

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMIA



**“BIODESINFECCIONES DEL SUELO Y SU EFECTO EN
LA INCIDENCIA DE PATÓGENOS EDÁFICOS EN
Ocimum basilicum var. *Ligure*”**

Presentado por:

CALDERÓN CAPARACHÍN JULIO CRISTHIAN

Tesis para optar el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Lima - Perú

2016

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA**

**“BIODESINFECCIONES DEL SUELO Y SU EFECTO EN LA INCIDENCIA DE
PATÓGENOS EDÁFICOS EN *Ocimum basilicum* var. *Ligure*”**

Presentado Por:

CALDERÓN CAPARACHÍN JULIO CRISTHIAN

Tesis para optar el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Sustentada y Aprobada ante el siguiente jurado:

.....
**Dr. Julio Toledo Hevia
PRESIDENTE**

.....
**Ing. Mg. Sc. Carlos Cadenas Giraldo
PATROCINADOR**

.....
**Ing. Mg. Sc. Walter Apaza Tapia
MIEMBRO**

.....
**Ing. Saray Siura Céspedes
MIEMBRO**

Lima - Perú

2016

I. ÍNDICE GENERAL

I. ÍNDICE GENERAL	1
II. RESUMEN	8
III. INTRODUCCIÓN	9
IV. REVISIÓN DE LITERATURA.....	11
4.1. LA ALBAHACA.....	11
4.1.1. ORIGEN E HISTORIA	11
4.1.2. IMPORTANCIA	11
4.1.3. TAXONOMÍA.....	12
4.1.4. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA.....	12
4.1.5. ESPECIES	13
4.1.6. CONDICIONES MEDIO AMBIENTALES FAVORABLES PARA LA ALBAHACA	14
A. Clima.....	14
B. Suelo	14
4.1.7. FENOLOGÍA DEL CULTIVO	15
4.1.8. MANEJO AGRONÓMICO.....	16
A. Siembra	16
B. Densidad de siembra	16
C. Fertilización	17
D. Prácticas culturales.....	17
E. Plagas y enfermedades	18
F. Cosecha, post cosecha y comercialización	19
4.1.9. RENDIMIENTOS	19
4.2. ALTERNATIVAS AL CONTROL QUÍMICO DE POBLACIONES DE PATÓGENOS DEL SUELO.....	23
4.2.1. LA BIOFUMIGACIÓN.....	24
A. Los glucosinolatos (GSLs).....	28
B. Cuantificación e identificación de los glucosinolatos	29
C. Bioactividad de los glucosinolatos en <i>Brassica spp</i>	30
D. La práctica de biofumigación.....	32
E. Eficiencia de la biofumigación	32
F. Interacción de los microorganismos del suelo y la biofumigación en el control de patógenos del suelo.....	35
G. Fungistasis del suelo	36
4.2.2. SOLARIZACIÓN.....	38
A. Introducción.....	38
B. Conversión de la radiación solar en calor	39
C. Acción selectiva contra los organismos del suelo.....	39

D. Modo de acción.....	41
E. Técnicas de la solarización del suelo	43
F. Uso de una doble capa de plástico	44
G. Solarización y biofumigación	45
V. MATERIALES Y MÉTODOS	47
5.1. UBICACIÓN DEL CAMPO EXPERIMENTAL	47
5.2. EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA BIODESINFECCION DEL SUELO EN EL CULTIVO DE ALBAHACA.....	47
3.2.1 TRATAMIENTOS EMPLEADOS	47
5.3. MODELO ESTADÍSTICO	53
5.4. EXPOSICIÓN DE LAS PARCELAS A LA RADIACIÓN SOLAR	53
5.5. INSTALACIÓN DEL CULTIVO DE LA ALBAHACA	54
A. Preparación del terreno	54
B. Siembra.....	54
C. Riego.....	55
D. Manejo de plagas	55
E. Manejo de malezas.....	55
F. Cosecha.....	56
5.6. EVALUACIONES REALIZADAS	56
5.6.1. ANÁLISIS DE CARACTERIZACIÓN DEL SUELO.....	56
5.6.2. EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES	56
5.6.3. EVALUACIÓN DE LA TEMPERATURA DEL SUELO DE CADA TRATAMIENTO.....	56
5.6.4. EVALUACIÓN DE INCIDENCIA DE ENFERMEDADES CAUSADAS POR PATÓGENOS DEL SUELO	57
5.6.5. AISLAMIENTO E IDENTIFICACIÓN DE PATÓGENOS DE LAS PLANTAS DE ALBAHACA MUESTREADAS.....	57
5.6.6. EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE ALBAHACA	61
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	62
6.1. ANÁLISIS DE SUELO	62
6.2. CONDICIONES AMBIENTALES	63
6.3. TEMPERATURA DEL SUELO EN CADA TRATAMIENTO.....	65
6.4. INCIDENCIA DE ENFERMEDADES FUNGOSAS DEL SUELO	68
6.5. RENDIMIENTO	78
6.6. ANÁLISIS ECONÓMICO PARA CADA TRATAMIENTO	80
VII. CONCLUSIONES.....	86
VIII. RECOMENDACIONES.....	87
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88
X. ANEXOS.....	98

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N° 1. Estados productores de albahaca en México en el año 2010	20
Cuadro N° 2. Producción mensual del cultivo de Albahaca en el Perú en el año 2012, según región o subregión (t)	21
Cuadro N° 3. Superficie cosechada mensual del cultivo de Albahaca en el Perú en el año 2012, según región o subregión (Ha.).....	21
Cuadro N° 4. Rendimiento promedio mensual del cultivo de Albahaca en el Perú en el año 2012, según región o subregión (Kg./Ha.)	22
Cuadro N° 5. Precio promedio en chacra mensual del cultivo de Albahaca en el Perú en el año 2012, según región o subregión (\$/.por kg)	22
Cuadro N° 6. Potencial biofumigante in vitro, invernadero y a nivel de campo de especies de Brassicas para el control de patógenos transmitidos por el suelo	25
Cuadro N° 7. Tratamientos empleados en la evaluación del efecto de la biodesinfección en la incidencia de enfermedades fungosas de suelo	48
Cuadro N° 8. Análisis de caracterización de suelo después de la cosecha de los cultivos previos, brócoli y lechuga	62
Cuadro N° 9. Análisis de caracterización de suelo en todos los tratamientos después de transcurridos los 40 días de descanso	63
Cuadro N° 10. Promedios del área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) de los dos patógenos radiculares encontrados en el cultivo de albahaca y prueba de Tukey al 0.05 de probabilidad.....	76
Cuadro N° 11. Promedios del rendimiento acumulado del cultivo de albahaca por cada tratamiento y prueba de Tukey al 0.05 de probabilidad.....	79
Cuadro N° 12. Estructura estimada de Costos de Producción de Albahaca en La Molina, 2012.....	81
Cuadro N° 13. Costo de implementación de mantas de plástico de polietileno al suelo	82
Cuadro N° 14. Costo de incorporación de estiércol al cultivo de albahaca	82
Cuadro N° 15. Costos de incorporación de residuos del cultivo de brócoli.....	83
Cuadro N° 16. Valor de la producción de cada tratamiento al 90 % de su producción total	83
Cuadro N° 17. Análisis económico según los efectos de la incorporación de residuos de brócoli, estiércol y la solarización	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Hidrólisis enzimática del glucosinolato por la enzima mirosinasa y sus productos derivados	28
Figura N° 2. Factores que influyen en la eficiencia de la biofumigación	33
Figura N° 3. Campo experimental surcado a un distanciamiento de 80 cm.....	48
Figura N° 4. Delineación y división del campo experimental.....	49
Figura N° 5. Incorporación de estiércol a las parcelas correspondientes	50
Figura N° 6. Incorporación mecanizada de los residuos de brócoli y del estiércol a las parcelas correspondientes	51
Figura N° 7. Cobertura del suelo con mantas de plástico de polietileno.....	52
Figura N° 8. Croquis de los tratamientos instalados en una parcela en el campo experimental.....	52
Figura N° 9. Croquis de las seis parcelas experimentales instaladas en el campo Holle	53
Figura N° 10. Germinación de las semillas de albahaca	54
Figura N° 11. Plantas de albahaca regadas a los 28 días después de la siembra.....	55
Figura N° 12. Plantas de albahaca con síntomas de pudrición de cuello y/o raíces.....	58
Figura N° 13. Siembra en medio Papa Dextrosa Agar (PDA) de las porciones de tejidos desinfectados y secos de las muestras de raíces y cuello de plantas de albahaca.....	59
Figura N° 14. Identificación de las diferentes especies de patógenos del suelo encontrados en el cultivo de albahaca	60
Figura N° 15. Cosecha del cultivo de albahaca.....	61
Figura N° 16. Temperaturas registradas por el observatorio Alexander Von Humboldt durante el período de Julio de 2011 a Febrero de 2012	64
Figura N° 17. Humedades relativas registradas por el observatorio Alexander Von Humboldt durante el período de Julio de 2011 a Febrero de 2012.....	65
Figura N° 18. Promedios de la temperatura del suelo del factor incorporación de residuos de brócoli dependiente de la incorporación de estiércol y solarización y prueba de Tukey al 0.05 de probabilidad.....	66
Figura N° 19. Promedios de la temperatura del suelo del factor solarización dependiente de la incorporación de residuos de brócoli y estiércol y prueba de Tukey al 0.05 de probabilidad.....	66

Figura N° 20. Colonia de <i>Rhizoctonia solani</i> en el medio PDA aislada de plantas de albahaca.....	68
Figura N° 21. Hifas con ramificación en ángulo de 90° de <i>Rhizoctonia solani</i>	69
Figura N° 22. Colonia de <i>Fusarium solani</i> en el medio PDA aislada de plantas de albahaca	70
Figura N° 23. Hifas, fiálides, microconidias y macroconidias solitarias y agrupadas de <i>Fusarium solani</i>	70
Figura N° 24. Frecuencia de los patógenos radiculares que se presentaron en el cultivo de la albahaca: total y disgregado.....	71
Figura N° 25. Curva del progreso de la enfermedad causado por las enfermedades fungosas en el cultivo de albahaca.....	72
Figura N° 26. Curva del progreso de la enfermedad causado por <i>Rhizoctonia solani</i> en el cultivo de albahaca.....	72
Figura N° 27. Curva del progreso de la enfermedad causado por <i>Fusarium solani</i> en el cultivo de albahaca.....	73
Figura N° 28. Promedios del área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) del factor incorporación de residuos de brócoli y prueba de Tukey al 0.05 de probabilidad.....	74
Figura N° 29. Promedios del área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) del factor incorporación de estiércol y prueba de Tukey al 0.05 de probabilidad	75
Figura N° 30. Promedios del área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) del factor solarización y prueba de Tukey al 0.05 de probabilidad	75
Figura N° 31. Promedio del área bajo la curva del progreso del progreso de la enfermedad (ABCPE) de los patógenos radiculares encontrados en el cultivo de albahaca.....	77
Figura N° 32. Promedio del rendimiento total del cultivo de albahaca por cada tratamiento	79

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo N° 1. Análisis del estiércol de equino utilizado en la incorporación.....	98
Anexo N° 2. Prueba de germinación de las semillas de albahaca	98
Anexo N° 3. Análisis de variancia de la temperatura del suelo en el período de instalación de los tratamientos en el campo	99
Anexo N° 4. Promedios de la temperatura del suelo del factor incorporación de residuos de brócoli dependiente de la incorporación de estiércol de equino y solarización y prueba de Tukey al 0.05 de probabilidad.....	99
Anexo N° 5. Promedios de la temperatura del suelo del factor solarización dependiente de la incorporación de residuos de brócoli y estiércol y prueba de Tukey al 0.05 de probabilidad.....	99
Anexo N° 6. Datos originales de la incidencia de enfermedades fungosas del suelo en el cultivo de albahaca	100
Anexo N° 7. Datos originales de la incidencia de la enfermedad causada por <i>Rhizoctonia solani</i> en el cultivo de albahaca.....	101
Anexo N° 8. Datos originales de la incidencia de la enfermedad causada por <i>Fusarium solani</i> en el cultivo de albahaca.....	103
Anexo N° 9. Datos transformados mediante la raíz cuadrada de los datos originales más uno de la incidencia de enfermedad causada por <i>Fusarium solani</i> en el cultivo de albahaca	105
Anexo N° 10. Área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) causada por las enfermedades fungosas del cultivo de albahaca.	107
Anexo N° 11. Área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) causada por <i>Rhizoctonia solani</i> en el cultivo de albahaca.	109
Anexo N° 12. Área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) causada por <i>Fusarium solani</i> en el cultivo de albahaca.	111
Anexo N° 13. Análisis de variancia para el área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) de las enfermedades fungosas del suelo en el cultivo de albahaca	113
Anexo N° 14. Promedios del área bajo la curva del progreso de la enfermedad de las enfermedades fungosas del suelo del factor incorporación de residuos de brócoli dependiente de la incorporación de estiércol y solarización, y prueba de Tukey al 0.05 de probabilidad	113

Anexo N° 15. Promedios del área bajo la curva del progreso de la enfermedad de las enfermedades fungosas del suelo del factor incorporación de estiércol dependiente de la incorporación de residuos de brócoli y solarización, y prueba de Tukey al 0.05 de probabilidad	113
Anexo N° 16. Promedios del área bajo la curva del progreso de la enfermedad de las enfermedades fungosas del suelo del factor solarización dependiente de la incorporación de residuos de brócoli e incorporación de estiércol, y prueba de Tukey al 0.05 de probabilidad	114
Anexo N° 17. Análisis de variancia para el rendimiento promedio total del cultivo de albahaca (t / Ha.)	114

II. RESUMEN

El presente trabajo tuvo por objetivo evaluar el efecto que tienen las técnicas de biodesinfecciones del suelo con residuos del cultivo de brócoli, estiércol de equino, solarización y biosolarización en la disminución de la incidencia de las enfermedades causadas por hongos de suelo y en el rendimiento en el cultivo de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) var. Ligure. Previo a la instalación de los tratamientos, se dispuso la siembra del cultivo de brócoli en la mitad de cada unidad experimental, con la finalidad de poder disponer de sus residuos para su incorporación al suelo. Los tratamientos empleados fueron: T1 solarización de suelo con incorporación de residuos de cosecha de brócoli más estiércol, T2 suelo con incorporación de residuos de cosecha de brócoli más estiércol, T3 solarización de suelo con incorporación de residuos de cosecha de brócoli, T4 suelo con incorporación de residuos de cosecha de brócoli, T5 solarización de suelo con incorporación de estiércol, T6 suelo con incorporación de estiércol, T7 solarización de suelo y T8 suelo descubierto o testigo. Una vez instaladas todas las unidades experimentales con los tratamientos indicados, se expusieron a la radiación solar por 40 días. Durante este período se evaluó diariamente la temperatura de suelo en cada tratamiento. Finalizado el tiempo de exposición solar se procedió a la siembra de la albahaca y a partir de los siete días se evaluó cinco veces la incidencia de plantas con pudriciones de cuello y/o raíces cada cuatro días y al final del cultivo se evaluó el rendimiento total alcanzado en cada tratamiento. Con respecto al área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) se pudo observar que el tratamiento T1 tuvo el menor ABCPE con 299.31 y es similar estadísticamente a todos los tratamientos, excepto a los tratamientos 6, 7 y 8 que presentaron un ABCPE de 453.41, 459.77 y 675.68 respectivamente. Los patógenos aislados como los causantes de las pudriciones de cuello y raíces en este cultivo fueron *Rhizoctonia solani* J.G. Kühn y *Fusarium solani* (Mart.) Sacc., de estos dos, se presentó en mayor frecuencia el primer patógeno a nivel de todos los tratamientos. Respecto al rendimiento del cultivo se encontró una interacción positiva entre los tres factores: incorporación de residuos de brócoli, incorporación de estiércol y solarización. El T1 ocupó el primer lugar en rendimiento con un promedio de 69.053 t/Ha, y es estadísticamente similar a los tratamientos 2, 3, 4, 5 y 6, pero diferentes a los tratamientos 7 y al testigo, los cuales tuvieron un rendimiento promedio de 35.168 y 21.437 t/Ha. respectivamente. Al realizar el análisis económico se obtuvo que el tratamiento con mayor índice de rentabilidad es el T4, incorporación de residuos de brócoli, con una rentabilidad de 651.92 % con respecto al testigo.

III. INTRODUCCIÓN

Las hierbas aromáticas y medicinales han sido importantes a nivel mundial por el contenido de aceites esenciales que posee y las sustancias activas dentro de su composición. Con el pasar del tiempo, la industria y la medicina moderna han podido sintetizar las mismas sustancias activas presentes en estas plantas, reduciendo su interés. No obstante, ahora a nivel mundial se ha generado un gran interés local e internacional debido a su alto valor en el mercado culinario, medicinal y estético con un incremento significativo en la elección de que estos cultivos sean orgánicos. Es así que las plantas aromáticas crean una oportunidad de negocio para los agricultores de países en vías de desarrollo; tal como es el caso del Perú; que exporta a Estados Unidos, Canadá y Reino Unido para su uso culinario.

Dentro de las hierbas aromáticas, la albahaca ha adquirido importancia en la industria alimentaria, fundamentalmente como saborizante y condimento; al punto de considerarla insustituible por la alta cocina. En la medicina es usada como un estimulante, antiespasmódico, antialopécico y en la industria de la perfumería como aromatizante.

En el Perú, la región de la costa tiene un alto potencial para este cultivo por las condiciones medioambientales que posee. De acuerdo a lo reportado por el Ministerio de Agricultura, para el año 2012 se obtuvo una producción de 7870 t. con un rendimiento de 14453 Kg/Ha. en una superficie de 545 Ha.; siendo el departamento de Lima Metropolitana quien obtuvo el mayor rendimiento con 12591 Kg/Ha. La mayor parte de la producción nacional se comercializa en fresco y para la exportación se sigue un manejo de post cosecha, pero sobre la producción orgánica del cultivo aún no se cuentan con registros confiables (Minag, 2013).

La rentabilidad del cultivo de albahaca es afectada principalmente por enfermedades causadas por patógenos como *Pythium spp.*, *Rhizoctonia solani*, *Fusarium spp.* y *Phytophthora spp.*, los cuales, pueden afectar al cultivo durante su etapa de siembra y crecimiento. El manejo de estos patógenos se basa principalmente en el control químico realizando desinfecciones a nivel de semilla, sin embargo, uno de los problemas observados en la aplicación de estos productos en campañas continuas es la reducción de la eficacia en el control; por lo cual se debe implementar otras medidas de control que sean más sostenibles a través del tiempo.

Una de las alternativas promisorias propuestas en la actualidad es la biodesinfección basada en la incorporación de residuos de cosecha de brassicáceas al suelo, que además de controlar los patógenos radiculares promueve el equilibrio microbiológico del mismo. Otro punto favorable para implementar esta medida de control radica en su bajo costo, el cual es similar a la incorporación de enmiendas orgánicas que se realiza en forma habitual en la agricultura.

Bajo este contexto, el presente trabajo de investigación consistió en la producción del cultivo de albahaca utilizando la incorporación de residuos de brócoli con algunas variables para reducir la incidencia de enfermedades fungosas causadas por patógenos del suelo. Para lo cual, se planteó como objetivo general evaluar el efecto de la biodesinfección del suelo con rastrojos de brócoli sobre la incidencia de enfermedades fungosas en el cultivo de albahaca orgánica; los objetivos específicos se enfocaron a evaluar el efecto de la incidencia de enfermedades fungosas del suelo en el cultivo de albahaca con incorporación de brócoli, incorporación de estiércol, solarización y la interacción entre ellos, así como evaluar el rendimiento del cultivo de albahaca, con incorporación de residuos de brócoli, incorporación de estiércol, solarización y la interacción entre ellos.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. LA ALBAHACA

4.1.1. ORIGEN E HISTORIA

La albahaca es una planta originaria de Persia y Asia Menor (Asia Meridional), su nombre deriva de las palabras griegas *ókimon*, que quiere decir oloroso, en alusión a la fragancia de sus hojas y *basilicón*, que significa real, su mayor variabilidad genética se encuentra en la India donde se la considera sagrada; hace más de 4000 años se propagó por el sur de Arabia, Persia y Egipto, donde poseía un alto valor porque fue utilizada como uno de los componentes del bálsamo usado para la momificación (Cansing y Santillán, 2012 y López, 2005).

Las culturas griega y romana la introdujeron al continente europeo, extendiéndose ampliamente por Europa meridional. Llegó a Inglaterra en el siglo XVI y a América hasta un siglo más tarde con los primeros emigrantes. En la actualidad se ha extendido por las regiones templadas sobre todo por los países de la cuenca mediterránea. Se cultiva en África, América, Asia, Europa del Sur, Hungría e Indonesia, a una altitud de 0 a 1,000 m, sin embargo, se le puede encontrar en forma silvestre en regiones tropicales y subtropicales (López, 2005; Lucero-Flores y Sánchez-Verdugo, 2012).

4.1.2. IMPORTANCIA

En los últimos años se ha incrementado el interés de los consumidores en Estados Unidos y en Europa por las hierbas o especies que pueden usarse como infusiones alimenticias, medicinales o como condimentos para sazonar las comidas (López, 2005). Además se puede comercializar en seco y fresco, y sus flores producen un aceite esencial con diferentes constituyentes como linalol, geraniol, citral, alcanfor, eugenol, timol, etc. que tienen potencial para el mercado alimenticio y aromático (Goites, 2008; López, 2005; Minag, 2013). Por estos motivos, en los últimos años la oferta nacional muestra un comportamiento creciente en función a los requerimientos del mercado mundial, que se refleja a través de una mayor área sembrada de este cultivo y afines, el uso de nuevas técnicas de manejo agronómico e introducción de variedades mejoradas para hacer más competitivos a nuestros productos hortofrutícolas en el mercado internacional (López, 2005 y Montes *et al.* 2004).

En el aspecto agrícola se ha demostrado que este cultivo contiene componentes biológicamente activos que actúan como insecticidas, nematocidas, fungistáticos y antimicrobianos. En un estudio realizado en Cuba se comprobó que los residuos de cosecha de la albahaca favorecen la velocidad y el porcentaje de germinación del cultivo posterior (Cansing y Santillán, 2012, Escandón *et al.*, s.f., y Hechevarría *et al.*, 2002).

