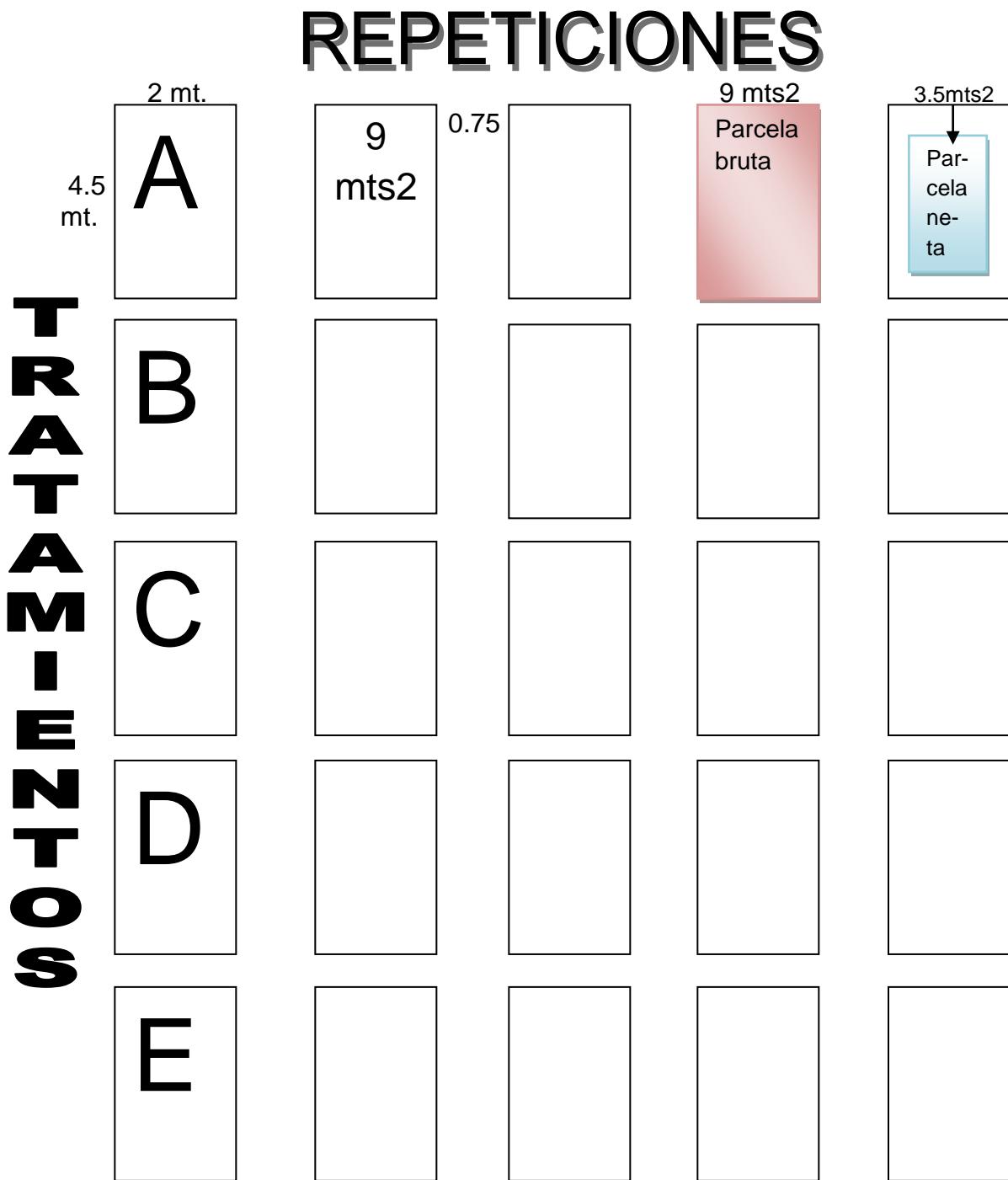
TRATAMIENTO E: Testigo Absoluto (cero fertilización)

Los costos de producción para 1 ha. son:

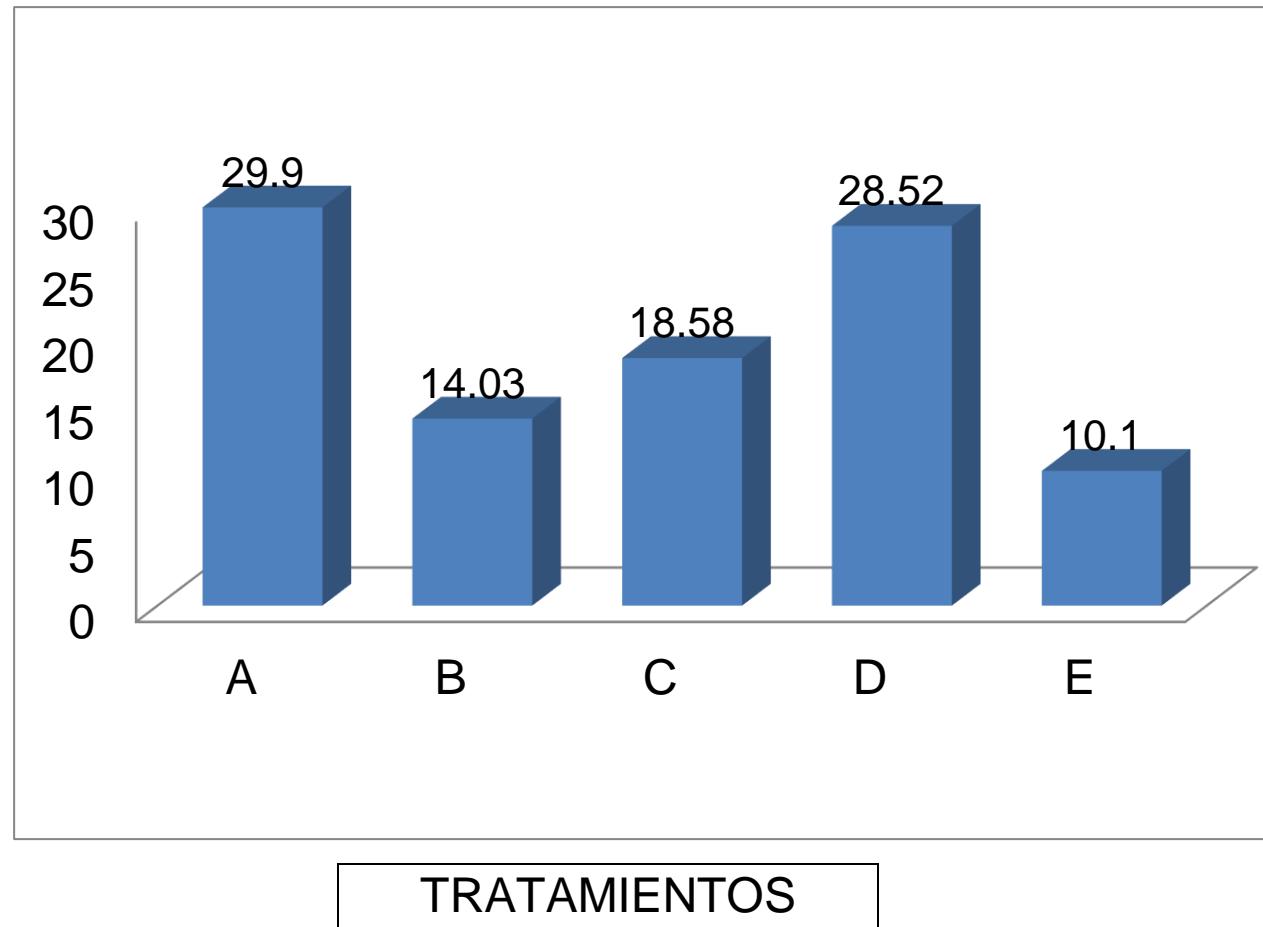
Costos de producción. ----- Q. 37,132.00

El rendimiento promedio para este tratamiento fue de 10.10 Tm/ha. Según el cuadro No. 11 y el ingreso bruto es de Q.28,886.00