4.1.3. TAXONOMÍA

Según la clasificación de angiospermas propuesta por el sistema APG II en el 2009 (Cole y Hilger, 2010), la albahaca se clasifica de la siguiente manera:

- Reino: Plantae
- Subreino: Tracheobionta
- División: Magnoliophyta
- Clase: Magnoliopsida
- Subclase: Asteridae
- Orden: Lamiales
- Familia: *Lamiaceae*
- Subfamilia: Nepetoideae
- Tribu: Ocimeae
- Género: *Ocimum*
- Especie: *Ocimum basilicum*

4.1.4. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

Es una planta herbácea anual de tallos erectos y ramificados, frondosa, que alcanza entre 30 a 60 cm. de altura. Las hojas tienen longitudes que van desde 2 a 5 cm., son suaves, compuestas, oblongas, opuestas, pecioladas a ovadas, de borde entero a ligeramente dentado con el haz más oscuro que el envés y muy aromáticas. Las ramas son hispidulosas, las inflorescencias corresponden a cimas uníparas condensadas en verticilastros de 6 a 10 flores alrededor del pedúnculo, cada verticilastro lleva en la base 2 pequeñas brácteas opuestas (López, 2005 y Montes *et al.*, 2004).

Las flores son blancas o ligeramente purpúreas dispuestas en espigas alargadas, axilares en la parte superior del tallo o en los extremos de las ramas; el cáliz es campanulado con el margen ciliado de 4 mm. de largo; la corola tiene de 8 a 10 mm. de largo, es blanco-

rosáceo, está dividida en dos labios el superior con cuatro lóbulos y el inferior indiviso; los estambres tienen los filamentos y anteras blancas.

El fruto es dehiscente y está formado por cuatro aquenios pequeños y lisos. El peso promedio de 1000 semillas es de 1.40 gramos. (Cansing y Santillan, 2012; Escandon *et al.*, s.f.; López, 2005 y Montes *et al.*, 2004).

4.1.5. ESPECIES

Lucero y Flores (2012) clasifican a la albahaca en más de cincuenta especies, las cuales se diferencian en el tamaño, color, apariencia y el sabor. Dentro de las especies de albahaca más importantes se encuentran: La albahaca dulce o albahaca napolitana, (*Ocimum basilicum*), tiene hojas rizadas, grandes y redondeadas, de color verde claro, posee una suave fragancia con agradable sabor dulce y es la que más se utiliza en la cocina; la albahaca santa, (*O. sanctum*), tiene un aroma intenso y penetrante con atractivas flores de intenso color púrpura; la albahaca genovesa o albahaca arbusto, (*O. minimum*), tiene hojas pequeñas y con un sabor suave que se utiliza para elaborar la típica salsa pesto; la albahaca rizada púrpura, (*O. basilicum* var. Purple Ruffles), tiene un sabor dulce muy agradable y hojas rizadas de color intenso; la albahaca púrpura, (*O. basilicum purpureum*), del color que indica su nombre, presenta hojas lisas, suaves con un sabor mentolado; la albahaca thai, (*O. basilicum* var. thai queen), tiene hojas estrechas, ovaladas con tallos y flores de color púrpura con un sabor picante; la albahaca de canela, (*O. basilicum cinnamon*), tiene un característico aroma a canela; la albahaca limón (*O. citriodora*) y la albahaca lima (*O. americanum*) son de Tailandia; la albahaca anís (*O. basilicum anise*) es de Irán y por último, la albahaca rizada o de hoja de lechuga, (*O. crispum*), presenta una hoja de un tamaño casi tan grande como la de la lechuga.

Por otra parte, López (2005) clasificó la albahaca según el tamaño de la hoja; mencionando a las más comunes y de mayor importancia económica tales como:

- “Grande verde”, a la que pertenecen los cultivares italiana y genovesa que son de alta demanda como esencia en la industria alimentaria, así como de uso ornamental.
- “Hoja de Lechuga” (*Ocimum basilicum* var. *crispum*), con los cultivares Mamut, Napolitana y Green ruffles; estas variedades presentan mejores rendimientos en

fresco, debido al gran tamaño de sus hojas que llegan a medir hasta 15 cm. de longitud.

- “Fina Greca”; con hojas de 1 a 2 cm, que al cruzarse con variedades de hojas grandes da lugar a la variedad conocida como “medio verde”.
- “Roja aromática”, conocida también como Violeta, es usada principalmente en ornamentación, pero también tiene uso culinario por su aroma peculiar.

4.1.6. CONDICIONES MEDIO AMBIENTALES FAVORABLES PARA LA ALBAHACA

A. Clima

En términos generales la albahaca requiere condiciones de temperatura correspondientes a pisos térmicos entre semi-templado a templado cálido (entre 1000 a 2000 m.), pues no soporta bien las heladas; esta especie se desarrolla mejor en días largos a pleno sol. (Cruz *et al.*, 2008 y López, 2005).

La germinación de las semillas requieren temperaturas que oscilan entre 20 a 25 °C y ocurre a los 15 días, las temperaturas ambientales para su óptimo crecimiento van de 15 a 25 °C (Ardila, 2003 citado por López, 2005). Sin embargo, según Cansing y Santillan (2012) señalan un rango más amplio de temperatura (7 a 27 °C) y una temperatura óptima de 20 °C.

Cruz *et al.* (2008) establecieron que los factores de temperatura, radiación solar y el agua en el suelo son limitantes en este cultivo, en especial durante el período comprendido entre la distribución foliar y la producción de semillas, estos tres factores también influyen en elevar el contenido de principios activos en las hojas. Al analizar las evaluaciones de estos factores climáticos durante tres años en una zona árida de México, pudieron llegar a la conclusión que la temperatura y la humedad relativa tienen una relación directa con el rendimiento y señalan que a una temperatura promedio de 32 °C y una humedad relativa de 58 % se puede alcanzar los mayores rendimientos en este cultivo.

B. Suelo

Este cultivo se adapta a distintos clases de suelo, pero prefiere los suelos ricos en materia orgánica con mediana fertilidad, con un buen drenaje, una textura franca a areno–arcillosa y un pH de 6.6 a 7 (Hechevarria *et al.*, 2002 y López, 2005); aunque Kintzios y Makri,

citado por Cansing y Santillán (2012) señalan que este cultivo puede crecer a un pH desde 4.3 hasta 8.2.

Campos (2005) estudió el comportamiento del régimen de humedad de tres tipos de sustratos con características diferentes y su efecto en la propagación de este cultivo, los sustratos utilizados fueron turba 100 % rubia de origen alemán (turba 1), turba en mezcla de 60 % rubia y 40 % negra de origen alemán (turba 2) y turba 100 % rubia de origen canadiense que presentaba adición de perlita y vermiculita (turba 3). Al considerar solo la pérdida de agua, la turba 3 es el sustrato que presentó la mejor respuesta al uso de agua con un menor consumo; no obstante la propagación de la albahaca es un sistema con varios factores donde intervienen el sustrato, la semilla, el agua y el manejo para formar plántulas con las características necesarias para llevarlas a la producción deseada (tres pisos foliares, una altura promedio de 40 cm y con abundante masa de raíces); estas características señaladas se observaron en las plantas en las cuales se usó el sustrato 2.

4.1.7. FENOLOGÍA DEL CULTIVO

En este cultivo el proceso de translocación y acumulación de fotosintatos tiene un ritmo estacional de crecimiento. La planta presenta un crecimiento indeterminado, el meristema terminal permanece vegetativo durante todo el ciclo de desarrollo; después del comienzo de la floración el crecimiento vegetativo (hojas, ramas y tallos) y reproductivo (flores y frutos) tiene lugar al mismo tiempo, la planta no entra en receso (Cansing y Santillán, 2012).

Barroso y Jerez (2002) clasificaron al cultivo de albahaca en los siguientes estados de desarrollo:

- A. Siembra hasta la emergencia de las plántulas: Es el número de días transcurridos hasta que el 70 % de las plántulas emergieron sobre la superficie del suelo
- B. Emisión del primer par de hojas verdaderas: Es el número de días transcurridos hasta que el 70 % de las plantas emitieron el primer par de hojas verdaderas
- C. Emisión del primer par de ramas en las yemas axilares: Es el número de días transcurridos hasta que el 70 % de las plantas emitieron el primer par de ramas
- D. Aparición de la inflorescencia en el tallo central: Es el número de días transcurridos hasta que el 70 % de las plantas emitieron la inflorescencia en el tallo central

- E. Aparición de la inflorescencia en el primer par de ramas laterales: Es el número de días transcurridos hasta que el 70 % de las plantas emitieron la inflorescencia en el primer par de ramas laterales
- F. Senescencia del primer par de hojas: Es el número de días transcurridos hasta que el 70 % de las plantas mostraron su primer par de hojas verdaderas con clorosis.

4.1.8. MANEJO AGRONÓMICO

A. Siembra

En este cultivo se puede realizar la siembra directa, indirecta (trasplante) o se puede multiplicar por pequeños esquejes.

La siembra directa se puede realizar en terrenos bien mullidos y distanciados de acuerdo a cada cultivo; según López (2005), se siembra 4 o 5 semillas por golpe a una distancia de 20 cm; pero Siura y Ugaz (1993) señalan que se puede sembrar de 2 a 3 semillas por golpe a una distancia de 50 cm dejando al final solo una planta por golpe.

Para la siembra indirecta se utiliza un semillero realizado en un vivero en el cual se siembran 125 g. en una cama de 50 m² para poder sembrar 1 hectárea de terreno, el trasplante se realiza cuando las plántulas poseen 5 hojas o tienen 15 centímetros de altura (López, 2005).

Por otra parte, Goites (2008), señala que se realiza el trasplante cuando la planta tiene en promedio 10 cm de altura o 6 a 8 hojas, la siembra se realiza a una distancia de 50 cm entre surcos y 30 cm entre plantas y es conviene realizar el trasplante con la raíz cubierta con suelo.

B. Densidad de siembra

La densidad para la producción de follaje va en promedio desde 60000 a 90000 plantas por hectárea con un distanciamiento de 30 centímetros ente plantas y entre hileras, esta siembra se realiza mediante un sistema tres bolillo (Ardila, 2003 citado por López 2005).

Para la producción de semilla se realiza la siembra con un distanciamiento entre hileras y plantas de 20 y 30 centímetros respectivamente, a esta densidad de siembra se alcanza las 120000 plantas por hectárea (López, 2005).

Las densidades de siembra más utilizadas en un cultivo comercial son de 50000, 60000 y 100000 plantas por hectárea, la cual tiene un distanciamiento entre surcos y plantas de 80 y 30 centímetros respectivamente, en cada surco se siembra dos hileras con un distanciamiento de 15 a 20 centímetros entre ellas (Cansing y Santillán, 2012).

C. Fertilización

Muñoz, citado por López (2005) recomienda 100-150 unidades de nitrógeno en tres aplicaciones en forma de sulfato amónico; 100-140 unidades de fósforo en forma de superfosfato de cal y 100-140 unidades de potasio en forma de sulfato de potasio o un abono complejo de 12-12-12 en dosis de 1 kg/Ha, por otra parte Hamasaki, citado por Cansing y Santillán (2012) señala que la fertilización debe tener una relación NPK de 1-1-1 para suplir los requerimientos nutricionales de la planta por lo que recomienda una aplicación de 250-500 kg/Ha de Nitrógeno. En ensayos realizados en Salta, Argentina se empleó fosfato diamónico a razón de 250 kg/ha antes de realizar la plantación y dos aplicaciones de fertilizante foliar a razón de 4 kg/ha (Rossi, 1996 citado por López 2005).

En lo referente a los fertilizantes orgánicos, López (2005) señala que el compost y el bocashi son excelentes abonos orgánicos que logran satisfacer las necesidades de potasio y fósforo en este cultivo, pero no cumplen con los requerimientos de nitrógeno, por lo tanto es necesario realizar aplicaciones de otros fertilizantes para suplir dicha necesidad. Bardic, citado por Cansing y Santillán (2012) señala que la aplicación de harina de carne en el suelo es una estrategia prometedora para el manejo sostenible, ya que este residuo orgánico contiene una gran cantidad de nutrientes como el nitrógeno ($\pm 8\%$), fósforo ($\pm 5\%$) y calcio ($\pm 10\%$) principalmente en la forma orgánica, sin embargo tiene bajas cantidades de potasio y magnesio; además el alto contenido de materia orgánica en la harina de carne produce un efecto positivo en las características físicas, químicas y microbiológicas del suelo.

Para la siembra de este cultivo en invernadero Paunero, citado por López (2005) realizó la fertilización nitrogenada a través del riego aplicando una dosis de 100 kg/ha de urea y posteriormente una fertilización foliar completa al 0,5 % P.C. cada 15 días.

D. Prácticas culturales

Durante el ciclo del cultivo se desarrollan las siguientes prácticas para obtener rendimientos aceptables:

- Control de malezas: Esta labor se realiza previo a la instalación del cultivo y durante el ciclo del cultivo. Cuando se realiza una siembra directa se debe controlar las malezas las primeras etapas del cultivo, ya que hasta los 30 días después de la siembra hay una competencia por agua, nutrientes, luz y espacio, después de esta fecha el control es irrelevante. Cuando se realiza un trasplante se debe iniciar esta labor 30 días después del trasplante y repetirla cada 15 días (López, 2005).
- Aporques: Se realiza con el objetivo de disminuir las incidencias de enfermedades radiculares, se realiza uno o dos aporques sobre todo para la producción de semillas donde las plantas adquieren gran frondosidad. La albahaca es un cultivo rústico, una vez que está bien arraigado en el terreno compite con éxito con las malezas comunes las que mueren por falta de luz (López, 2005).
- Riegos: Se deben mantener a capacidad de campo el terreno especialmente durante la floración y llenado de las semillas, ya que en estas etapas los requerimientos de agua son máximos. Rossi, citado por López (2005) recomienda 6 riegos en una producción de albahaca en fresco y deshidratada. El INTA, citado por López (2005), indica que en el Valle Central de Catamarca la albahaca recibe un promedio de 373 mm. de agua por lluvias y además se realiza un aporte de 8 - 10 riegos equivalentes a otros 250-300 mm. de agua.

E. Plagas y enfermedades

Las enfermedades más importantes para este cultivo bajo nuestras condiciones son las enfermedades radiculares, las cuales pueden afectar durante la etapa de siembra y crecimiento. Estas enfermedades son *Pythium spp.*, *Rhizoctonia solani*, *Fusarium spp.* y *Phytophthora spp.* (Ventura, 2010)

Dentro de estas, la enfermedad más importante es la fusariosis vascular producida por *Fusarium oxysporum* que genera la reducción del follaje del cultivo y es una de las enfermedades más devastadoras de las plantas aromáticas (Ventura, 2010).

En California se ha detectado el ataque de *Sclerotium minor* antes de la cosecha produciendo daños en la base del tallo con áreas necróticas y desarrollo de una gran cantidad de micelio. Cuando se ha realizado la siembra de este cultivo bajo invernadero se ha detectado el ataque de *Alternaria alternata* (López, 2005)

Las plagas principales en este cultivo son el gusano soldado (*Spodoptera exigua*) que mordisquea la base de las plantas y el gusano ejército (*Spodoptera eridania*) (López, 2005).

F. Cosecha, post cosecha y comercialización

La cosecha de las hojas debe realizarse antes de la floración o durante esta, dependiendo del uso que se vaya a dar ya que para obtener la esencia se emplean las plantas con alto estado de floración, mientras que la industria culinaria la requiere antes de que la floración ocurra porque se obtiene un mayor aroma en este estado; también se emplean sus raíces para realizar algunos preparados (López, 2005; Lucero-Flores y Sánchez-Verdugo, 2012.).

En el caso de querer cosechar sólo las hojas se debe podar la parte apical de la planta, y así se evita que se formen los racimos florales en el extremo de las ramillas y se seque (Goites, 2008).

La albahaca en fresco se acondiciona mediante la confección de pequeños atados de 3 a 4 plantas, se atan por la base con un papel mojado sujeto con una banda elástica. Con 26 a 30 atados se completa un cajón de 8 Kg de peso aproximadamente, este se cubre con un papel transparente que sea resistente para evitar deshidrataciones durante el viaje a los mercados (López, 2005).

En un cultivo de albahaca industrial se realiza la cosecha en forma manual o mecanizada con silo cosechadora SPKZ 160 u otra similar, la altura de corte es de 10 a 15 centímetros sobre la superficie del suelo para garantizar el rebrote de las ramas. La primera cosecha se realiza cuando el cultivo está en plena floración lo cual ocurre entre los 90 a 110 días después de la siembra, además el rendimiento potencial del aceite se encuentra entre 0.3 y 0.4 %; se realiza en promedio hasta 4 cortes al año.

4.1.9. RENDIMIENTOS

Los principales países productores de albahaca son España, Italia, Francia, Egipto y México, hay otros países que producen este cultivo como Canadá, Hungría y Alemania, sin embargo no existe información confiable que refleje volúmenes de producción o datos de la balanza comercial. (Brito-Vega y Espinosa-Victoria, 2010.)

De acuerdo con Ardila, citado por López (2005), en Colombia los rendimientos promedios obtenidos para el cultivo de albahaca son los siguientes: El cultivo en fresco

tiene un rendimiento de 10 a 15 t/Ha considerando tallos e inflorescencias que representan aproximadamente del 40 al 50 % de peso total. Los rendimientos en variedades de albahaca de hoja ancha es de 6 t/Ha, el rendimiento de este cultivo seco es de 2 a 3 t/Ha considerando tallos e inflorescencias que representan aproximadamente el 40 % del peso total en seco, el rendimiento de hojas secas es de 1.2 a 1.5 t/Ha, el rendimiento de aceite esencial es de 2.4 a 3 kg/Ha.

López (2005) en su investigación realizada en Ecuador obtuvo un rendimiento de hojas de 3 a 4 t/Ha en las variedades Hoja de lechuga y Grande verde.

En Paraguay la albahaca tiene una vida útil de un año en la cual se realiza tres cortes por año y se obtiene un rendimiento de 1.500 Kg/Ha/año (Fretes, 2010)

En México, la producción de albahaca en el año 2010 fue de 3723.45 t. participando los estados de Baja California, Baja California Sur, Morelos y Nayarit, siendo Baja California Sur el mayor productor de esta hierba aromática con 2403 t, los datos se pueden apreciar en Cuadro 1. (Lucero-Flores y Sánchez-Verdugo, 2012.)

Cuadro N° 1. Estados productores de albahaca en México en el año 2010

Ubicación	Tipo	Superficie sembrada (ha)	Superficie cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t /Ha.)	PMR (\$/t)	Valor de la producción (miles de pesos)
Morelos	Convencional	26.00	26.00	188.79	7.26	6,683.81	1,261.84
Nayarit	Convencional	52.00	52.00	1,047.24	20.14	4,062.16	4,254.05
	Total	78.00	78.00	1,236.03	15.85	4,462.58	5,515.89
Baja California	Invernadero	5.62	5.62	84.42	15.02	22,836.53	1,927.86
	Total	5.62	5.62	84.42	15.02	22,836.53	1,927.86
Baja California Sur	Orgánico	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Baja California Sur	Orgánico	365.75	365.75	2,403.00	6.57	15,899.81	38,207.25
	Total	369.75	365.75	2,403.00	6.57	15,899.81	38,207.25

FUENTE: Lucero-Flores y Sánchez-Verdugo, 2012

En el Perú según el ministerio de agricultura en el año 2012, los datos de la producción, superficie cosechada, rendimiento y precio en chacra de este cultivo se pueden apreciar en los Cuadros 2, 3, 4 y 5:

Cuadro N° 2. Producción mensual del cultivo de Albahaca en el Perú en el año 2012, según región o subregión (t)

Región/subregión	Total	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
Nacional	7870	660	710	621	752	763	677	683	725	526	570	690	492
Lima	158	11	11	12	23	12	12	12	12	11	11	11	19
Lima metropolitana	5464	454	470	410	459	534	482	494	550	385	412	472	343
Callao	55	9	9	22	16	-	-	-	-	-	-	-	-
Ica	159	15	14	13	14	13	13	13	16	13	11	12	11
Arequipa	1938	165	192	150	240	198	162	158	140	110	129	189	105
Apurímac (Abancay)	96	7	14	14	-	6	6	6	7	7	7	7	14

FUENTE: Minag, 2013.

Cuadro N° 3. Superficie cosechada mensual del cultivo de Albahaca en el Perú en el año 2012, según región o subregión (Ha.)

Región/subregión	Total	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Nacional	545	43	44	41	43	46	43	45	49	36	38	43	75
Lima	14	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2
Lima metropolitana	434	37	37	32	36	41	38	40	43	31	33	38	28
Callao	7	1	1	3	2	-	-	-	-	-	-	-	-
Ica	36	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3
Arequipa	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40
Apurímac (Abancay)	14	1	2	2	-	1	1	1	1	1	1	1	2

FUENTE: Minag, 2013.

Cuadro N° 4. Rendimiento promedio mensual del cultivo de Albahaca en el Perú en el año 2012, según región o subregión (Kg./Ha.)

Región/subregión	Total	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Nacional	14453	15321	16098	15107	17440	16554	15740	15184	14938	14621	15207	16245	6605
Lima	11286	11000	11000	12000	11500	12000	13000	12000	12000	11000	11000	11000	9500
Lima metropolitana	12591	12276	12712	12803	12747	13018	12687	12343	12787	12423	12486	12418	12239
Callao	7871	8500	8600	7333	8000	-	-	-	-	-	-	-	-
Ica	4471	4723	4500	4258	4435	4258	4473	4467	4471	4483	4480	4600	4540
Arequipa	48450	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2625
Apurímac (Abancay)	6821	7000	7000	7000	-	6200	6300	6200	7000	6800	7000	7000	7000

FUENTE: Minag, 2013.

Cuadro N° 5. Precio promedio en chacra mensual del cultivo de Albahaca en el Perú en el año 2012, según región o subregión (S/.por kg)

Región/subregión	Total	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
Nacional	0.63	0.56	0.59	0.86	0.85	0.57	0.59	0.65	0.61	0.68	0.57	0.54	0.51
Lima	0.60	0.60	0.60	0.70	0.60	0.60	0.70	0.65	0.55	0.50	0.70	0.50	0.55
Lima metropolitana	0.52	0.53	0.57	0.54	0.58	0.55	0.54	0.53	0.50	0.50	0.50	0.51	0.44
Callao	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	-	-	-	-	-	-	-	-
Ica	0.62	0.65	0.62	0.65	0.63	0.60	0.61	0.62	0.60	0.60	0.62	0.62	0.64
Arequipa	0.91	0.50	0.60	1.80	1.45	0.60	0.70	1.00	1.00	1.30	0.75	0.60	0.58
Apurímac (Abancay)	1.49	1.50	1,40	1.50	-	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.60	1.40	1.50

FUENTE: Minag, 2013.

4.2. ALTERNATIVAS AL CONTROL QUÍMICO DE POBLACIONES DE PATÓGENOS DEL SUELO

Desde mediados de la década de 1980, se han realizado esfuerzos en el desarrollo de métodos alternativos de control al uso de pesticidas químicos como los Ditiocarbamatos y Benzimidazoles que se utilizan en el tratamiento de semillas o aplicaciones al pie de planta o como alternativa al uso de bromuro de metilo y de isotiocianato de metilo sintético (producidos a partir de metam sodio), que se utilizaban como fumigante del suelo (Lazzeri *et al*, 2004). Estos métodos incluyen el uso de agentes biológicos, como especies bacterianas, por ejemplo *Bacillus spp.*, y otros hongos, por ejemplo *Trichoderma spp.*, para los tratamientos de suelos y semillas. También se puede realizar una solarización con plástico fotodegradable y algún material vegetal para promover el control biológico (Agrios, 2005).

Estos métodos de control contra las enfermedades fungosas del suelo han sido implementados juntos a los ya establecidos, los cuales son evitar la siembra en zonas húmedas, el uso de semillas libres de enfermedades, manejo de la densidad de siembra y la esterilización con vapor al suelo en camas de invernadero (Agrios, 2005). Aun así siguen surgiendo dificultades en el manejo de estas enfermedades que ha llevado, con frecuencia, a la aplicación de desinfectantes de suelo no específicos, los cuales ya no están permitidos por razones ambientales (Vapnek *et al.*, 2007).

Por tal motivo, se ha promovido la aplicación de enmiendas orgánicas al suelo incluyendo los abonos verdes, compost y estiércol de animales para proporcionar nutrición a las plantas y controlar los patógenos transmitidos por el suelo, alterando la composición microbiana del mismo (Schlatter *et al.*, 2009), ya que se cree que el control de ciertos patógenos es impulsado por el aumento de la actividad microbiana (You y Sivasithamparam, 1995), sin embargo, los complejos microbianos introducidos a través del compostaje parecen ser menos eficaces que los presente en los suelos, ya que los microbios introducidos están propensos a morir rápidamente (You y Sivasithamparam, 1995; Cohen *et al*, 2005). Además, la falta de conocimiento respecto a la etiología de la enfermedad y el mecanismo activo que involucra la supresión de la enfermedad con materia orgánica ha dificultado la formulación de métodos de control alternativos, y por lo tanto su adopción generalizada (Mazzola *et al*, 2001; Cohen *et al*, 2005; Schlatter *et al*, 2009).

4.2.1. LA BIOFUMIGACIÓN

Los productos vegetales bioactivos incorporados como un cultivo de cobertura o enmienda del suelo han adquirido un uso significativo para el control de enfermedades en los sistemas de cultivos alternativos (Hirai, 2003; Cohen *et al*, 2005), este se centra en la posibilidad de usar plantas con metabolitos secundarios (aleloquímicos) que participan de forma natural en las interacciones ecológicas planta-microorganismo (Macías *et al.*, 2003). La alelopatía es la ciencia que estudia los metabolitos secundarios liberados de las plantas y los microorganismos al medio ambiente y su actividad afectan el crecimiento y desarrollo de los sistemas biológicos de sus alrededores. Los compuestos que son reportados como aleloquímicos son flavonoides, terpenos, ácidos fenólicos y compuestos de glucosinolatos (GSLs) (Hirai, 2003). Esta interacción biológica entre especies representa una de las alternativas más interesantes para el desarrollo de estrategias de protección de los cultivos (Macías *et al.*, 2003).

Un grupo de compuestos alelopáticos, los glucosinolatos, están mayormente presentes en *Brassicaceas* y otras familias de plantas (Rosa *et al.*, 1997); se ha reportado su efecto biocida en una amplia gama de microbios en un proceso denominado como biofumigación (Smolinska *et al*, 1997; Mazzola *et al*, 2001; Lazzeri *et al*, 2004; Dhingra *et al*, 2004; Cohen *et al*, 2005; Olivier *et al*, 2006; Larking y Griffin, 2007; Motisi *et al.*, 2009) (Cuadro 6). En la actualidad, la biofumigación se está investigando cada vez más con el fin de demostrar su eficacia en invernadero y campo para comprender los mecanismos implicados en el control (Motisi *et al.*, 2009). La FAO reconoce esta práctica cultural como relativamente nueva desde un punto de vista ecológico, social y económico; viable para los pequeños productores de hortalizas contra el aumento de los problemas fitosanitarios transmitidas por el suelo, sin embargo, la FAO también señala que su uso requiere la atención de los investigadores para perfeccionar los métodos de aplicación, identificar los cultivos de Brassicas con alto GSLs y adaptar las metodologías a las condiciones locales (Kumar, 2005).

Cuadro N° 6. Potencial biofumigante in vitro, invernadero y a nivel de campo de especies de Brassicas para el control de patógenos transmitidos por el suelo

Especie	CONTROL POTENCIAL			Referencias
	In vitro	Invernadero	Nivel de campo	
<i>Brassica napus</i> (Colza)	Compuestos volátiles liberados con toxicidad moderada a <i>Phytoththora erythroseptica</i> y toxicidad baja a <i>Rhizoctonia solani</i> Kühn.	Alto efecto en la reducción de inóculo y la incidencia sobre la reducción de la incidencia de lesiones de <i>R. solani</i> en papa.	Relativo efecto sobre la reducción del inóculo de <i>Spongospora subterranea</i> después de la incorporación del abono verde en el cultivo de papa, sin embargo, efecto moderado a bajo sobre la reducción de la incidencia y severidad de este patógeno y <i>R. solani</i> .	Larkin y Griffin, 2007.
		Baja cantidad de GSL en semillas trituradas de este cultivo, pero controla la infección de <i>Rhizoctonia spp.</i> nativo e introducido y la población de <i>Pratylenchus</i> en raíces de manzanas.		Cohen <i>et al.</i> , 2005
		Semillas trituradas de <i>B. napus</i> , mejoro el crecimiento de manzanas y suprime la infección de raíces de manzana por <i>Rhizoctonia spp.</i> y <i>Pratylenchus semipenetrans</i> .		Mazzola <i>et al.</i> , 2001
		Enmiendas con semillas trituradas de <i>B. napus</i> inhibieron el crecimiento micelial y la infección por oosporas de <i>Aphanomyces euteiches</i> f.sp. pisi en arveja		Smolinska <i>et al.</i> , 1997

continuación

<i>Brassica rapa</i> (mostaza china)	Compuestos volátiles liberados con toxicidad moderada a <i>Phytophthora erythroseptica</i> y toxicidad baja a <i>Rhizoctonia solani</i> .	Alto efecto en la reducción de inóculo y en la incidencia de lesiones de <i>R. solani</i> en papa.		Larkin y Griffin, 2007.
	Supresión del crecimiento hifal de <i>Rhizoctonia Solani</i> in vitro	El aceite esencial reduce drásticamente la colonización saprofítica de <i>R. solani</i> en el suelo y el control pre y post emergente de las plántulas de almácigo en frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i>)		Dhingra <i>et al.</i> , 2004
		Enmienda con residuos de plantas secadas al aire reducen en gran medida la población de <i>Ralstonia solanacearum</i> y la infección de este patógeno en el cultivo del tomate.		Olivier <i>et al.</i> , 2006
			Muy eficaz en la disminución de la incidencia de <i>Rhizoctonia</i> en la remolacha azucarera; sin embargo es variable en la severidad de la enfermedad, esto es vinculado a las variaciones en la incorporación de la biomasa	Motisi <i>et al.</i> , 2009

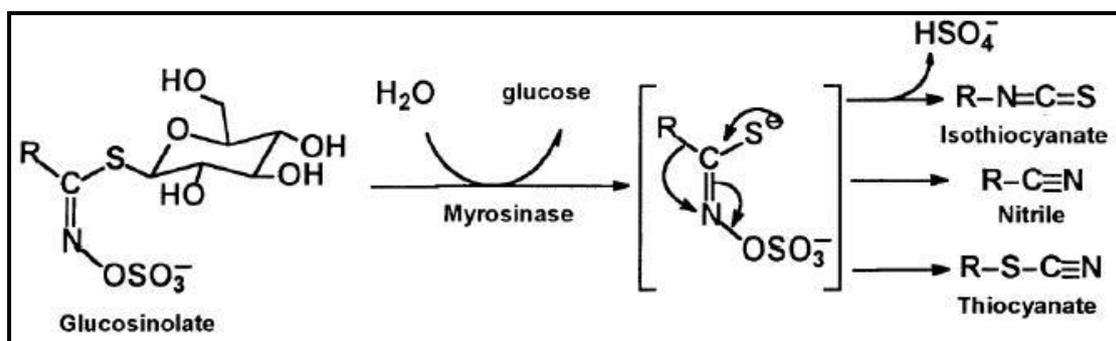
continuación

<i>Brassica juncea</i> (mostaza de hoja)	Compuestos volátiles liberados con alta toxicidad in vitro a <i>Rhizoctonia solani</i> , <i>Phytophthora</i> , <i>Pythium</i> , <i>Sclerotinia</i> y especies de <i>Fusarium</i>	Efecto relativo altos sobre la reducción del inóculo de <i>R. solani</i> y efecto moderado sobre la reducción de la incidencia de lesiones en papa	Efecto moderado en la reducción del inóculo de <i>Spongospora subterranea</i> después de la incorporación del abono verde en el cultivo de papa, sin embargo un efecto moderado a bajo sobre la reducción de la severidad de este patógeno y <i>R. solani</i> .	Larkin y Griffin, 2007.
	Las variedades de <i>Brassica juncea</i> que contienen altas concentraciones de compuestos volátiles y solubles de GSL tuvieron una fuerte actividad fungitóxica hacia <i>Pythium irregulare</i> y <i>Rhizoctonia solani</i> , pero la actividad fungitóxica de variedades que contienen baja concentración de GSL era muy baja.			
<i>Brassica nigra</i> (mostaza negra)	Alto contenido de GSL encontrados en <i>B. nigra</i> y <i>B. juncea</i> fue relacionado con su potencial de biofumigación, por otra parte se encontró baja fungitoxicidad de <i>B. rapa</i> . La mayor producción de biomasa mostrado por <i>B. nigra</i> , en comparación con <i>B. rapa</i> y <i>B. juncea</i> , es un factor importante para la eficiencia de la biofumigación en condiciones de campo.			Bellostas <i>et al.</i> , 2004

FUENTE: Ascencion, 2012

A. Los glucosinolatos (GSLs)

Los glucosinolatos es un grupo diverso de glucósidos de azufre derivados de aminoácidos, están distribuidos en dieciséis familias de angiospermas dicotiledóneas, en su mayoría especies de *Brassicaceae* y otras, al menos 500 dicotiledóneas incluyendo especies comestibles (Rosa *et al.*, 1997). Entre las *Brassicaceae*, el género *Brassica* ha sido el principal tema de estudio ya que incluye un gran número de especies de consumo habitual y sintetiza 88 de las 120 glucosinolatos conocidos con concentraciones relativamente alta en comparación a otros GSL que contienen otras familias de plantas (Fahey *et al.*, 2001; Kim *et al.*, 2004). Cuando las plantas son dañadas o descompuestas durante los procesos de descomposición, los glucosinolatos se hidrolizan en numerosos compuestos por la isoenzima mirosinasa endógena (β -D-thioglucohidrolasa) (Figura 1) (Fahey *et al.*, 2001). Esta enzima y los GSL están presentes juntos en la misma célula de la planta en diferentes partes o en células diferentes de la misma planta, pero en formas inactivas (Kissen *et al.*, 2009).



FUENTE: Ascencion, 2012

Figura N° 1. Hidrólisis enzimática del glucosinolato por la enzima mirosinasa y sus productos derivados

Los productos de la degradación del glucosinolato son la glucosa, isotiocionatos (ITC), nitrilos, tiocianatos, azufre y otros productos de hidrólisis, la distribución y la síntesis depende de las condiciones de hidrólisis y radicales involucrados (Gimsing y Kirkegaard, 2009). Los glucosinolatos son generalmente biológicamente no activos por sí mismos (Kissen *et al.*, 2009) y se cree que son desintegrados rápidamente en el suelo (Poulsen *et al.*, 2008), sin embargo los isotiocionatos (ITC) debido a su similitud química con el isotiocianato de metilo (un fumigante sintético generado a partir de metam sodio) han demostrado ser el producto de degradación más activo y biocida a una amplia gama de organismos del suelo, incluyendo los nematodos, bacterias y hongos (Fahey *et al.*, 2001;

Gimsing y Kirkegaard, 2009). Otros trabajos sobre sus características biológicas activas de los GSLs incluyen propiedades anti-nutricionales y anti-cancerígenos (Bellostas *et al.*, 2004, Kissen *et al.*, 2009).

B. Cuantificación e identificación de los glucosinolatos

La separación eficiente de los GSLs es difícil debido a su cambio altamente negativo conferida por el grupo sulfato ($pK_a: -9$), que se ioniza bajo casi todas las circunstancias. La cuantificación e identificación de los GSLs fue realizada originalmente por cromatografía de gases (GC) de los derivados de trimetil sililados de los GSLs, de la que se extrae el grupo sulfato fácilmente. Hoy en día, el método más utilizado para el análisis de los GSL es la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) de los productos de desulfación de la sulfhidrolasa, que de manera similar a la GC requiere equipos costosos, reactivos y mucho tiempo (Prester *et al.*, 1996). Sin embargo también se ha propuesto la cuantificación indirecta del contenido de GSLs mediante la medición de sub-productos de la hidrólisis (Fahey *et al.*, 2001). Van Etten *et al.* (1974) reportaron una metodología para cuantificar la GSL en tejidos de plantas que se usó anteriormente en la cuantificación de la glucosa en los fluidos corporales. Se sabe que la glucosa se forma siempre por hidrólisis de los GSLs (impulsado por la mirosinasa) sin tener en cuenta las condiciones de reacción (Fahey *et al.*, 2001), por lo tanto este método determina indirectamente el contenido total de GSLs mediante su medición de estos liberados de la glucosa, en un procedimiento rápido y simple que emplean reactivos comercialmente disponibles lo que resulta útil en las *Brassicaceae* en programas de fitomejoramiento.

El mecanismo de cuantificación se realiza de la siguiente forma, la glucosa se hace reaccionar con la glucosa oxidasa que resulta en la formación de peróxido de hidrógeno, que en presencia de la peroxidasa reacciona con un cromógeno que forma un producto coloreado, la intensidad del color medido después de la reacción está directamente relacionada con la reacción y por lo tanto el contenido de glucosa (Van Etten *et al.*, 1974).

La identificación y el aislamiento de los GSLs por GC y HPLC tienen la desventaja de que los desulfoglucosinolatos no son hidrolizados por la mirosinasa y no pueden ensayarse adicionalmente para la actividad biológica (Prester *et al.* 1996). Actualmente hay nuevas metodologías no destructivas para el aislamiento de los GSLs en la cromatografía líquida de uso utilizando interacción hidrófila (HILIC), que es complementada con la cromatografía líquida en fase inversa de pares de iones (IP-RPLC),

esto permite una resolución más eficiente de los GSL altamente cargados (Troyer *et al.*, 2001; Wade *et al.*, 2007). Estas dos metodologías abren la posibilidad de ensayar la bioactividad de los derivados individuales de los GSLs después del aislamiento y la reacción con la enzima mirosinasa endógena (Prester *et al.*, 1996).

C. Bioactividad de los glucosinolatos en *Brassica spp.*

La concentración y el tipo de los glucosinolatos varía entre las diferentes partes de la planta, edad fisiológica, especies vegetales, cultivares y las condiciones de crecimiento. El contenido medio de GSLs en tallos, hojas, raíces y vainas que se encuentran en la última etapa de crecimiento de la planta es generalmente por debajo de 15 $\mu\text{mol g}^{-1}$ DM. Sin embargo, en etapas específicas de crecimiento se puede alcanzar valores superiores a 150 $\mu\text{mol g}^{-1}$ DM o inferiores a 2 $\mu\text{mol g}^{-1}$ DM (Bellostas *et al.*, 2004). Se ha reportado también diferencias significativas en la concentración total de los GSLs y la distribución en la planta entre las diferentes especies, variedades, cultivares y lugar de origen en el material vegetal estudiado por Smolinska *et al.* (1997), Mazzola *et al.* (2001), Bellostas *et al.* (2004), Lazzeri *et al.* (2004), Cohen *et al.* (2005), Cohen y Mazzola (2006), y Larkin y Griffin (2007); en general se clasifica a la familia *Brassicaceae* como un cultivo que contiene bajo, moderado o alta cantidad de GSLs (Lazzeri *et al.*, 2004; Larking y Griffin, 2007).

Olivier *et al.* (2006) reportaron variaciones en la concentración total de GSLs entre dos variedades de *Brassica rapa ssp. rapifera* que contienen bajas concentraciones de GSLs, que muestra las concentraciones de 2.2 ("Ayumi") y 4.0 ("Aoi") $\mu\text{mol g}^{-1}$ DM. Bellostas *et al.* (2004) investigaron los tipos y la concentración de los glucosinolatos en los diferentes tejidos de las plantas de *Brassica* durante su ciclo fenológico, sus resultados mostraron que el contenido total de glucosinolatos de *B. nigra* y *B. juncea* en brotes variaron de 40 a 65 $\mu\text{mol g}^{-1}$ DM, y alrededor de 40 $\mu\text{mol g}^{-1}$ DM en órganos reproductivos a lo largo del ciclo de vida. En la última etapa de crecimiento de *B. nigra*, se encontraron valores altos como 98 $\mu\text{mol g}^{-1}$ DM en los frutos, seguido de *B. juncea*. El mayor contenido de GSLs en hojas fue en *B. juncea* ($> 14 \mu\text{mol g}^{-1}$ DM), mientras que *B. rapa* tenía los valores más bajos ($< 1 \mu\text{mol g}^{-1}$ DM). También se ha informado de la dominancia de GSLs específicos en diferentes partes de la planta. Por ejemplo, Fenetil-GSL se encuentra preferentemente en las raíces de *B. rapa* y *B. juncea*, pop-2enyl-GSL

en *B. nigra*, e indol-3-dimetil-GSL se distribuyó de manera uniforme a lo largo del ciclo de crecimiento de *B. nigra*, *B. juncea* y *B. rapa*.

Por otra parte, el contenido de GSL y el dominio de un GSL específico en cada cultivo de *Brassica* determinado se han relacionado con su efecto fungi-toxico *in vitro* y por lo tanto su potencial para utilizarlo en la biofumigación. Smolinska *et al.* (1997) estudiaron variedades de *B. napus* que contienen cantidades altas y bajas de GSL por su toxicidad para *Aphanomyces euteiches* fsp. *pisi*, sus resultados *in vitro* evidenciaron que la inhibición de hongos estaba relacionado con un alto contenido de GSLs y la producción de isotiocianatos. Lazzeri *et al.* (2004) concluyeron a partir de una prueba *in vitro*, que los cultivares de *B. juncea* que contienen un alto contenido de GSLs de glucocaparín y sinigrina inhiben completamente el crecimiento hifal de *R. solani* y *Pythium irregulare*. Bencil-ITC y 2-feniletil-ITC, dos isotiocianatos dominantes en *B. rapa* sp. *rapifera*, reportado por Olivier (2006), muestran efectos supresores sobre *Ralstonia solanacearum* tanto *in vitro* y en el campo. Dhingra *et al.* (2004) en su estudio sobre el potencial de isotiocianato de alilo purificado para controlar *R. solani* en plántulas, demostró que los tratamientos inoculados en un suelo franco-arenosos y areno-franco-arcillosos con ITCs solubles, suprime significativamente la incidencia de síntomas de *R. solani* (<7 % de incidencia) en plántulas de repollo y habas.

Mazzola *et al.* (2001) estudiaron el efecto de *B. napus* (en el cual los glucosinolatos son 3-butenil-GSL y 2-OH-3-butenil-GSL) sobre el crecimiento de manzanas replantadas en suelos patogénicos naturalmente. Su resultado mostró una mejora significativa en la longitud de brotes y la biomasa de las plántulas de manzana, acompañada a una reducción significativa de *Rhizoctonia spp.* cuando se examinaron las raíces de las plántulas, sin embargo, la biomasa de las raíces de las plántulas se redujo de manera significativa en las concentraciones de enmienda de 1 y 2 % w/w. Del mismo modo, Smolinska *et al.* (1997) concluyeron que los productos de hidrólisis de GSLs fueron fitotóxicos después de la reducción en el total de la planta y el peso de raíces, lo cual se observó en suelos enmendados con semillas de *Brassicaceas* con alto concentración de glucosinolatos. Las variaciones en los microorganismos del suelo tras la modificación de estos con residuos de *Brassica* también han sido reportados por Mazzola *et al.* (2001), Cohen *et al.* (2005), Olivier *et al.* (2006) y Cohen y Mazzola (2006). Sus observaciones coincidieron en el incremento poblacional de bacterias totales como *Pseudomonas fluorescens* y Actinomicetos, esta respuesta es distinta a *Pythium spp.* y *Cylindrocarpon spp.*, la

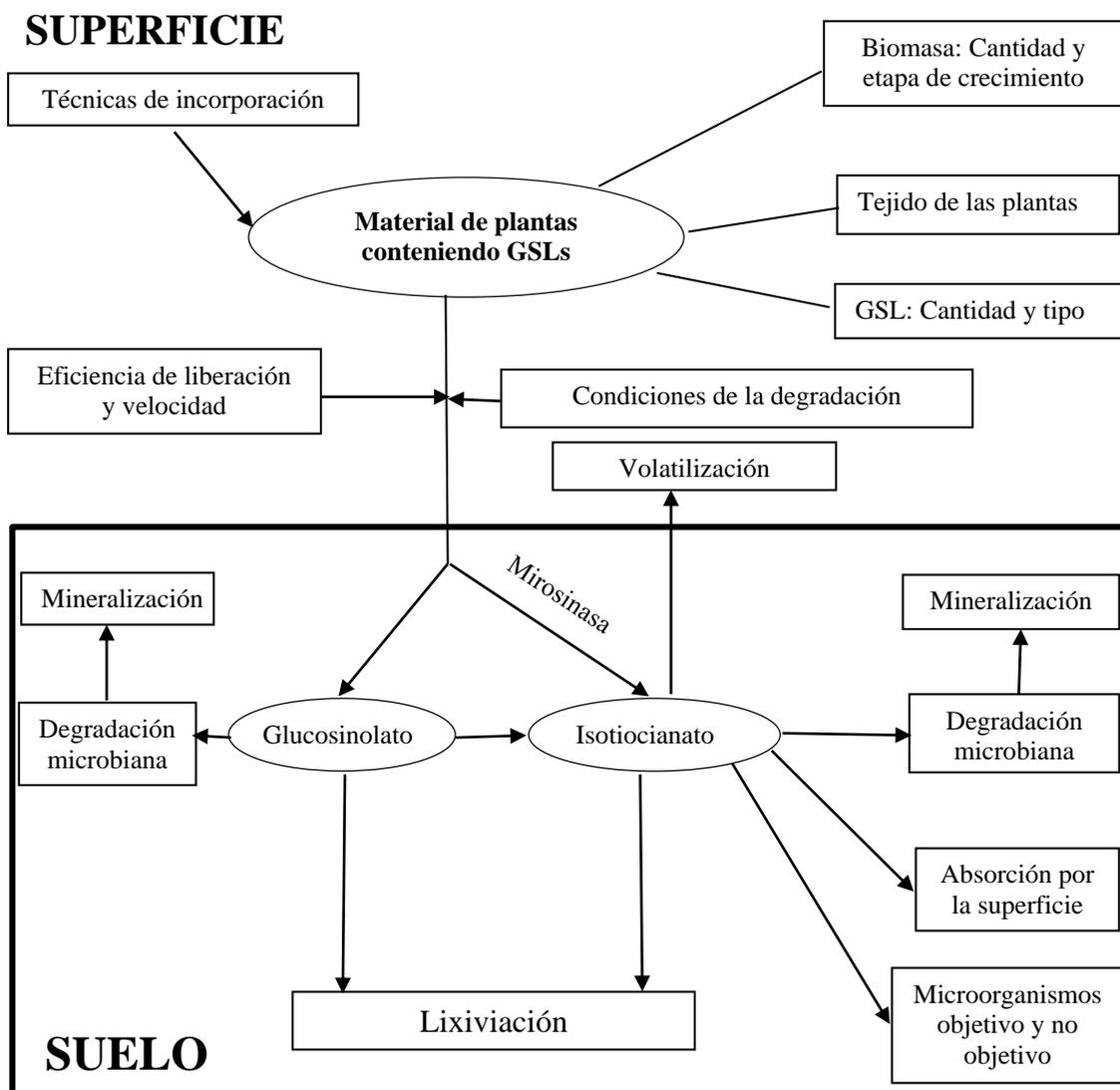
disminución de la población de *Pratylenchus penetrans* ocurrieron después de las enmiendas de *Brassica*. Por último, se cree que la modificación microbiana y el control de la enfermedad son independientes al contenido total de GSL cuando se incorpora tejidos con este metabolito, y la modificación de la comunidad microbiana se cree que debe participar en el control de las enfermedades (Ascención, 2012).

D. La práctica de biofumigación

Esta práctica agronómica se basa en el uso de productos químicos (aleloquímicos) liberados por la descomposición de los tejidos del cultivo de *Brassicas* para suprimir plagas y patógenos (Kumar, 2005) transmitidas por el suelo. La supresión de enfermedades y plagas del suelo debido a los productos tóxicos naturales (principalmente isotiocianatos) se produce después de la incorporación de los tejidos vegetales que contienen glucosinolatos (Gimsing y Kirkegaard, 2009), esto se puede lograr mediante la incorporación de material vegetal fresco (abono verde) (Motisi *et al*, 2009.), semillas trituradas (un subproducto de la trituración de semillas de aceite) (Mazzola *et al*, 2001; Cohen *et al*, 2005), o restos de plantas secas (que preserva la actividad de la mirosinasa) (Lazzeri *et al*, 2004).

E. Eficiencia de la biofumigación

La eficacia de la biofumigación depende de los siguientes factores: 1. la producción de biomasa de la cosecha, 2. el contenido de GSLs total del cultivo, 3. la presencia GSLs tóxicos para el patógeno o patógenos presentes y 4. la eficiencia de la liberación de los ITCs, que se relaciona con el grado de destrucción del tejido durante la incorporación, la disponibilidad de agua, proteínas adicionales y cofactores a los alrededores (Bellostas *et al*, 2004; Gimsing y Kinkegaard, 2009) (Figura 2). Debido a esto, los recientes intentos para mejorar la eficacia de la biofumigación se han centrado en la selección de los cultivos biofumigantes con alto contenido de GSLs y el estudio de estrategias de incorporación eficaces que maximicen la destrucción del tejido y la liberación de los isotiocianatos en el suelo a concentraciones tóxicas para los patógenos del suelo (Ascencion, 2012).



FUENTE: Bellostas *et al.*, 2004; Gimsing y Kinkegaard, 2009

Figura N° 2. Factores que influyen en la eficiencia de la biofumigación

Las técnicas de incorporación usado en investigaciones han representado un máximo de 30 % de la producción potencial total de isotiocianatos medido bajo condiciones de laboratorio, en las cuales la destrucción del tejido a nivel celular es proporcionada por congelación y descongelación optimizando la hidrólisis (Morra y Kirkegaard, 2002). Sin embargo, la eficiencia generalmente es mucho menor en condiciones de campo (Gimsing y Kinkegaard, 2006). En la actualidad, los procesos de deshidratación industrial está siendo utilizado por empresas privadas italianas para producir gránulos secos de los cultivos de *Brassicaceae* seleccionados con alto contenido de glucosinolatos (para utilizarlos como tratamientos orgánicos en adición o alternativa como abono verde biocida) para ampliar la aplicación de los métodos de biofumigación. Una técnica de secado usando bajas temperaturas (45 °C) y el aire forzado se demostró para producir una

pérdida máxima del 40 % al contenido inicial de glucosinolatos y preservar la actividad de la mirosinasa a niveles suficientes, esta técnica ofrece un tejido suficientemente pulverizado, adecuado para aplicaciones de campo incrementando la hidrólisis después de la adición de agua (Lazzeri *et al.*, 2004).

Los hallazgos realizados por Motisi *et al.* (2009) apoyaron la hipótesis que el nivel de desnaturalización del tejido tiene un efecto en la reducción de la incidencia y severidad de la enfermedad después de la incorporación de Brassicaceaeas, sin embargo, se deben considerar otros fenómenos involucrados en la eficiencia de la biofumigación. Gimsing y Kinkegaard (2006) encontraron que dependiendo de la especie incorporada, entre el 7 al 13 % del glucosinolato original incorporado se mantiene en el suelo sin hidrolizarse, lo que contribuye a la baja liberación del isotiocianato en el suelo. Por otra parte, las concentraciones significativas de GSLs en el suelo se pueden detectar sólo a un plazo de 5 a 8 días después de la incorporación, mientras que el ITCs se concentra sobre todo dentro de las 24 horas a 4 días después de la incorporación (Morra y Kinkegaard, 2002; Gimsing y Kinkegaard, 2006). Poulsen *et al.* (2008) informaron que la presencia de la mineralización microbiana juega un papel en la reducción de la biodisponibilidad y la eficacia de la biofumigación por alrededor de 50 % después de 60 días. La mineralización es probable que incorpore GSLs y degrade sus productos en compuestos menos biodisponibles en la matriz del suelo; los diferentes comportamientos de adsorción de diferentes superficies en el suelo han demostrado tener implicaciones en el éxito de la biofumigación mediante la reducción de su eficiencia de alrededor de 10 a 25 % (Gimsing *et al.*, citado por Ascencion, 2012). Por último, la lixiviación asociada a una alta intensidad de lluvias puede conducir a la pérdida de más de 2,2 % del total de ITCs incorporados. (Laegdsmand *et al.*, 2007).

Muchos estudios han demostrado los efectos tóxicos de especies de Brassica sobre varios patógenos del suelo *in vitro*, pero los estudios en campo han generado conclusiones contradictorias sobre la eficacia de la biofumigación, estos resultados son excelentes en la supresión de enfermedades (Lazzeri *et al.*, 2009; Larking y Griffin, 2007) o no tienen ningún control (Jonson *et al.*, 1992; Hartz *et al.*, 2005). En algunos casos las enmiendas de Brassica estimulan a los patógenos, lo que indica que otros factores pueden desempeñar un papel importante en la interacción planta-suelo-enfermedad (Stephens *et al.*, 1999; Njoroge *et al.*, 2008). Motisi *et al.* (2009) discuten que los isotiocianatos están presentes en pequeñas cantidades en la rizosfera, por eso es poco probable que tenga un efecto

perjudicial directo sobre los patógenos transmitidos por el suelo, mientras que la intervención de factores biológicos en el suelo podría mejorar la supresión de la enfermedad a lo largo del tiempo.

F. Interacción de los microorganismos del suelo y la biofumigación en el control de patógenos del suelo

El efecto de la biofumigación sobre los patógenos del suelo está bien establecido, pero los mecanismos relacionados con la presencia de los ITCs en la rizósfera queda por aclarar. Rumberger y Marschner (2004) indicaron que las bajas concentraciones del isotiocianato 2-feniletíl en la rizósfera podría cambiar la estructura de la comunidad bacteriana y eucariota afectando la competitividad de estas especies en la rizósfera, Además se observó un fuerte incremento en la proporción entre la población de hongos y bacterias tras la modificación con *B. juncea*, independientemente de la cantidad de tejido incorporado (Wang *et al.*, 2011). De acuerdo con Gimsing y Kinkegaard (2009), los ITCs son hidrófobos y es probable que se difunda lentamente en la solución del suelo, generando un gradiente de ITCs en la interfase suelo-raíz, estos compuestos serían propensos a modificar el balance ecológico eliminando los organismos más sensibles de la rizósfera (Motisi *et al.*, 2009).

Se ha reportado que la población de microorganismos en suelos incorporados con especies de Brassica varían independientemente de la cantidad total de glucosinolatos incorporados. En general, un aumento de la población total de bacterias, *Pseudomonas fluorescens* y Actinomycetos (Mazzola *et al.*, 2001; Cohen *et al.*, 2005; Cohen y Mazzola, 2006) se observa después de la práctica de la enmienda de suelos con Brassica, En contraste se ha observado diferentes respuestas en los hongos patógenos, tales como *Pythium spp.*, *Phytophthora spp.*, *Sclerotinia spp.*, *Cylindrocarpon spp.*, *Fusarium spp.*, y *Rhizoctonia spp.* (Mazzola *et al.*, 2001; Larking y Griffin, 2007). Los géneros de hongos tales como *Rhizopus spp.*, *Fusarium spp.*, y *Alternaria spp.* se ha encontrado ser dominantes en la rizósfera de Brassicas (Ishimoto *et al.*, 2000), mientras que *Aspergillus spp.*, *Mucor spp.*, y *Fusarium spp.* se encontró que son estimulados en suelos incorporados con *B. juncea* (Rakariyatham y Sakorn, 2002), además las poblaciones de nematodos patógenos como *Pratylenchus penetrans* y *Meloidogyne incognita* también han sido reprimidos por enmiendas del género Brassica (Mazzola *et al.*, 2001; Lazzeri *et al.*, 2009).

La suposición de que los cambios en las comunidades microbianas puede ser la causa principal del control de las enfermedades fue apoyada por el efecto persistente a largo plazo (once meses después de la cosecha de mostaza) observados por Motisi *et al.* (2009). Para concluir, las bajas concentraciones de ITCs tóxicos que permanecen en el suelo no podrían ser responsables de los efectos tóxicos sobre los inóculos de patógenos, sin embargo la alta competencia interespecífica que se producen en la rizosfera y pequeñas ventajas o desventajas entre las poblaciones microbianas se presume que es causada por los ITCs (Rumberger y Marschner, 2004). Por lo tanto, es probable que tenga un profundo efecto en la competitividad de los grupos que se encuentran en la rizosfera y por eso puede participar en una mayor producción de antibióticos o la competencia microbiana con el patógeno (Motisi *et al.*, 2009).

G. Fungistasis del suelo

Este término describe los fenómenos mediante el cual los suelos inhiben la germinación y el crecimiento de hongos fitopatógenos por medio de diferentes mecanismos, tales como la temperatura, humedad y la nutrición favorable para el crecimiento de hongos supresores (De Boer *et al.*, 2003). Recientes investigaciones apoyan que la combinación de actividades microbianas, incluyendo la competencia de nutrientes y la producción de compuestos fungistáticos son los más probables mecanismos de este fenómeno. (Garbeva *et al.*, 2011). El impacto de la actividad microbiana en el suelo está respaldado por numerosas investigaciones que sugieren que la alta población microbiana aumenta la capacidad del suelo para suprimir enfermedades (You y Sivasithamparam, 1995; De Boer *et al.*, 2003), sin embargo, el equilibrio de la población microbiana en el suelo se puede ver afectada por los cambios en las condiciones ambientales (la temperatura y el contenido de humedad en el suelo), tratamientos en el suelo y rotación de cultivos; todo esto afectando su fungistasis (You y Sivasithamparam, 1995).

La acción de los microorganismos del suelo sobre la fungistasis es a través de la captación de nutrientes disponibles o la producción de compuestos de acción fungistática (You y Sivasithamparam, 1995). La población de la comunidad microbiana en el suelo es crítica para el efecto de antibiosis porque no todos los microorganismos producen compuestos antifúngicos y el espectro de acción de los compuestos antifúngicos son diferentes en las diferentes especie; si la limitación de carbono es el principal factor causal de la fungistasis, la actividad microbiana debe ser más importante que la composición

microbiana (De Boer *et al*, 2003; Schlatter y col, 2009). Las pruebas presentadas por De Boer *et al.* (2003), apoyaron la hipótesis de la antibiosis como explicación principal para la fungistasis, con lo cual llegaron a la conclusión de que la composición de la comunidad microbiana fue un factor importante que determina la fungistasis suelo ya que la presencia y actividad de compuestos antifúngicos bacterianos eran esenciales. El estado de nutrición del suelo juega un papel importante mediante la inducción de la producción de compuestos antifúngicos, mientras que la composición de las comunidades microbianas y su interacción son responsables de determinar la calidad y cantidad de estos compuestos antifúngicos, sin embargo, es difícil distinguir entre estos dos mecanismos ya que hay evidencias que enlazan la disponibilidad de nutrientes y la sensibilidad de los propágulos fúngicos a los compuestos de acción fungistática (Garbeva *et al.*, 2011).

Las composiciones en las comunidades microbianas varían después de un tratamiento en el suelo (enmiendas físicas o tratamientos químicos), las comunidades que compiten interespecíficamente por los nutrientes también producen diferentes cantidades y variedades de compuestos antifúngicos (De Boer *et al*, 2003; You & Sivasithamparam, 1995). Por esta razón, la manipulación de fungistasis del suelo ha sido mencionado como una medida potencial para controlar hongos fitopatógenos (Garbeva *et al*, 2011; De Boer *et al*, 2003), sin embargo la fungistasis depende de los organismos presentes en el suelo y las plantas (biostasis del suelo), por ejemplo diferentes bacterias del suelo tienen la capacidad de inhibir el crecimiento de las plantas sin provocar síntomas de la enfermedad y su proliferación y producción de metabolitos fitotóxicos parece estar asociado a ciertas especies de plantas, puesto que las bacterias fitotóxicas siempre están en el suelo entonces es un fenómeno comparable a la fungistasis, pero reduciendo el crecimiento de la planta (Garbeva *et al.*, 2011).

Hasta ahora, la gestión de las comunidades microbianas del suelo se pensaba que solo se debe al uso de enmiendas orgánicas dando resultados variables (Schlatter *et al.*, 2009), aunque los microorganismos del suelo incluyen una gran variedad de microbios los estudios sobre el uso de enmiendas de *Brassica* contra patógenos del suelo se centra principalmente en las bacterias, actinomicetos y hongos, ya que estos promueven o disminuyen el inoculo primario de los diferentes patógenos radiculares. (You & Sivasithamparam, 1995; Cohen *et al*, 2005; Cohen y Mazzola, 2006, Lizazo *et al*, 2010).

4.2.2. SOLARIZACIÓN

A. Introducción

A fines de la década de 1940 cuando la disponibilidad de plaguicidas era mínima, las prácticas de desinfestación del suelo por medio del calor, vapor o agua caliente eran usadas para controlar las plagas del suelo (Newhall, 1955; Baker citado por Abu-Irmaileh, 2004), los cuales consisten en elevar la temperatura del suelo hasta 60 °C durante 30 minutos. En la actualidad, estos son métodos comunes para el control de las plagas del suelo (Brazelton, citado por Abu-Irmaileh, 2004). Siguiendo el mismo principio surge la solarización del suelo, el cual es un término que se refiere a la desinfestación del suelo por medio del calor generado de la energía solar capturada (calentamiento solar del suelo). Es un proceso hidrotérmico; sucede en un suelo húmedo que es cubierto por una película plástica y expuesto a la luz solar durante los meses más cálidos. Abarca un complejo de cambios físicos, químicos y biológicos del suelo y es usado como una alternativa de ciertos productos químicos en la agricultura (Abu-Irmaileh, 2004).

El suelo es solarizado con la finalidad de aumentar el crecimiento de las plantas, limitar la evaporación de agua, controlar las malezas, mejorar la estructura del suelo y combatir la erosión (Abu-Irmaileh, 2004).

Esta actividad se remonta a tiempos lejanos. Grooshevoy, citado por Abu-Irmaileh, 2004, realizó ensayos con la solarización del suelo en el Cáucaso en 1938; obtuvo un control efectivo de organismos patogénicos del suelo capturando energía solar bajo parcelas frías sujetas a la luz solar directa antes de la siembra por períodos suficientes para elevar hasta 40 a 60 °C en la capa superior del suelo (10 cm), así se pudo controlar la pudrición negra de las raíces de las plántulas de tabaco causada por *Thielaviopsis basicola*.

Cuando se comenzaron a usar las coberturas de plástico el polietileno fue considerado ideal para el calentamiento solar por el motivo que es básicamente transparente a la radiación solar (280 a 500 nm) extendiéndose hasta el extremo infrarrojo, pero menos transparente a la radiación terrestre (5 000 a 35 000 nm) reduciendo el escape de calor del suelo. El polietileno es un derivado petroquímico y su costo está directamente relacionado con su espesor (Abu-Irmaileh, 2004).

B. Conversión de la radiación solar en calor

Durante la solarización del suelo la radiación solar recibida penetra a través de la película plástica y es absorbida por el suelo, la mayor parte de la radiación absorbida es convertida en calor. Dado que todos los objetos por encima del cero absoluto emiten calor, la cantidad como la calidad de la energía radiante emitida por el suelo dependen de la temperatura del mismo (Abu-Irmaileh, 2004). De acuerdo a la ley de Stephan, la cantidad de radiación emitida está en función de la cuarta potencia de la temperatura absoluta: $Q = edT^4$, donde:

Q = cantidad de energía radiada en calorías

d = constante de Stefan-Boltzman ($8,132 \times 10^{-11}$ cal/cm²/min.gr K⁴)

T = temperatura absoluta en grados Kelvin

La longitud de onda de la radiación emitida por cualquier objeto también está influenciada por la temperatura. De acuerdo a la ley de Wein, la longitud de onda de la radiación emitida es inversamente proporcional a la temperatura del objeto (es decir $1/T$) (Abu-Irmaileh, 2004). Por lo tanto, la radiación solar es emitida a longitudes de onda más cortas comparadas con las emitidas por la tierra (99 % de la radiación solar está comprendida entre 150 - 4000 nm), mientras que la radiación terrestre es emitida a cerca de 10 000 nm (99 % de la radiación del suelo es emitida entre 400 - 100 000 nm, IR larga) (Salisbury y Ross, 1980). Por esto, la radiación solar puede fácilmente penetrar la cobertura de plástico pero la radiación emitida por el suelo (normalmente a una longitud de onda más larga) no puede pasar a través de esa cobertura, por este motivo la mayor parte de esa radiación será retenida debajo de la cobertura plástica. Durante este proceso la temperatura del suelo podría elevarse a niveles letales para muchos de los organismos del suelo, incluyendo patógenos de las plantas y malezas (Abu-Irmaileh, 2004).

C. Acción selectiva contra los organismos del suelo

La eficiencia de la solarización del suelo para controlar las plagas del suelo está en función de las relaciones entre el tiempo y la temperatura, esto se basa en el hecho de que muchos patógenos de las plantas, las malezas y otras plagas, son mesófilos. En el caso de estos organismos mesófilos un umbral de temperatura de 37 °C es crítico; la acumulación de calor a esta temperatura o más altas durante un cierto tiempo es letal. Al aumentar la

temperatura se requiere menos tiempo para alcanzar una combinación letal de tiempo y temperatura, por ejemplo a 37 °C, la temperatura letal de exposición (LD90 para muchos hongos mesófilos) puede requerir de dos a cuatro semanas, mientras que a 47 °C entre uno y seis horas de exposición resultarán en un LD90 (De Vay, 1990).

Las temperaturas que comúnmente se alcanzan con la solarización del suelo oscilan entre 35 a 60 °C, dependiendo de la profundidad del mismo; por ejemplo, llegan a más de 45 °C en la capa no mayor a 15 cm superiores (Stapleton, 1990). Muchos patógenos del suelo son bien controlados con cuatro a ocho semanas de solarización en la capa de 10 -30 cm (zona radicular) (Abu-Irmaileh, 2004).

Las temperaturas que se obtienen con la solarización del suelo son consideradas moderadas comparadas con las del tratamiento del suelo con vapor (Abu-Irmaileh, 2004), por esto motivo la solarización del suelo es más selectiva en lo que respecta a las propiedades termofílicas y termotolerantes de los microorganismos, por lo tanto, los actinomicetos pueden sobrevivir e incluso prosperar bajo la solarización del suelo (Gamliel *et al.*, 1989; Stapleton, citados por Abu-Irmaileh, 2004). Los efectos letales de la solarización del suelo son más acentuados en los microorganismos que no son buenos competidores del suelo; muchos patógenos están incluidos en este grupo desde el momento que tienden a tener requerimientos fisiológicos especiales tales como una mayor adaptación a la coexistencia con las plantas hospedantes (Stapleton y De Vay, citado por Abu-Irmaileh, 2004) y esto da lugar a cambios en la población favoreciendo especies termotolerantes como *Bacillus spp.*, *Pseudomonas fluorescentes* y hongos termotolerantes (Gamliel *et al.*, 1989; Stapleton, citados por Abu-Irmaileh, 2004) que pueden suprimir patógenos permitiendo la recolonización (después de una posible declinación inicial de su población) por parte de microorganismos que son más competitivos y a menudo antagonistas de los patógenos de las plantas. Los hongos antagonistas, tales como *Trichoderma harzianum* colonizan agresivamente suelos solarizados (Katan, 1981). La mayor parte de los microorganismos tolerantes a la solarización son conocidos como agentes de control biológico o estimulantes del crecimiento de las plantas (Baker y Cook, 1974, citados por Abu-Irmaileh, 2004).

D. Modo de acción

Si bien la solarización del suelo es aparentemente un método muy simple, su modo de acción es complejo y puede ser descrito por sus efectos físicos, químicos y biológicos (Abu-Irmaileh, 2004).

Los organismos del suelo son destruidos directa o indirectamente por las temperaturas a las que se llega durante el calentamiento solar del suelo húmedo bajo películas de polietileno que limitan el escape de gases y vapor de agua del suelo. La sensibilidad de algunos organismos a las altas temperaturas está relacionada con pequeñas diferencias en macromoléculas que llevan a un incremento de los enlaces intramoleculares con pequeños cambios en los enlaces-H, los enlaces iónicos y los enlaces de disulfuros (Abu-Irmaileh, 2004). Los lípidos insaturados (que tienen un punto de fusión más bajo) en las membranas de los organismos mesofílicos hacen que sean más sensibles a las altas temperaturas durante la solarización del suelo que las especies termotolerantes; la sensibilidad de los organismos al calor está relacionada con un límite superior de la fluidez de las membranas, más allá del cual su función se reduce (Sundarum, citado por Abu-Irmaileh, 2004). Se ha encontrado que la curva termal letal para los hongos patógenos es de tipo logarítmico (Pullman *et al.*, citados por Abu-Irmaileh, 2004). Los organismos termotolerantes y termofílicos del suelo por lo general sobreviven al proceso de solarización del suelo (Brock, 1978; Stapleton y De Vay, 1984, citados por Abu-Irmaileh, 2004).

La declinación térmica de los organismos del suelo durante el proceso de solarización depende de la humedad, temperatura del suelo y del tiempo de exposición, los cuales están inversamente relacionados. La humedad del suelo es una variable crítica en todo el proceso de solarización del suelo, la humedad hace que los organismos sean más sensibles al calor; además la transferencia de calor a las semillas de las malezas es incrementada por la humedad. Dado que la solarización es un proceso hidrotérmico y su éxito depende de la humedad disponible para una mayor transferencia de calor, el calor máximo que alcanzan los suelos se incrementa con el aumento de la humedad de los mismos (Mahrer, 1979). Las actividades celulares de las semillas y el crecimiento de los microorganismos del suelo son favorecidos por la humedad del suelo haciéndolos más vulnerables a los efectos letales de las altas temperaturas del suelo asociadas a la solarización del mismo.

La interacción entre las temperaturas y la humedad del suelo promueve el ciclo del agua en el suelo durante la solarización, las capas superiores del suelo (5 cm superiores) tienen una marcada fluctuación diurna de la temperatura, enfriándose durante la noche y calentándose a altas temperaturas durante las horas de sol. Esta fluctuación diurna causa que la humedad en las capas superiores del suelo descienda durante el día como resultado de la radiación solar, mientras que de noche baja la temperatura de las capas superiores causando un movimiento ascendente de la humedad (Abu-Irmaileh, 2004). A medida que la solarización del suelo se profundiza, el movimiento de la humedad es más pronunciado cambiando la distribución de las sales y mejorando la estructura del suelo, se ha informado una reducción de la salinidad del suelo como resultado de la solarización (Abdel-Rahim *et al.*, citado por Abu-Irmaileh, 2004). Para maximizar este efecto en el suelo el riego al inicio de la solarización debería alcanzar una profundidad de 60 a 75 cm, además la eficiencia de la solarización también está influenciada por el tipo de suelo, el color del suelo, la estructura, el contenido de materia orgánica, el espesor del suelo, la transmisión de la luz del material de cobertura, temperatura del aire, el largo del día, la intensidad de la luz solar, la extensión del calentamiento, la sensibilidad de los patógenos al calor, la historia de cultivos y otros componentes de la ecología del suelo (Katan, 1987).

El calor generado en el suelo por la radiación solar y la consecuente muerte de las plagas abarcan los principios fundamentales de la solarización del suelo, sin embargo, el incremento de nutrientes de las plantas y el aumento relativo de las poblaciones bacterianas en la rizósfera tales como *Bacillus spp.* (Stapleton y De Vay, citado por Abu-Irmaileh, 2004) que contribuyen al marcado aumento en el crecimiento, el desarrollo y el rendimiento de las plantas en suelos solarizados son componentes importantes de la solarización del suelo (Katan, 1987).

La mayor disponibilidad de nutrientes minerales que hay después de la solarización del suelo está mayormente relacionada con la fracción orgánica tales como $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, P, Ca y Mg, como resultado de la muerte de la microbiota (Stapleton *et al.*, 1990 y Abu-Irmaileh, 2004). Los elementos P, K, Ca, y Mg extraíbles han sido encontrados en mayores cantidades después de la solarización del suelo (Stapleton *et al.*, 1985). La liberación de compuestos del N (vapor o líquido) es un componente del modo de acción ya que una mayor concentración de N reducido se nitrificará después de la solarización del suelo para proporcionar NO_3 para un mayor crecimiento de las plantas (Stapleton *et al.*, 1990).

La concentración de cada elemento está en función del pH del suelo y de los microorganismos nitrificantes. Las altas temperaturas que alcanzan los suelos ricos en materia orgánica pueden matar buena parte de la microbiota, incluyendo los organismos nitrificantes y favoreciendo la acumulación de $\text{NH}_4\text{-N}$. Por otro lado, las bajas temperaturas del suelo en los suelos con bajo contenido de materia orgánica permitirán la sobrevivencia de la biota del suelo y promoverán condiciones aeróbicas con una mínima liberación de compuestos nitrogenados dando lugar a la nitrificación y pérdida de N del suelo, ya que el NO_3 es fácilmente lixiviado (Hasson *et al.*, citado por Abu-Irmaileh, 2004).

La marchitez de varios cultivos causada por *Verticillium* y *Fusarium* así como otras enfermedades de las plantas ha sido exitosamente controlada por medio de la solarización del suelo, sin embargo, el éxito ha sido pobre en el control de otros patógenos como especies de *Pythium*, *Fusarium*, *Sclerotium rolfsii* y algunos patógenos tolerantes al calor (Stapleton y De Vay, 1986). La solarización del suelo posterior a la plantación controló la marchitez del pistacho causada por *Verticillium sp.* (Ashwoth y Gaona, 1982).

E. Técnicas de la solarización del suelo

La solarización del suelo se lleva a cabo por lo general en los períodos más cálidos del año, el proceso incluye una adecuada preparación del suelo para el cultivo normal, o sea que el suelo debería ser regado y labrado siempre que su estructura lo permita. Los terrones grandes deben ser rotos y las piedras, malezas, restos vegetales y cualquier objeto que pueda romper la película de cobertura deben ser removidos del terreno. La superficie del suelo deberá ser entonces afinada y muy bien nivelada antes de cubrirla con la cobertura. Las películas de plástico se colocan a mano o a máquina con los bordes firmemente enterrados alrededor del área tratada (Barakat, 1987). El plástico se coloca cubriendo en forma total o en fajas donde estarán en el futuro los surcos, si se utiliza maquinaria pesada para colocar el plástico el suelo debe estar seco a fin de evitar su compactación, el riego adicional puede ser necesario cada dos o tres semanas a fin de mantener el suelo húmedo durante el período de solarización (en muchos lugares se recomienda un período de seis semanas). El riego después de la colocación de la película puede ser hecho mediante líneas de riego por goteo o por surcos, instalados o hechos antes de colocar el plástico. Las películas de plástico pueden ser removidas antes de la siembra o el plástico puede permanecer en el suelo como cobertura para el siguiente cultivo

sembrando o trasplantando a través de los huecos perforados en el plástico. En este caso se utiliza la solarización con plástico negro (Elmore *et. al.*, 1997).

Comparado con el polietileno claro (CPE), el polietileno negro (BPE) absorbe la radiación solar y así reduce el calentamiento del suelo en varios grados. El promedio máximo de las temperaturas en todo el período de la solarización a 10 cm de profundidad es de 46,2 °C y de 45,7 °C bajo una película de 0,06 mm de CPE y BPE, respectivamente, y de 41,8 °C en un suelo sin cobertura (Barakat, 1987). Las películas más finas fueron más efectivas para calentar el suelo y más eficientes del punto de vista económico (Stapleton y De Vay, 1986). En suelos cubiertos con polietileno claro la temperatura más alta a 10 cm de profundidad fue de 52,4 °C bajo una película de CPE de 0,04 mm de espesor y de 47,9 °C bajo una película de 0,08 mm de CPE durante el período 12 agosto-16 octubre 1986 en el valle del Jordán (Abu-Irmaileh, 2004), sin embargo la cobertura de polietileno negro es más estable y durable en condiciones de campo (De Vay, 1990). La cobertura de los suelos con polietileno negro redujo la población de muchos patógenos del suelo tales como la marchitez del tomate y el enanismo de los frijoles causados por *Sclerotium rolfsii* (Reynolds, citado por Abu-Irmaileh, 2004), el moho de la cabeza de la lechuga causada por *Sclerotinia minor* (Hawthorn, 1975) y la pudrición de la lechuga causada por *Rhizoctonia solani* y por bacterias (Hillborn *et al.*, citado por Abu-Irmaileh, 2004). El complejo de cambios que ocurren en el suelo solarizado puede persistir por al menos dos años (Pullman *et al.*, 1981, citado por Abu-Irmaileh, 2004).

F. Uso de una doble capa de plástico

La solarización usando dos capas de polietileno se usa para acumular mayor cantidad de calor que si se emplea una sola capa de plástico, por consecuencia proporciona gran cantidad de mortalidad de patógenos (Ben-Yephet *et. al.*, 1987 citado por Stapleton *et. al.*, 2002). Este tipo de solarización tiende a ser usado con pequeños volúmenes de suelo como el sustrato para macetas o invernadero (Kaewruang *et. al.* 1989; Stapleton, citado por Stapleton *et. al.*, 2002). El uso de una doble capa requiere tiempo de preparación y gastos adicionales, pero esto puede hacer que la solarización del suelo más factible en zonas con climas más fríos. (Elmore *et. al.*, 1997).

Este tipo de solarización acumula mayor cantidad de calor porque imita el efecto invernadero con lo cual se reduce la transmisión a la radiación solar entre un 10 y un 30 % (Elmore *et. al.*, 1997). Según Nisen, citado por Martínez *et. al.* (1986) esta reducción

se debe sobre todo al aumento de la reflexión de la doble pared. En climas cálidos se realizó un ensayo empleando dos láminas de plástico y se demostró su gran eficacia para elevar las temperaturas del suelo disminuyendo el tiempo de exposición, esta forma de solarización puede proveer temperaturas que pueden llegar hasta 70 °C, lo cual ya se denomina una pasteurización del suelo (CDFA, citado por Stapleton *et. al.*, 2002).

Diversos experimentos comprobaron que se obtiene mejores resultados empleando una doble capa de plástico de polietileno que solo una para el control de malezas (Stapleton *et. al.*, 2002), hongos (Ripanti *et. al.* 2009) y se obtiene mayor altura de plantas (Díaz, 2007)

En general, bajo diferentes condiciones climáticas se obtiene una diferencia de 5 a 6 °C con respecto a la solarización con solo un plástico. Según Martínez *et. al.*, (1986) tras un período de solarización de 4 semanas con doble cubierta se consigue tiempos de exposición de 84 horas a 50 °C a 10 cm de profundidad, letales para *Sclerotium rolfsii*, *S. cepivorum* y *S. minor*. Porter y Merriman, citado por Martínez *et. al.* (1986) obtuvieron en su experimento una temperatura de 50 °C por 4 a 6 horas en 1 o 2 días de solarización, lo que supone niveles letales para *Verticillium Dahliae*, *Rhizoctonia solani*, *Pythium ultimum* y *Thielaviopsis basicola*. Aproximadamente hasta los 20 cm. de profundidad se consiguen temperaturas de 42 °C con tiempos de exposición de 42 a 46 horas en 3 a 6 días de solarización, letales para innumerables hongos. Por otra parte, temperatura mayores de 41 °C a 32 cm. de profundidad se obtienen durante 571 horas y a más de 39 °C a 64 cm de profundidad durante 599 horas durante una solarización de 45 días, estas condiciones son letales para hongos como *V. dahliae*, *R. solani* y *Pythium spp.* (Cebolla *et. al.*, citado por Martínez *et. al.*, 1986). En el control de *Dytlenchus dipsaci* y *Sclerotium cepivorum* en el cultivo de cebolla se obtuvo un mayor control con doble plástico que solo con un plástico, el tratamiento con doble plástico mostró una diferencia de 6 °C con respecto al tratamiento con solo un plástico (Vares *et. al.*, 2010).

G. Solarización y biofumigación

La solarización del suelo también incluye cambios en los compuestos volátiles del suelo (Stapleton y De Vay, 1986), diferentes tipos de materia orgánica, tales como el abono animal y los residuos de los cultivos, podrían ser combinados con la solarización del suelo para incrementar la temperatura del suelo por medio del calor generado por la descomposición de esos materiales e incrementar la capacidad del suelo de mantener calor

(Stapleton *et al.*, 1985). Durante el proceso de solarización cuando se calienta la materia orgánica se liberan compuestos volátiles biotóxicos, estos aumentan la actividad biocida.

En el caso de la descomposición de residuos de col las tres primeras semanas de la solarización del suelo es el tiempo donde liberan gran cantidad de compuesto volátiles (Stapleton *et al.*, 1997). Otro caso fue la aplicación de fertilizantes orgánicos e inorgánicos basados en NH_4 con una solarización del suelo en el cual se obtuvo un control a poblaciones de *Pythium ultimum* y *Meloidogyne incognita*, esta combinación de fertilizantes con solarización al suelo reduce la población de *Verticillium dahliae*. El compost de gallinaza a razón de 5.38 t/Ha eliminó la población de *Pythium sp.* cuando fue combinado con calor (42 °C) (Stapleton *et al.*, 1990).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. UBICACIÓN DEL CAMPO EXPERIMENTAL

El presente trabajo de investigación se realizó en dos etapas:

1. La etapa de campo se llevó a cabo en el campo “Holle” del Programa de Investigación y Proyección Social en Hortalizas (PIPS en Hortalizas) de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), la cual tiene las siguientes coordenadas:

Latitud Sur	:	12°05'06''
Longitud Oeste	:	76° 57'00''
Altitud	:	236 m.s.n.m.

Este campo tiene un área aproximada de 3000 m², de los cuales se usó 768 m² para este experimento, este campo se maneja de forma ecológica al igual que todos los del programa de hortalizas el cual se encuentra en proceso de conversión a un campo orgánico certificado.

La fase de campo se realizó desde Junio del 2011 hasta Febrero del 2012

2. La fase de laboratorio se llevó a cabo en el Laboratorio de Cultivos de Tejidos de Fitopatología del Departamento de Fitopatología de la Facultad de Agronomía de la UNALM la cual se realizó desde Febrero hasta Abril del 2012.

5.2. EVALUACION DEL EFECTO DE LA BIODESINFECCION DEL SUELO EN EL CULTIVO DE ALBAHACA

3.2.1 TRATAMIENTOS EMPLEADOS

Para evaluar el efecto de la incorporación de residuos de brócoli, incorporación de estiércol de equino, la solarización y la interacción entre ellos se realizaron los tratamientos especificados en el Cuadro 7.

Cuadro N° 7. Tratamientos empleados en la evaluación del efecto de la biodesinfección en la incidencia de enfermedades fungosas de suelo

Tratamientos	Factores
T1	Incorporación de residuos de brócoli + incorporación de estiércol + solarización
T2	Incorporación de residuos de brócoli + incorporación de estiércol
T3	Incorporación de residuos de brócoli + solarización
T4	Incorporación de residuos de brócoli
T5	Incorporación de estiércol + solarización
T6	Incorporación de estiércol
T7	Solarización
T8	Suelo descubierto

La instalación de cada uno de los tratamientos en el campo experimental se realizó de la siguiente manera:

1. Se realizó un riego de enseo a todo el campo, después se efectuó un desmalezado manual y mecánico. Al cabo de unos días se procedió a surcar el terreno con un tractor con un distanciamiento entre surcos de ochenta centímetros como se observa en la Figura 3.



Figura N° 3. Campo experimental surcado a un distanciamiento de 80 cm.

2. Después, el campo que posee un tamaño 768 de metros cuadrados se dividió en seis parcelas de 128 metros cuadrados cada una, con 8 metros de ancho y 16 metros de largo como se aprecia en la Figura 4.



Figura N° 4. Delineación y división del campo experimental

3. Luego se sembraron los cultivos previos en las seis parcelas; en la mitad de cada una de ellas se sembró el cultivo de brócoli y en la otra mitad se sembró el cultivo de lechuga. En el caso del brócoli se utilizó el cultivar Pirata el cual fue instalado mediante trasplante de plantines y en el caso de la lechuga se emplearon cuatro variedades, las cuales se instalaron mediante siembra directa, poniendo tres semillas por golpe. Ocho días después de la emergencia de las plántulas de lechuga se desahijó dejando solo una planta por cada golpe. Ambos cultivos se sembraron a un distanciamiento de treinta centímetros entre plantas.

4. Una vez completado el ciclo fenológico de los cultivos previos de brócoli y lechuga se procedió a la cosecha, extrayendo solo las inflorescencias para el caso del brócoli y para el caso de la lechuga se extrajo toda la planta incluyendo las raíces.

5. En la mitad de las parcelas donde se había cosechado brócoli se incorporaron todos los residuos de este cultivo: hojas, tallos y raíces, esta incorporación fue de un aproximado de 2.9 t/Ha. y se realizó mediante un arado de discos. Para estimar la biomasa incorporada del brócoli se tomó los datos obtenido por Quiche (2012), quien realizó un experimento

con la misma especie y obtuvo un peso seco promedio de 47.6 gramos para hojas y 18.57 gramos para el caso de tallos. En la otra mitad donde se cosechó lechuga no quedaron residuos que incorporar.

6. Después de la incorporación de los residuos del cultivo de brócoli mencionada anteriormente, a la mitad de esta zona de la parcela se le incorporó estiércol de equino. La otra mitad de la parcela que no tuvo incorporación de residuos del cultivo previo, también se dividió en dos y a la mitad se le incorporó el estiércol de equino (Figura 5 y 6), la cantidad de estiércol de equino incorporado fue a razón de 4 Kg/m².



Figura N° 5. Incorporación de estiércol a las parcelas correspondientes



Figura N° 6. Incorporación mecanizada de los residuos de brócoli y del estiércol a las parcelas correspondientes

7. Posteriormente se cubrieron con mantas de plástico transparente de polietileno cuatro sectores de cada una de las parcelas (Figura 7), las cuales fueron:

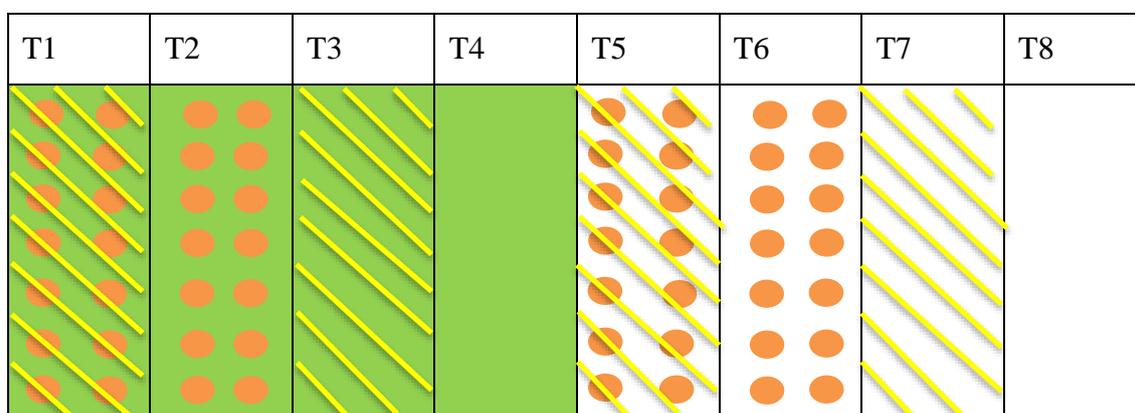
- a) La mitad de la zona de la parcela con incorporación de residuos de brócoli y de estiércol de equino.
- b) La mitad de la zona de la parcela con solo incorporación de residuos de brócoli.
- c) La mitad de la zona de la parcela con solo incorporación de estiércol, y
- d) La mitad de la zona de la parcela donde no se incorporó ni residuos de brócoli ni estiércol.

Se utilizó mantas de plástico transparente de polietileno de 40 micras de espesor, según lo recomienda Abu-Irmaileh (2004).



Figura N° 7. Cobertura del suelo con mantas de plástico de polietileno

Para mejor visualización de los tratamientos arriba descritos, el diagrama de los mismos en una parcela se puede apreciar en la Figura 8 y el diagrama de todo el campo experimental se muestra en la Figura 9.



 Con incorporación de residuos de Brócoli
  Con incorporación de estiércol
 Con manta de plástico

Figura N° 8. Croquis de los tratamientos instalados en una parcela en el campo experimental.

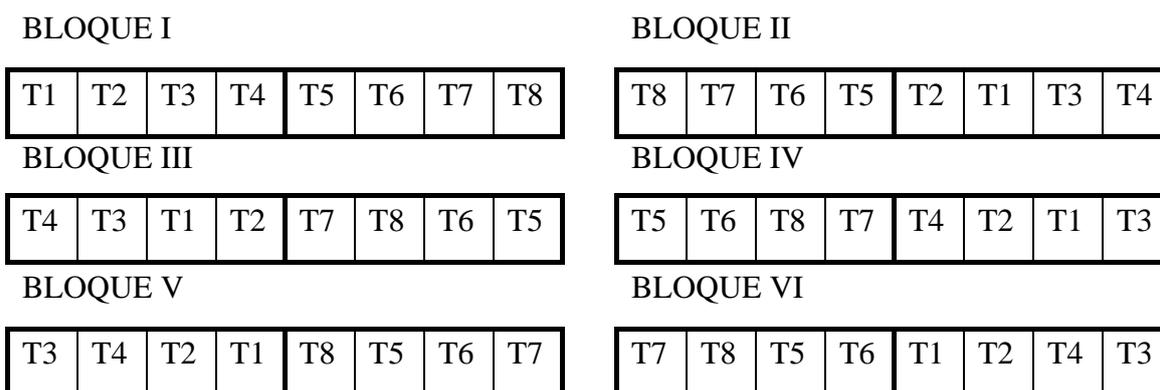


Figura N° 9. Croquis de las seis parcelas experimentales instaladas en el campo Holle

5.3. MODELO ESTADÍSTICO

El diseño estadístico correspondiente para el trabajo de investigación fue el de Parcelas Subdivididas con seis bloques. La parcela o factor principal es la incorporación de residuos de brócoli, el factor correspondiente a la subparcela es la incorporación del estiércol de equino y la sub-sub parcela lo constituye las zonas cubiertas con las mantas de plástico.

El análisis estadístico para este experimento fue llevado a cabo mediante un análisis de varianza (ANVA) y una prueba de Tukey con nivel de significancia del 5 %. Para la realización de este análisis estadístico del ensayo se utilizó el software estadístico SAS (Statistical Analysis System).

5.4. EXPOSICIÓN DE LAS PARCELAS A LA RADIACIÓN SOLAR

Una vez instalados todos los tratamientos como se explicaron en el punto 3.2.1, todo el campo se dejó en descanso durante 40 días para obtener la exposición a la radiación solar correspondiente a ese periodo de tiempo.

Cada día se tomó medidas de la temperatura del suelo de cada uno de los tratamientos de las 6 parcelas, entre las doce del mediodía y la una de la tarde.

Transcurrido los 40 días se procedió a retirar las mantas plásticas de las parcelas para proceder a la siembra del cultivo de albahaca, variedad Sel Ligure, el cual fue el cultivo principal para evaluar el efecto de los tratamientos en la incidencia de enfermedades fungosas ocasionadas por patógenos de suelo.

5.5. INSTALACION DEL CULTIVO DE LA ALBAHACA

A. Preparación del terreno

Se realizó un riego de enseo a todo el campo experimental y se esperó 5 días para que la humedad del suelo bajara hasta el nivel de trabajo del tractor. Se procedió a surcar el terreno con una surcadora tirada por el tractor realizando surcos de ochenta centímetros de distancia entre ellos.

B. Siembra

Antes de la siembra se realizó una prueba de germinación a las semillas. Para esto se colocaron 50 semillas sobre cortes circulares de papel toalla humedecido con agua destilada las cuales se ubicaron dentro de una placa de Petri. Se realizó tres repeticiones y estas fueron colocadas en una estufa a 24 a 26 °C por siete días, las cuales se pueden observar en el Anexo 2.

Después de la prueba de germinación se procedió a realizar la siembra directa de este cultivo. La siembra se realizó a un distanciamiento de veinte centímetros entre golpes, con un promedio de 4 semillas por golpe (Figura 10), después de veinte días de la siembra se procedió al desahije y se dejó una a dos plantas por golpe y las restantes se trasladaron en los lugares donde hubo fallas con la germinación o emergencia. Este trasplante se realizó dentro de cada tratamiento.



Figura N° 10. Germinación de las semillas de albahaca

C. Riego

Se empleó un riego por gravedad el cual fue realizado cada ocho a quince días tomando en cuenta el nivel de humedad del suelo, los cuales dependen de las condiciones de temperatura, de la etapa fenológica del cultivo y de la disponibilidad del agua de riego, lo cual se puede apreciar en la Figura 11.



Figura N° 11. Plantas de albahaca regadas a los 28 días después de la siembra

D. Manejo de plagas

En todo el ciclo fenológico del cultivo solo se observó la presencia del gusano ejército (*Spodoptera eridania*), el que fue controlado con cebos tóxicos y manualmente.

Es de vital importancia mencionar que el fuerte aroma de la albahaca sirve como repelente de las plagas por eso es en un cultivo con baja incidencia de plagas. Siura, *et al.* (2011), mencionan que las plantas aromáticas pueden ser utilizadas como repelentes líquidos para ahuyentar a las plagas, entre las plantas más útiles se mencionan romero, albahaca, muña, manzanilla y huacatay.

E. Manejo de malezas

A los quince días de sembrado el cultivo se realizó el control mecánico de malezas raspando ligeramente el suelo entre plantas y surcos con una escarda, esta labor fue realizada quincenalmente durante todo el ciclo fenológico del cultivo.

F. Cosecha

La primera cosecha se realizó 45 días después de la siembra cuando las plantas alcanzaron una altura entre 25 a 30 centímetros de la superficie del suelo, luego se realizó una cosecha cada 7 a 15 días durante un periodo de tres meses alcanzando un total de ocho cosechas.

5.6. EVALUACIONES REALIZADAS

5.6.1. ANÁLISIS DE CARACTERIZACIÓN DEL SUELO

Se realizó un análisis de caracterización de suelo en dos etapas diferentes del experimento, el primer análisis se realizó a los cinco días después de la cosecha del cultivo de brócoli y el segundo análisis fue después de la etapa de descanso del campo experimental antes de la siembra del cultivo de albahaca.

En el primer análisis se extrajo dos muestras de suelos, una de ellas fue del campo donde se sembró el cultivo de brócoli y la otra fue del campo donde se sembró el cultivo de lechuga. Para el segundo análisis se extrajo ocho tipos de muestras de suelo, estas fueron de cada uno de los tratamientos instalados previamente.

Se realizó dos análisis de suelo con el objetivo de observar algún tipo de modificación en las propiedades físico químicas del suelo después de la incorporación de las diferentes enmiendas orgánicas empleadas en los tratamientos.

5.6.2. EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES

Las condiciones medioambientales durante el desarrollo del ensayo fueron proporcionados por la estación meteorológica Alexander Von Humboldt, el cual está dentro del campus de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

5.6.3. EVALUACIÓN DE LA TEMPERATURA DEL SUELO DE CADA TRATAMIENTO

La temperatura del suelo en cada tratamiento se evaluó manualmente por medio de un termómetro de suelo convencional a 15 centímetros de profundidad de la superficie del suelo, esta se realizó diariamente entre las doce del mediodía y la una de la tarde durante todo el período que el campo estuvo en descanso.

5.6.4. EVALUACIÓN DE INCIDENCIA DE ENFERMEDADES CAUSADAS POR PATÓGENOS DEL SUELO

Después de siete días de la siembra del cultivo de albahaca se realizó la inspección de todas las plantas de los tratamientos en todas las parcelas en la búsqueda de plántulas con síntomas secundarios característicos de enfermedades radiculares, tales como marchitamiento, amarillamiento, pudrición de cuello y muerte de plantas. Las evaluaciones se repitieron cada cuatro días y se realizaron un total de cinco.

En el caso de las plantas que se encontraban muertas en el campo, se realizó una evaluación del sistema radicular para comprobar que esta muerte fue causada por algún patógeno del suelo. Todas las plantas muertas encontradas y las que mostraron algún síntoma secundario característico de enfermedades radiculares fueron llevadas al laboratorio de Fitopatología para el aislamiento e identificación del patógeno.

5.6.5. AISLAMIENTO E IDENTIFICACIÓN DE PATÓGENOS DE LAS PLANTAS DE ALBAHACA MUESTREADAS

Las plantas tomadas del campo fueron procesadas en el laboratorio de Fitopatología para el aislamiento de los posibles patógenos causantes de las pudriciones de cuello y/o raíces; procediéndose de la manera siguiente:

1. Se procedió a lavar todas las muestras con agua de caño, después se cortaron las muestras en los lugares de la planta donde aparentemente se encontraba el patógeno, que es la zona comprendida entre el tejido sano y el podrido, como se puede apreciar en la Figura 12.



Figura N° 12. Plantas de albahaca con síntomas de pudrición de cuello y/o raíces

2. Las porciones de tejido extraídas de las muestras se lavaron varias veces con agua destilada, y finalmente se sumergieron en hipoclorito de sodio al 0.5 % por tres minutos para eliminar los diferentes microorganismos presente en la superficie de los tejidos. Al finalizar este tiempo, las muestras fueron secadas depositándolas sobre papel toalla estéril.

3. Las porciones de tejidos desinfectadas y secas fueron sembradas en placas Petri con medio Papa Dextrosa Agar (PDA). En cada placa Petri se colocaron cinco porciones de una misma muestra y fueron colocados en una incubadora a 24 °C durante tres días, como se puede apreciar en la Figura 13.



Figura N° 13. Siembra en medio Papa Dextrosa Agar (PDA) de las porciones de tejidos desinfectados y secos de las muestras de raíces y cuello de plantas de albahaca

4. Transcurrido este tiempo se observaron cada una de las placas y las colonias obtenidas fueron transferidas a nuevas placas de Petri con PDA para su purificación, esta labor se realizó usando un sacabocado cortando discos de cinco milímetros de diámetro. Por cada colonia purificada se sembraron cuatro placas por muestras y fueron guardadas en una incubadora a 24 °C durante una semana.

5. Transcurrido los siete días se procedió a realizar una visualización de cada colonia en un microscopio estereoscópico, en este se pudo observar las diferentes estructuras de propagación de los hongos encontrados en las muestras, y se procedió a realizar los montajes correspondientes para su posterior observación al microscopio compuesto.

6. Las estructuras de los hongos preparados de las colonias fueron observadas y clasificadas a nivel de géneros taxonómicos mediante la clave de identificación de Barnett y Hunter (1978). Para la especiación de los *Fusarium spp.* y *Rhizoctonia spp.* encontrados se utilizaron las Claves de Snyder & Hansen (1976) y de Sneh *et. al.* (1992) respectivamente (Figura 14).



Figura N° 14. Identificación de las diferentes especies de patógenos de suelo encontrados en el cultivo de albahaca

Con los datos de incidencia obtenidos en el laboratorio de los patógenos radiculares que se encontraron afectando a las plantas de albahaca se procedió a obtener el área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) mediante la fórmula de integración trapezoidal (Anexo 6 – 12). Este parámetro incorpora el avance de la enfermedad y la incidencia en un solo valor, y se ha demostrado que es particularmente adecuado para poder detectar diferencias entre tratamientos con un intervalo de tiempo (Campbell, 1990).

$$ABCPE = \sum_i^{n-1} \frac{y_i + y_{i+1}}{2} (t_{i+1} - t_i)$$

Donde:

Y_i : Porcentaje del número de plantas muertas a causa de algún patógeno radicular el día i .

Y_{i+1} : Porcentaje del número de plantas muertas a causa de algún patógeno radicular el día $i + 1$.

$T_{i+1} - T_i$: Número de días transcurridos desde la primera evaluación.

N : Número total de evaluaciones.

i: Día de evaluación.

Los datos que se sometieron a un análisis de variancia fueron los del área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) para los patógenos radiculares.

5.6.6. EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE ALBAHACA

La cosecha de la albahaca empezó a partir de los 40 días de sembrados y para esta labor se cortaron las partes apicales de las plantas. La cosecha se realizó semanalmente de los nuevos brotamientos y en total se realizaron ocho cosechas en cada uno de los tratamientos, como se aprecia en la Figura 15.



Figura N° 15. Cosecha del cultivo de albahaca

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. ANÁLISIS DE SUELO

Los resultados de los dos primeros análisis de suelo se presentan en el Cuadro 8 donde se puede apreciar que no se observan diferencias en las propiedades físico químicas entre las dos muestras de suelo, la del suelo con incorporación de residuos de brócoli y sin incorporación, excepto en la cantidad de potasio disponible. En términos generales los dos suelos tienen un pH ligeramente alcalino, con una clase textural Franco Arcilloso, un nivel de salinidad medio, un nivel medio de materia orgánica, un nivel alto de fósforo; en el caso del nivel de potasio, los dos suelos tienen un nivel alto, pero en el caso del suelo en el cual se sembró el cultivo de brócoli tienen aproximadamente el doble de este elemento.

Los resultados de los ocho análisis de suelo que se realizaron después del periodo de 40 días de descanso se presentan en el Cuadro 9. En estos análisis se puede observar un incremento en el nivel de salinidad en el tratamiento uno; el cual es con la incorporación de residuos de cultivo de brócoli, incorporación de estiércol y solarización; este tratamiento muestra un nivel de salinidad de 4.45, por esto es considerado un suelo moderadamente salino. Este aumento puede ser debido a la descomposición del estiércol de equino, el cual al descomponerse libera una cantidad de sales que aumenta su concentración en el suelo (De Boer *et al*, 2003; You & Sivasithamparam, 1995)

Cuadro N° 8. Análisis de caracterización de suelo después de la cosecha de los cultivos previos, brócoli y lechuga

Suelo	pH (1:1)	Clase Textural	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P (ppm)	K (ppm)	C.I.C. (meq/100g)	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺
Brócoli	7.77	Franco Arcilloso	2.49	4.00	2.12	52.6	641	10.08	7.14	1.65	1.09	0.19
Lechuga	7.73	Franco Arcilloso	2.20	3.50	2.12	27.3	390	10.08	6.93	1.76	1.13	0.25

Cuadro N° 9. Análisis de caracterización de suelo en todos los tratamientos después de transcurridos los 40 días de descanso

Suelo	pH (1:1)	Clase Textural	C.E. (1:1) dS/m	CaCO ₃ %	M.O . %	P (ppm)	K (ppm)	C.I.C. (meq/100g)	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺
Trat. 1	7.42	Franco arcilloso	4.45	4.30	2.12	50.8	848	9.28	5.08	2.67	1.25	0.28
Trat. 2	7.49	Franco arcilloso	2.70	4.30	2.18	50.1	663	9.60	6.79	1.80	0.89	0.12
Trat. 3	7.67	Franco arcilloso	2.21	4.30	2.12	55.1	615	8.32	4.58	1.48	2.09	0.17
Trat. 4	7.50	Franco arcilloso	2.26	4.80	2.12	53.1	602	9.12	5.01	1.75	2.12	0.23
Trat. 5	7.64	Franco arcilloso	1.81	4.80	2.12	56.1	540	9.28	5.93	1.25	2.01	0.10
Trat. 6	7.61	Franco arcilloso	1.89	4.30	2.12	47.4	506	9.60	5.92	1.53	2.01	0.14
Trat. 7	7.57	Franco arcilloso	1.77	4.80	2.25	53.7	309	9.92	5.70	1.78	2.29	0.15
Trat. 8	7.55	Franco arcilloso	1.36	4.30	2.18	49.2	307	9.28	6.30	1.22	1.67	0.10

Otro cambio notable en el segundo análisis de suelo es el incremento en el nivel de fósforo en los tratamientos que se instalaron después de la siembra del cultivo de lechuga. Por último se observó un incremento notable en el nivel de potasio en el suelo en los tratamientos que se incorporación residuos de brócoli, estiércol de equino o ambos con respecto al primer análisis de suelo. Estos resultados son similares a lo que manifiesta Katan, 1987 y Brito-Vega y Espinosa-Victoria 2010; quienes señalan que después de una solarización o incorporación de alguna materia orgánica al suelo el nivel y disponibilidad de los elementos químicos aumentan. Este aumento en el nivel de los diferentes elementos químicos se puede observar o no en los análisis de suelo, pero lo concretamente seguro es el aumento en la disponibilidad de los elementos químicos para poder ser absorbidos por las plantas.

6.2. CONDICIONES AMBIENTALES

En la Figura 16 y 17 se presentan las condiciones meteorológicas en la UNALM durante el período de Julio a Febrero del 2012 según los datos proporcionados por el Observatorio Alexander Von Humboldt.

En los meses de Agosto, Setiembre y Octubre en los cuales se sembró los cultivos previos de brócoli y lechuga en la parcela experimental, se obtuvo una temperatura promedio de 14.83 °C; con una máxima de 19.3 °C y una mínima de 13.4 °C.

En los meses de Noviembre y Diciembre en los que se efectuó el período de descanso del campo experimental, se obtuvo una temperatura promedio de 16.4 °C, con una máxima de 22.1 °C y una mínima de 14.5 °C. La humedad relativa promedio fue de 83.5 %.

Por último, cuando se realizó la siembra del cultivo de albahaca, se observó una temperatura promedio de 22.3 °C con una máxima de 28.6 °C y una mínima de 19 °C desde la siembra de este cultivo hasta la última cosecha. La temperatura ambiental óptima para el crecimiento del cultivo de albahaca va desde 15 a 25 °C, aunque Cansing (2012) señala que puede crecer a un rango de temperatura de 7 a 27 °C, pero su temperatura óptima es de 20 °C (Ardila, citado por López, 2005).

A pesar que las temperaturas máximas registradas fueron de 28.1 °C y 29.2 °C en los meses de enero y febrero respectivamente, el cultivo no se vio afectado en su rendimiento debido a la alta humedad relativa registrada durante esos meses, la cual estuvo en un promedio de 75 %. La temperatura media registrada en estos dos meses que duro el cultivo de la albahaca fue muy cercano a su temperatura óptima para el desarrollo de éste, esto explica también el gran número de cortes de cosecha que se realizaron.

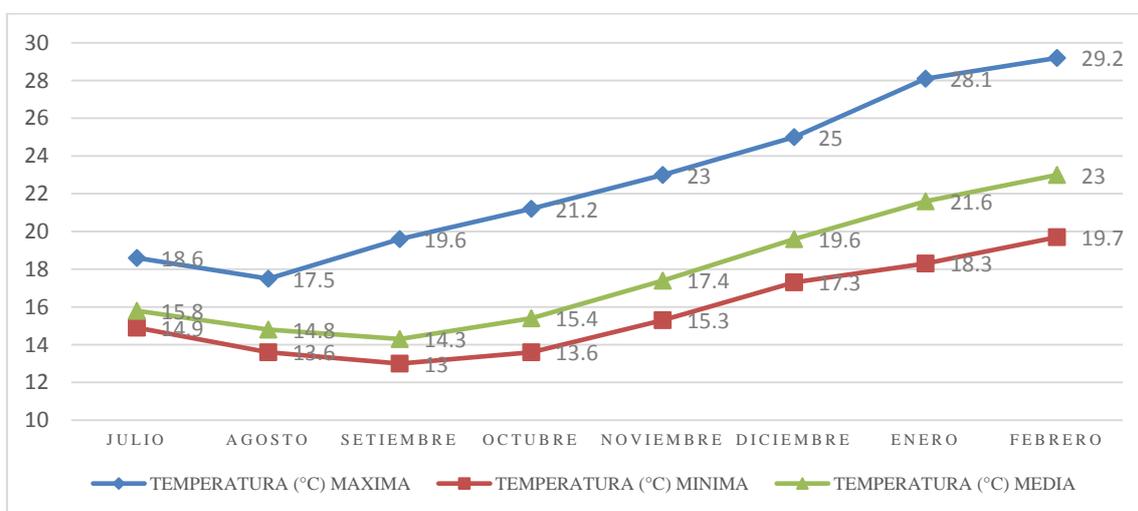


Figura N° 16. Temperaturas registradas por el observatorio Alexander Von Humboldt durante el período de Julio de 2011 a Febrero de 2012

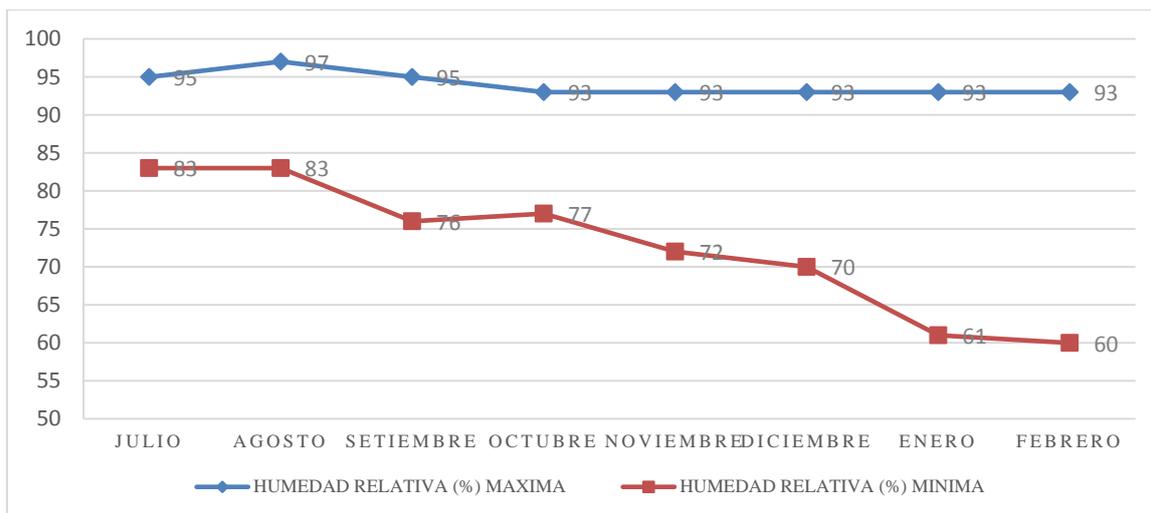


Figura N° 17. Humedades relativas registradas por el observatorio Alexander Von Humboldt durante el período de Julio de 2011 a Febrero de 2012

6.3. TEMPERATURA DEL SUELO EN CADA TRATAMIENTO

En el anexo 3 se muestra el análisis de varianza para la variable temperatura del suelo, el cual nos da como resultado que la interacción entre los factores: incorporación de residuos de brócoli, incorporación de estiércol y solarización; de dos en dos o entre los tres, no es significativo (nivel de significación del 5 %), por lo tanto no existe suficiente evidencia estadística para concluir que existe interacción entre estos factores en estudio, lo cual indica que cada uno de ellos son de efectos independientes entre sí. Entonces, como no existió efecto en las interacciones, el interés de la investigación se centró en el análisis independiente de cada uno de estos tres factores (Calzada, 1984)

El análisis de varianza del factor incorporación de residuos de brócoli, indicó que existen diferencias significativas entre incorporarlo al suelo o no (ver anexo 3).

El análisis de varianza del factor incorporación de estiércol, indicó que no existen diferencias significativas entre incorporarlo al suelo o no (ver anexo 3).

El análisis de varianza del factor solarización, indicó que existen diferencias significativas entre realizarlo o no (ver anexo 3).

Al realizar la comparación de medias para la incorporación de residuos de brócoli, mediante la prueba de Tukey al 0.05 de probabilidad, se puede observar que en los tratamientos donde se incorporaron, se obtuvo una temperatura de suelo promedio de 29.55 °C y es estadísticamente diferente a la temperatura obtenida cuando no se incorporaron estos residuos, tal como se aprecia en la Figura 18.

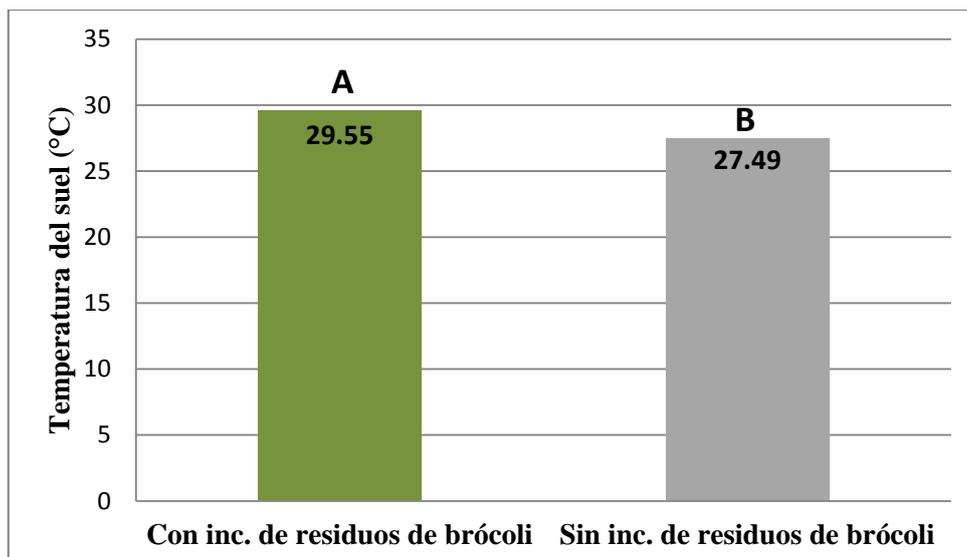


Figura N° 18. Promedios de la temperatura del suelo del factor incorporación de residuos de brócoli dependiente de la incorporación de estiércol y solarización y prueba de Tukey al 0.05 de probabilidad

Al realizar la comparación de medias para la solarización, mediante la prueba de Tukey al 0.05 de probabilidad se puede observar que los tratamientos donde se realizó la solarización, se obtuvo que la temperatura de suelo promedio fue de 30.44 °C y es estadísticamente diferente a la temperatura obtenida cuando no se realizó la solarización, tal como se muestra en la Figura 19.

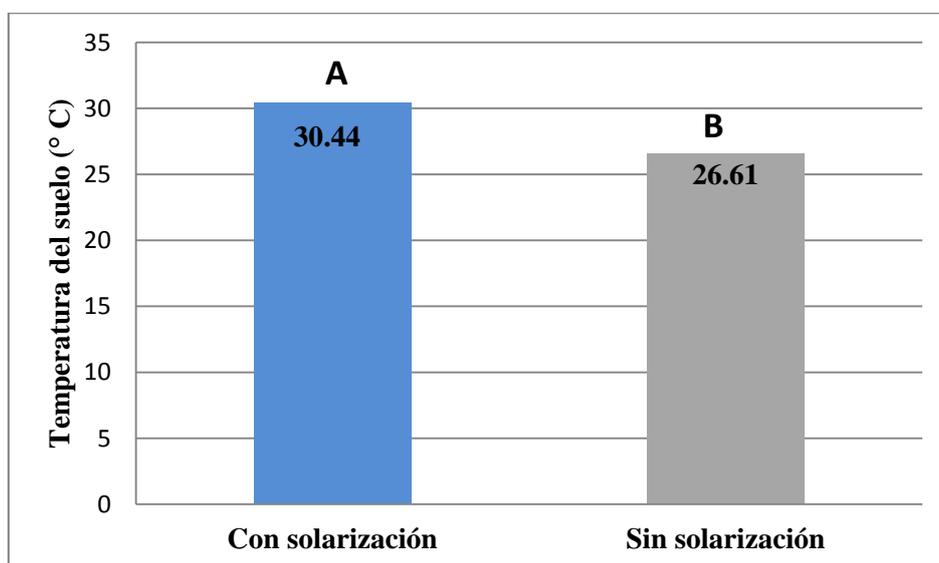


Figura N° 19. Promedios de la temperatura del suelo del factor solarización dependiente de la incorporación de residuos de brócoli y estiércol y prueba de Tukey al 0.05 de probabilidad

A pesar de que se aprecia diferencia estadística en la temperatura del suelo en los tratamientos donde se incorporó residuos de brócoli y se realizó la solarización, ninguno de éstos pudo alcanzar la temperatura de 47 °C, que es la mínima reportada en la cual se eliminan las diferentes estructuras propagativas de los patógenos del suelo (Coello *et al.*, 2010; Bello *et al.*, 2010). Esto fue debido a la baja temperatura ambiental reportada durante el periodo que el campo estaba en el tratamiento de descanso, tal como se aprecia en el Figura 5, se registró una temperatura promedio de 16.05 °C, una máxima de 23.75 °C y una mínima de 18.23 °C.

Otro factor importante fue la alta humedad relativa registrada durante los meses del tratamiento de descanso, la cual fue de 83.5 %, la cual absorbió parte de la radiación solar necesaria que debió llegar al suelo para que ocurra la transformación de la onda radiante en ondas de calor.

A pesar de que no se obtuvo las temperaturas mínimas requeridas para asegurar la eliminación de los patógenos del suelo por el control físico, se puede asumir que la población de los microorganismos termófilos, en los cuales se encuentran la mayoría de los controladores biológicos han podido incrementarse, tal como lo postula Motisi *et al.*, 2009. Por lo tanto, es probable que existió un efecto competitivo de estos grupos microbianos con los patógenos y con esto disminuir la incidencia de enfermedades ocasionados por estos.

Lo ideal para medir la cantidad de horas acumuladas a una determinada temperatura, como lo señalan De Vay (1990), Elmore *et al.* (1997), Stevens *et al.* (2003), Ripanti *et al.* (2009), es introducir un sensor en el suelo (geotermómetro) a diferentes perfiles (5, 10 y 20 cm.) durante todo el día para poder registrar la temperatura diaria, de esta manera saber realmente la cantidad de horas acumuladas a una determinada temperatura en el suelo. En este experimento solo se pudo contar con un termómetro convencional para medir la temperatura del suelo en los diferentes tratamientos, por lo tanto no se pudo saber la cantidad de horas de determinada temperatura que acumulo cada tratamiento durante todo el periodo de tratamiento descanso.

Por otro lado, en otros experimentos se ha comprobado que al incorporar diferentes abonos al suelo, éstos crean microclimas dentro del suelo con una temperatura promedio de 70 a 75 °C por un tiempo corto durante su descomposición con lo cual destruyen las diferentes estructuras de los patógenos del suelo (Stapleton *et al.*, 1990). En los

tratamientos donde se incorporaron residuos de brócoli, estiércol de equino o los dos, es probable que hayan existido microclimas donde la temperatura haya tenido un incremento mayor que el registrado, pero este aumento se debió medir constantemente con geotermómetros o geotermógrafos para poder cuantificar el tiempo que el suelo registra determinada temperatura.

6.4. INCIDENCIA DE ENFERMEDADES FUNGOSAS DEL SUELO

De las muestras de plantas de albahaca, con síntomas de pudriciones de cuello y raíces que se muestrearon del campo experimental, se aislaron e identificaron morfológicamente a dos especies de hongos fitopatógenos:

1. *Rhizoctonia solani* el cual presentó un micelio de un color marrón oscuro, esclerotes irregulares (Figura 20), hifas jóvenes con una ramificación en un ángulo de 90° (Figura 21), un ancho de 7.5 μm y con más de dos núcleos por célula. Los síntomas que se apreciaron en las plantas de albahaca donde se pudo aislar este hongo fueron muerte de la plántula a los pocos días que esta emergió del suelo se muere, lo cual recibe el nombre de ahogamiento de plántulas, en la cual se podía apreciar una ligera pudrición de las raicillas; y en menor porcentaje se encontraron plántulas con el síntoma característico de esta enfermedad, la cual es una pudrición hundida y limitada en el tallo cerca de la superficie del suelo.

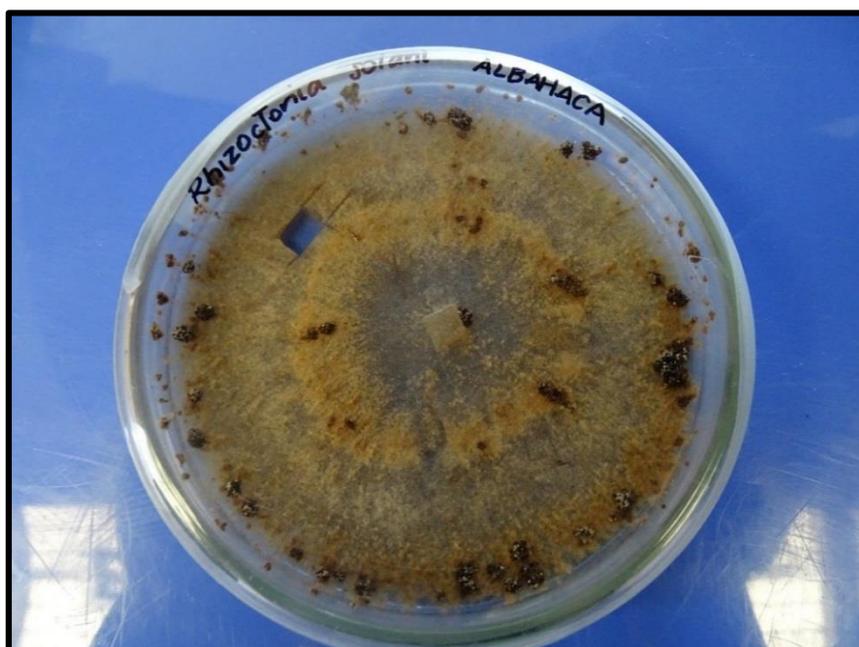


Figura N° 20. Colonia de *Rhizoctonia solani* en el medio PDA aislada de plantas de albahaca



Figura N° 21. Hifas con ramificación en ángulo de 90° de *Rhizoctonia solani*

2. *Fusarium solani* (Mart.) Sacc. presentó micelio de un color beige claro (Figura 22), microconidias agrupadas, clamidosporas solitarias, macroconidias con un ancho aproximado de 5.1 μm , con paredes engrosadas, los extremos romos y con una forma de una canoa (Figura 23). Los síntomas que se apreciaron en las plantas de albahaca donde se pudo aislar este hongo fueron marchitez en las plantas en forma progresiva, las cuales al realizar un corte longitudinal en el tallo se puede apreciar estrías necróticas a lo largo del tejido vascular.

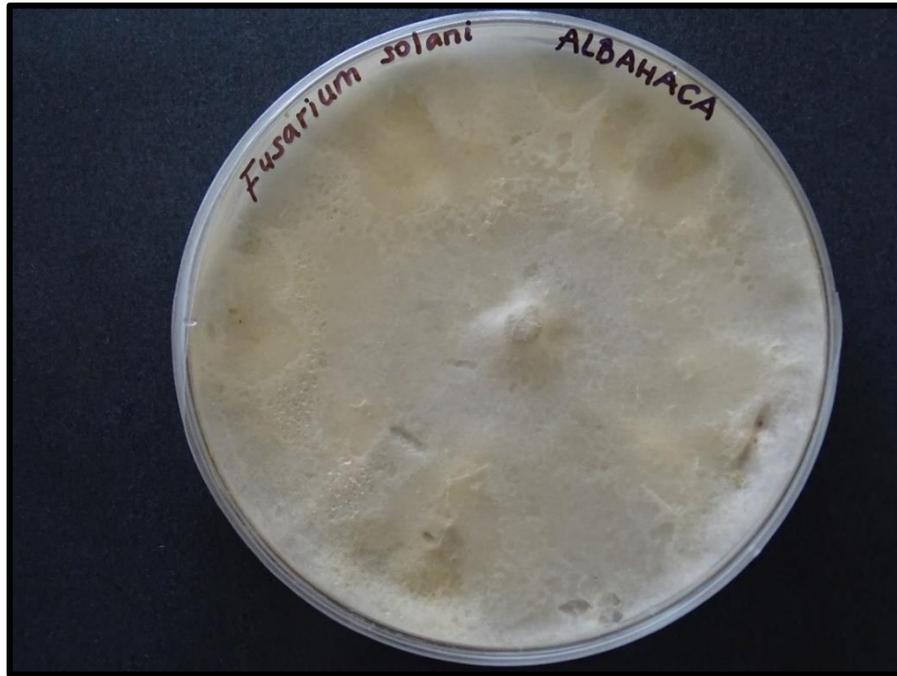


Figura N° 22. Colonia de *Fusarium solani* en el medio PDA aislada de plantas de albahaca

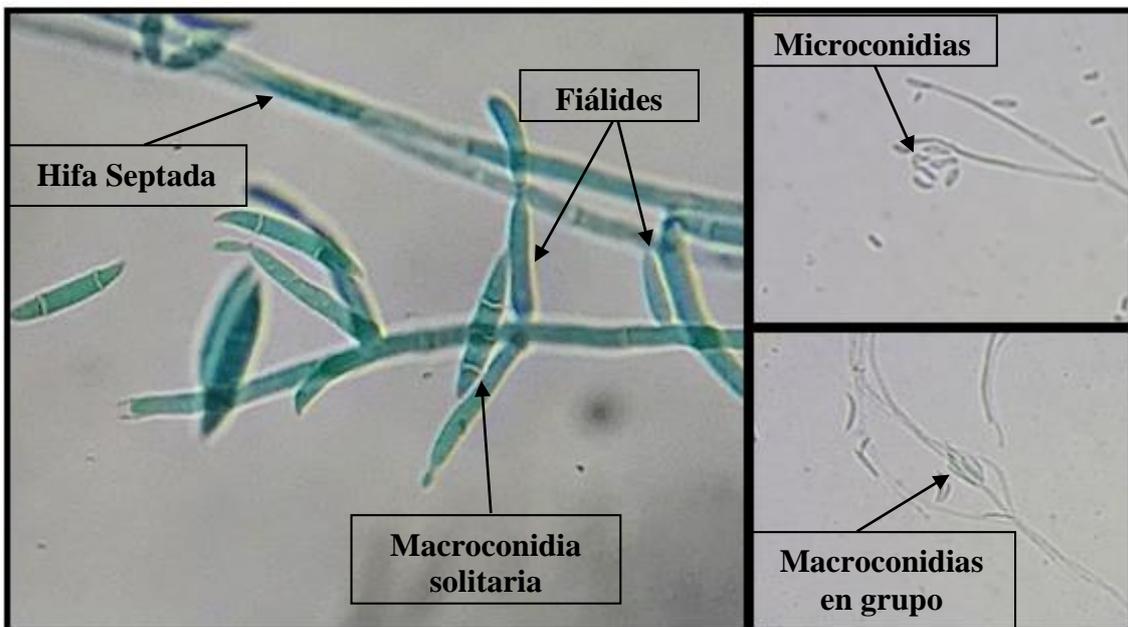


Figura N° 23. Hifas, fiálides, microconidias y macroconidias solitarias y agrupadas de *Fusarium solani*

Estos patógenos se encontraron en todos los tratamientos, pero siempre había una mayor presencia de plántulas de albahaca muertas a causa de *R. solani*, como se puede apreciar en la Figura 24. Esto se puede explicar debido a que este patógeno puede penetrar directamente, ya que forma una hifa germinativa en la cual se produce una hinchazón en la parte final de esta, donde migran todos los nutrientes a un apresorio. Pero este patógeno

forma varios apresorios en conjunto, a lo que se denomina “colchones de infección”, con lo cual puede penetrar al tejido de la planta con más facilidad, posteriormente la hifa de infección penetra al tejido por presión y por degradación de la cutícula que se da por enzimas cutinasas que sintetiza este hongo. Este patógeno destruye una parte del floema con lo cual se altera el proceso de translocación de fotosintatos y la respiración en la planta (Agrios, 2005; Goodman *et al.* 1986, Lucas, 1965). Por otra parte, *F. solani* es un patógeno débil, ya que penetra por las heridas naturales que se forma en las raíces cuando emergen las raíces secundarias en la planta. Estas heridas se forman cuando al emerger las raicillas del periciclo empujan los tejidos con lo cual rompe la epidermis, por esto queda una herida en ambos lados de la raíz (Agrios, 2005, Lucas *et al.* 2013, Robards and Lucas, 1990)

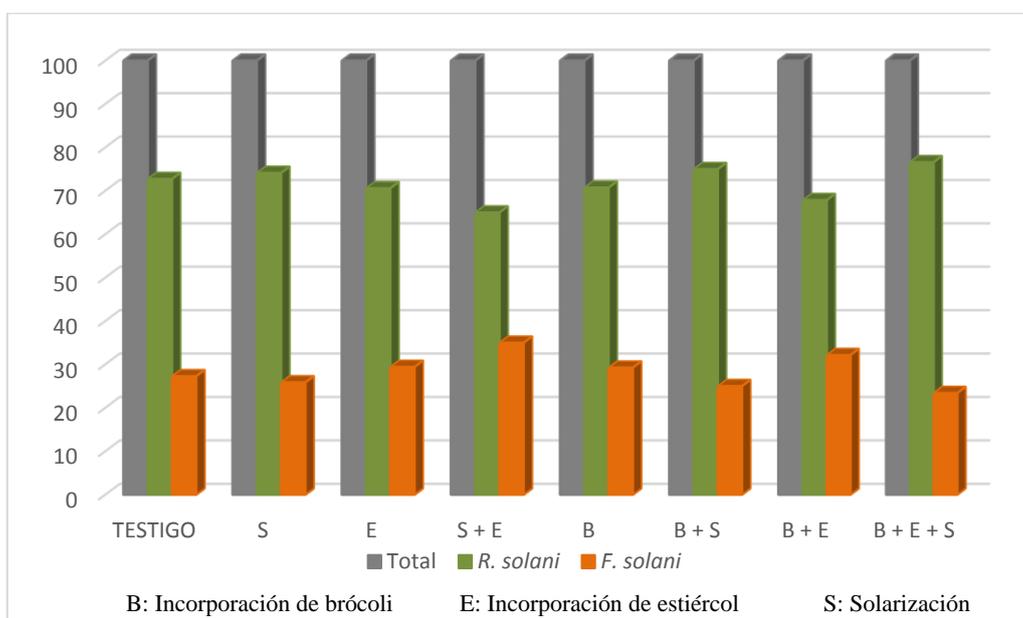


Figura N° 24. Frecuencia de los patógenos radiculares que se presentaron en el cultivo de la albahaca: total y disgregado.

Por otra parte, al observar la curva del progreso de la enfermedad de estos dos patógenos en conjunto (Figura 25) y en forma individual (Figura 26 y 27) en los tratamientos, se puede apreciar en general un incremento progresivo de la enfermedad hasta el día 11 después de la siembra en todos los tratamientos, a partir del cual se mantiene constante el porcentaje de incidencia de plantas muertas a causa de algún patógeno radicular. En el caso de *R. solani* se observa un incremento de la curva de la enfermedad hasta el día 15 después de la siembra, a partir del cual también se mantiene constante la incidencia de plantas muertas. Por último, se puede apreciar en la Figura 25, 26 y 27 que el tratamiento

Testigo tiene un mayor avance de la enfermedad, con lo cual se diferenci6 dr6sticamente con respecto al avance de la enfermedad de los otros tratamientos.

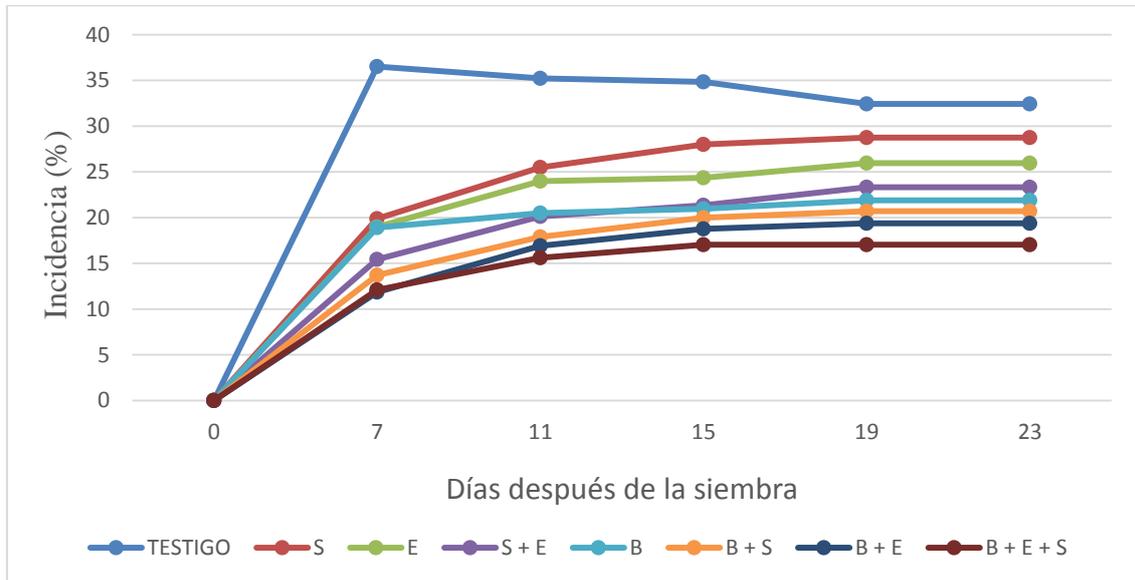


Figura N° 25. Curva del progreso de la enfermedad causado por las enfermedades fungosas en el cultivo de albahaca.

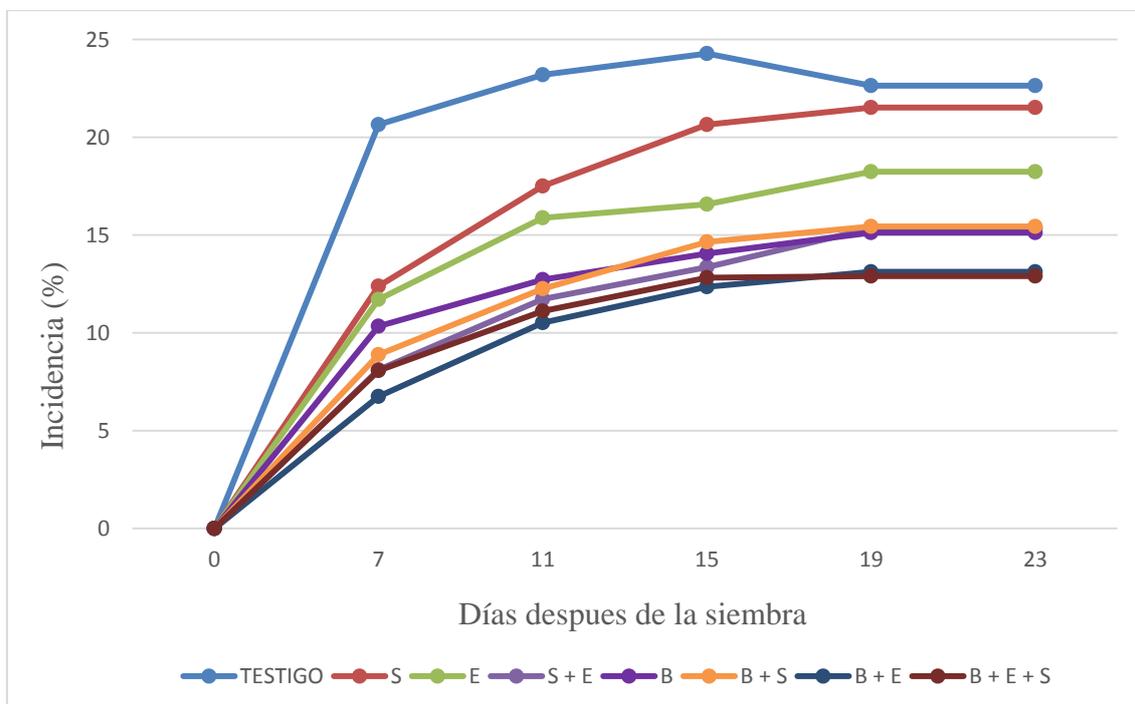


Figura N° 26. Curva del progreso de la enfermedad causado por *Rhizoctonia solani* en el cultivo de albahaca

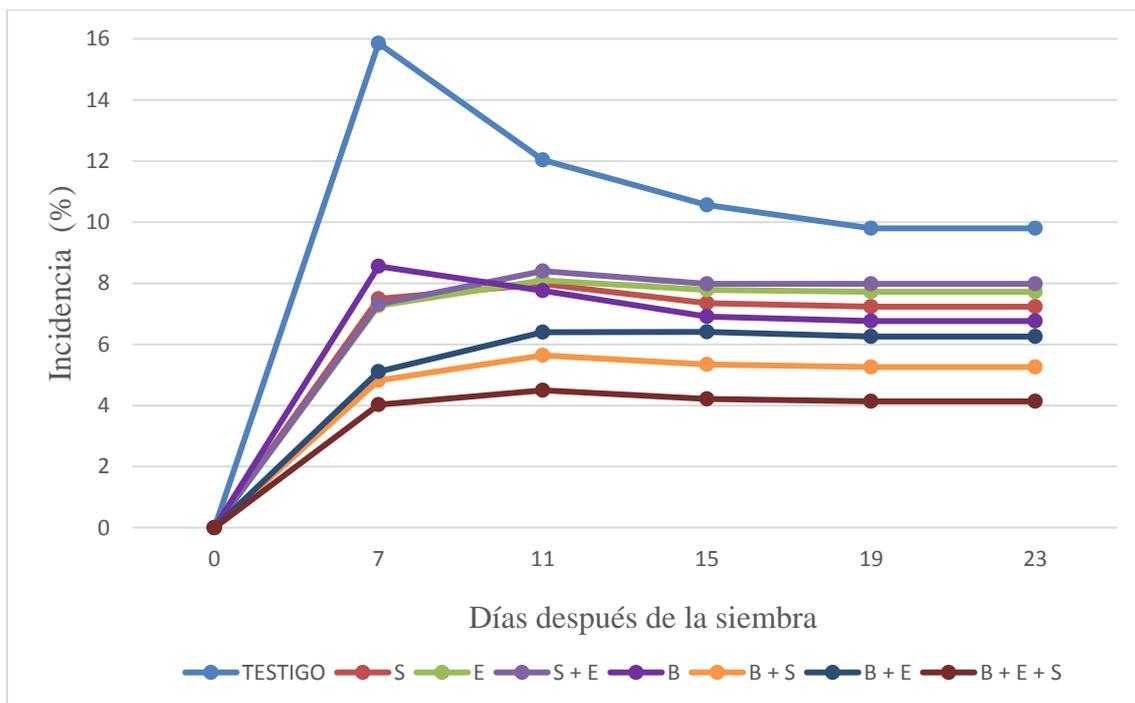


Figura N° 27. Curva del progreso de la enfermedad causado por *Fusarium solani* en el cultivo de albahaca

Para poder comparar estadísticamente los tratamientos se realizó un análisis de variancia del área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) de las enfermedades fungosas (Anexo 13), en el cual nos da como resultado que la interacción de los tres factores: incorporación de residuos de brócoli, incorporación de estiércol y solarización, no es significativo, por lo tanto no existe suficiente evidencia estadística para concluir que existe efecto interactuante entre los tres factores en estudio. Por otra parte la interacción entre el factor incorporación de residuos de brócoli con la incorporación de estiércol y la interacción del factor interacción de residuos de brócoli con solarización, dio como resultado alta significancia, por lo tanto existe suficiente evidencia estadística para concluir que existe interacción entre los factores mencionados. La interacción entre el factor incorporación de estiércol y solarización no dio significancia estadística. Entonces, el interés de la investigación se centró en el análisis de la interacción de los factores que dieron alta significancia estadística, tal como lo recomienda Calzada (1984).

El análisis de variancia del factor incorporación de residuos de brócoli indicó que existen diferencias significativas entre incorporarlo al suelo o no en lo referente al área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) en el cultivo de la albahaca (ver anexo 13).

El análisis de variancia del factor incorporación de estiércol indicó que existen diferencias significativas entre incorporarlo al suelo o no en lo referente al área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) en el cultivo de la albahaca (ver anexo 13).

El análisis de variancia del factor solarización indicó que existen diferencias significativas entre realizarlo o no en lo referente al área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) en el cultivo de la albahaca (ver anexo 13).

Al realizar la comparación de medias para la incorporación de residuos de brócoli mediante la prueba de Tukey al 0.05 de probabilidad, se puede observar que en los tratamientos donde se incorporó este cultivo se obtuvo un ABCPE de 343.99, y es estadísticamente diferente al ABCPE cuando no se incorporaron estos residuos, tal como se aprecia en la Figura 28.

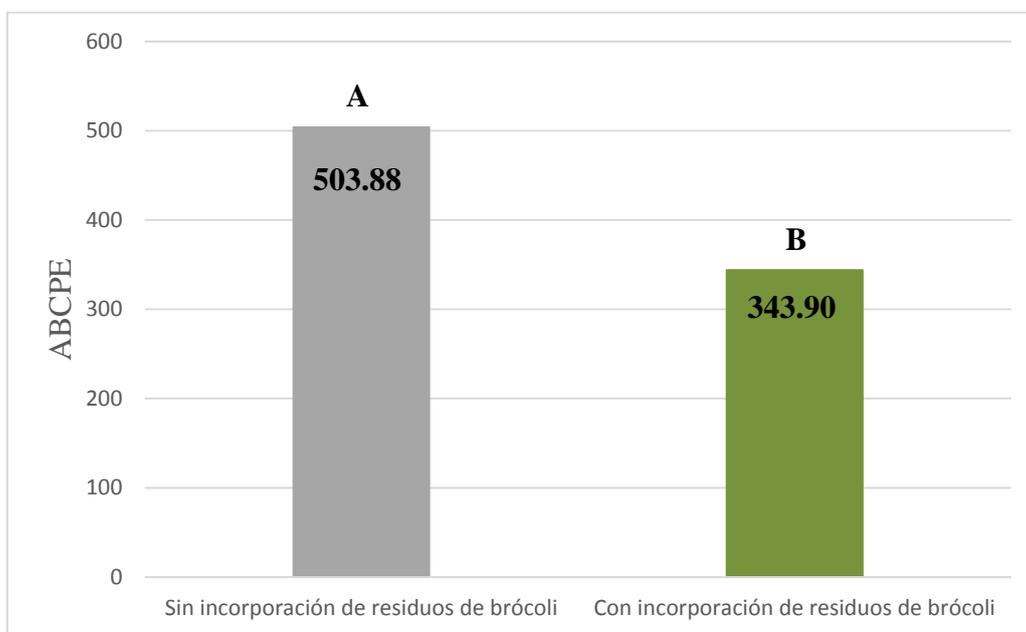


Figura N° 28. Promedios del área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) del factor incorporación de residuos de brócoli y prueba de Tukey al 0.05 de probabilidad

Al realizar la comparación de medias para la incorporación de estiércol mediante la prueba de Tukey al 0.05 de probabilidad se puede observar que en los tratamientos donde se incorporaron estiércol se obtuvo un ABCPE de 366.89, y es estadísticamente diferente al ABCPE cuando no se incorporaron estiércol, tal como se aprecia en la Figura 29.

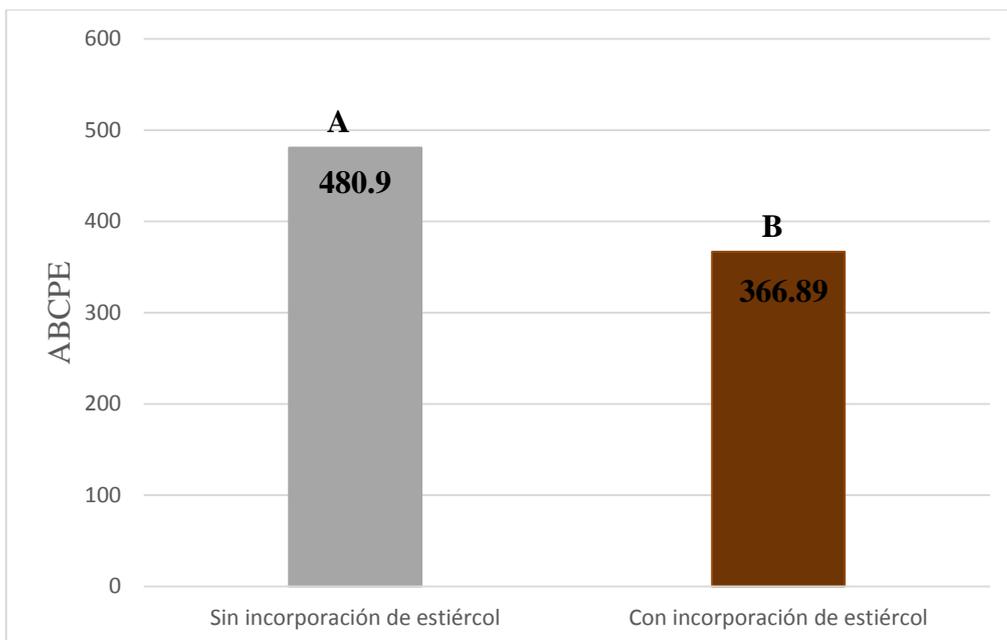


Figura N° 29. Promedios del área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) del factor incorporación de estiércol y prueba de Tukey al 0.05 de probabilidad

Al realizar la comparación de medias para la solarización mediante la prueba de Tukey al 0.05 de probabilidad se puede observar que en los tratamientos no se solarizo se obtuvo un ABCPE de 463.57, y es estadísticamente diferente al ABCPE cuando se realizó la solarización, tal como se aprecia en la Figura 30.

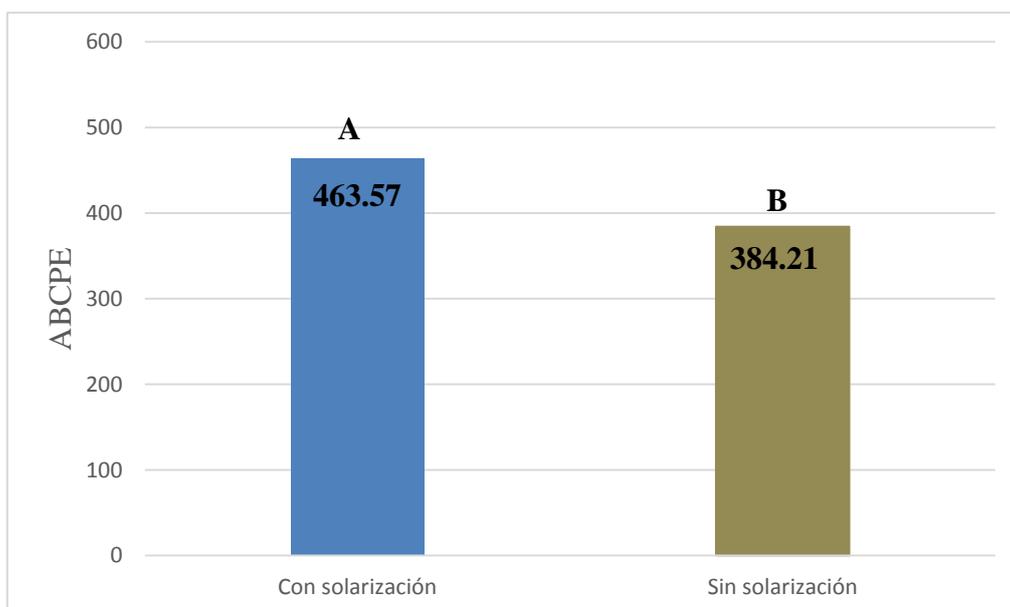


Figura N° 30. Promedios del área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) del factor solarización y prueba de Tukey al 0.05 de probabilidad

La menor incidencia de enfermedades fungosas del suelo cuando se incorpora residuos de brócoli se puede deber a la fitotoxicidad que poseen las diversas especies de plantas de la familia *Brassicaceae* contra diversos patógenos, tal como lo reportan *in vitro* que presentan compuestos bioactivos, aunque estos muestran muy diversos resultados bajo condiciones de invernadero y campo (Njoroge *et al*, 2008; Motisi *et al*, 2009). En el presente trabajo experimental si se obtuvo una reducción en el nivel de incidencia de enfermedades fungosas del suelo.

Por otro lado, el menor promedio de la incidencia de enfermedades fungosas cuando se incorporó estiércol se pudo deber a que las comunidades microbianas varían después de incorporar alguna enmienda al suelo, siendo beneficiados los microorganismos supresores o antagonicos de los patógenos del suelo (De Boer *et al*, 2003, Garbeva *et al*. 2011, You y Sivasithamparan, 1995).

En el Cuadro 11 y Figura 31 se presenta la comparación de medias del promedio del área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) mediante la prueba de Tukey al 0.05 de probabilidad, donde observamos que el tratamiento de incorporación de residuos de brócoli + incorporación de estiércol + solarización (T1) tuvo el menor ABCPE, con 299.31, y es similar estadísticamente a todos los tratamientos, excepto a los tratamientos Incorporación de estiércol (T6), Solarización (T7) y Suelo descubierto (T8) o Testigo que presentaron un ABCPE de 453.41, 459.77 y 675.68 respectivamente.

Cuadro N° 10. Promedios del área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) de los dos patógenos radiculares encontrados en el cultivo de albahaca y prueba de Tukey al 0.05 de probabilidad

Tratamientos	ABCPE	Tukey
Suelo descubierto (T8)	675.68	A
Solarización (T7)	495.77	B
Incorporación de estiércol (T6)	453.41	BC
Incorporación de residuos de brócoli (T4)	401.02	BCD
Incorporación de estiércol + Solarización (T5)	390.66	BCD
Incorporación de residuos de brócoli + Solarización (T3)	351.11	CD
Incorporación de residuos de brócoli + Incorporación de estiércol (T2)	324.18	D
Incorporación de residuos de brócoli + Incorporación de estiércol + Solarización (T1)	299.31	D

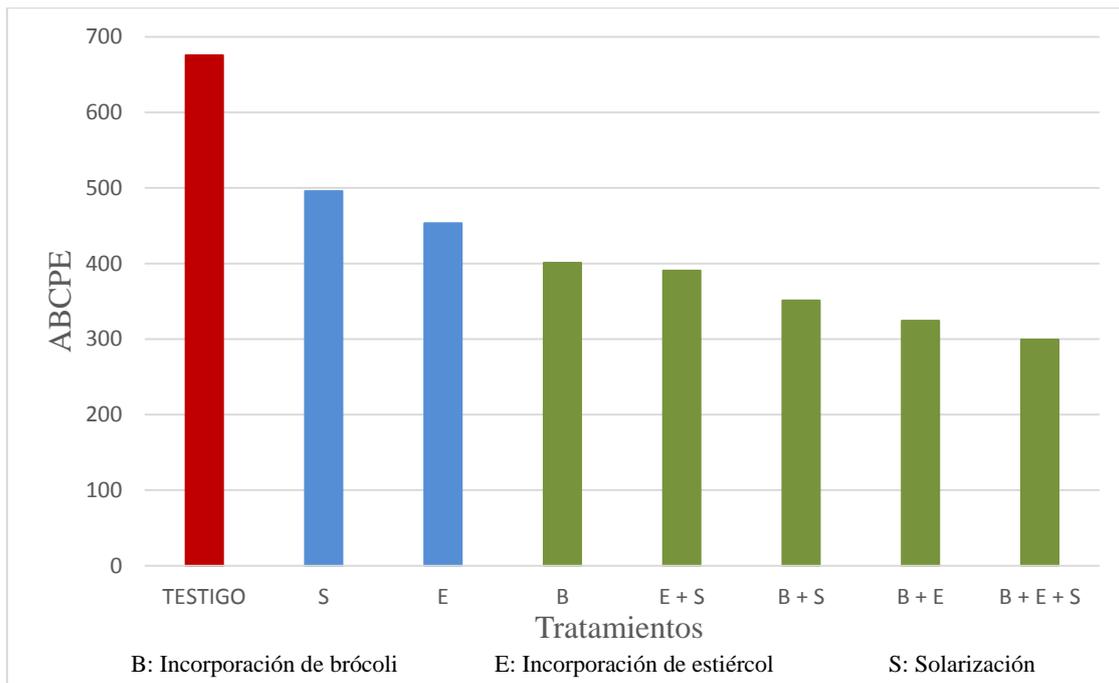


Figura N° 31. Promedio del área bajo la curva del progreso del progreso de la enfermedad (ABCPE) de los patógenos radiculares encontrados en el cultivo de albahaca

Las interacciones entre los productos bioactivos producidos por las especies de *Brassica* y el medio ambiente en el suelo se han propuesto como responsable de la amplia gama de resultados observados en campo (Gimsing y Kinkegaard, 2009; Motisi *et al.*, 2009). En este estudio, los resultados mostraron que los rastrojos de brócoli resultan ser significativos para la incidencia de enfermedades radiculares, pero cuando se interacciona con la incorporación de estiércol y/o la solarización resulta no significativo (Anexo 6). Antes del experimento se presumía que al interaccionar dos de los factores o los tres se iba obtener diferencias muy notorias en la incidencia de enfermedades fúngicas del suelo, lo cual no sucedió al realizar el experimento. Estas inconsistencias en los resultados se han atribuido a la interacción entre los compuestos bioactivos agregados en los tejidos de *Brassica*, con la cantidad y calidad de microorganismos que posee el estiércol utilizado en el experimento y con la población microbiana inicial presente en el suelo (Gimsing y Kinkegaard, 2006).

Al igual que en estudios previos, los resultados en campo, cuando se incorporan rastrojos de brócoli u otro tipo de enmiendas, resultan ser muy inciertos pudiendo ser muy buenos en la supresión en enfermedades (Lazzeri *et al.*, 2009; Larking y Griffin, 2007) o no presentar control alguno (Jonson *et al.*, 1992; Hartz *et al.*, 2005).

Lo más resaltante de estos resultados es que se aprecia diferencias significativas cuando se incorpora rastrojos de brócoli o estiércol; esto se debe principalmente a que la incorporación de abonos verdes y estiércol de cualquier tipo se han venido utilizado en la agricultura con el objetivo primordial de mejorar las características nutricionales y físicas del suelo del suelo para el crecimiento vegetal de las plantas (Schlatter *et al.*, 2009). En el caso de la incorporación de rastrojos de brócoli, aumenta la disponibilidad de nutrientes del suelo y aumenta la población microbiana total (Wang *et al.*, 2011). La incorporación de residuos de brásicas también se ha asociado a la supresión del crecimiento de la planta, debido a que los glucosinolatos que poseen sus tejidos también son fitotóxicos al momento de la germinación y durante el crecimiento de las plantas. (Motisi *et al.*, 2009). Por eso es importante conocer el tiempo que se debe dejar el campo en descanso después de incorporar rastrojos de alguna especie de la familia *Brassicaceae*, para no sufrir daños por fitotoxicidad en el siguiente cultivo.

6.5. RENDIMIENTO

En el anexo 9 se muestra el análisis de varianza para la variable rendimiento total, en el cual nos da como resultado que la interacción de los tres factores: incorporación de residuos de brócoli, incorporación de estiércol y solarización es significativo, por lo tanto, existe suficiente evidencia estadística para concluir que existe un efecto entre la interacción de los tres factores. Entonces, el interés de la investigación se centra en el análisis de las interacciones entre los factores (Calzada, 1984).

En el Cuadro 11 y Figura 23 se presentan la comparación de medias del rendimiento acumulado mediante la prueba de Tukey al 0.05 de probabilidad, donde se observa que el tratamiento de incorporación de residuos de brócoli + incorporación de estiércol + solarización ocupó el primer lugar con 69.053 t/Ha, y es similar estadísticamente a todos los tratamientos, excepto a los tratamientos Solarización (T7) y Suelo descubierto (T8), con 35.168 t/Ha. y 21.437 t/Ha. respectivamente.

Cuadro N° 11. Promedios del rendimiento acumulado del cultivo de albahaca por cada tratamiento y prueba de Tukey al 0.05 de probabilidad

Tratamientos	Rendimiento acumulado (t/Ha.)	Rendimiento promedio por cada corte (t/Ha)	Tukey
Incorporación de residuos de brócoli + Incorporación de estiércol + Solarización (T1)	69.053	8.631	A
Incorporación de residuos de brócoli + Incorporación de estiércol (T2)	63.345	7.918	A
Incorporación de residuos de brócoli (T4)	60.705	7.588	A
Incorporación de residuos de brócoli + Solarización (T3)	53.083	6.635	AB
Incorporación de estiércol (T6)	49.243	6.155	AB
Incorporación de estiércol + Solarización (T5)	47.602	5.950	AB
Solarización (T7)	35.168	4.396	BC
Suelo descubierto (T8)	21.437	2.679	C

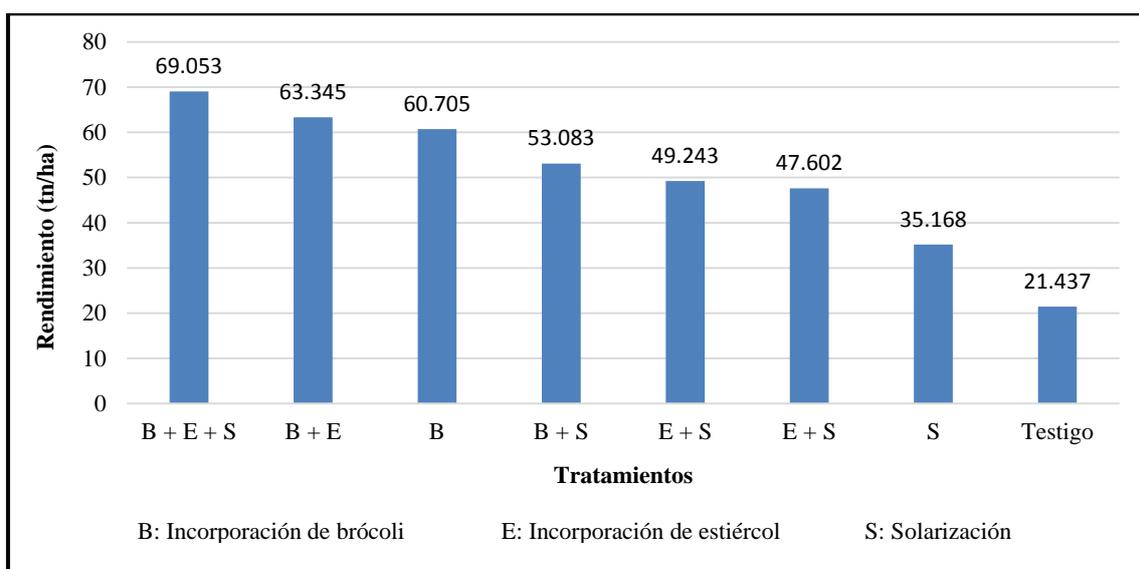


Figura N° 32. Promedio del rendimiento total del cultivo de albahaca por cada tratamiento

Los máximos rendimientos obtenidos por cada corte en este cultivo estuvieron entre 6 y 8 t/Ha., los cuales según los diversos registros a nivel nacional y mundial se encuentran en el promedio, si se considera que se trata de un cultivo orgánico (