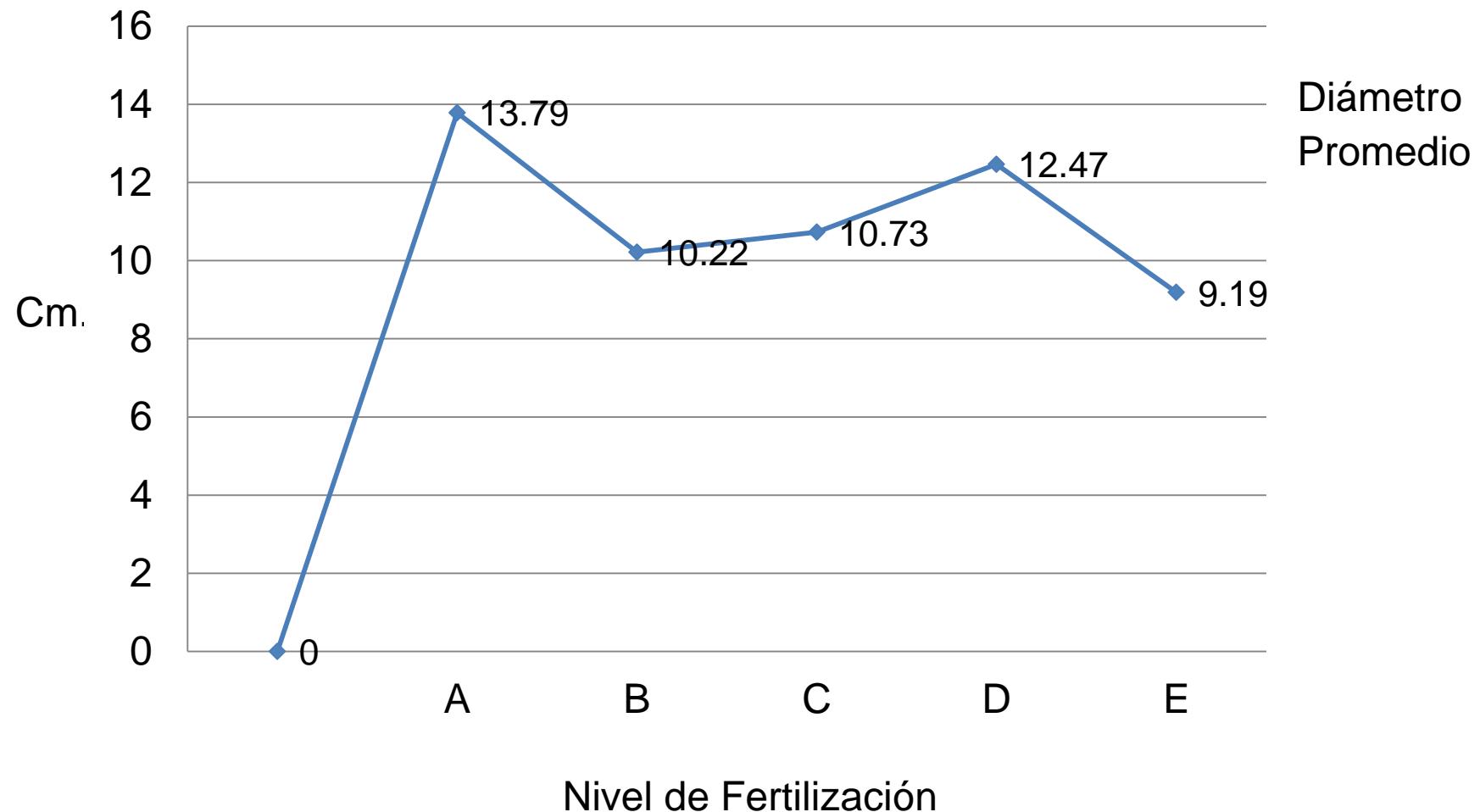
Grafica que muestra el diseño experimental utilizado: Fue el de bloques al azar con 5 tratamientos y 5 repeticiones incluyendo a un testigo absoluto y otro relativo, el tamaño de cada parcela experimental fue de 9.00 Mts² conteniendo 50 plantas la parcela bruta y 24 plantas la parcela neta.



Grafica que muestra el Comportamiento del Rendimiento en Toneladas Métricas por Hectárea, obtenido al aplicar tres niveles de Fertilización Orgánica (Compost), (B, C y D) incluye testigo Relativo y Absoluto (A y E).



Gráfica que muestra el Comportamiento del Diámetro de Cabezas en centímetros.



Grafica que muestra fotos del cultivo de brócoli.

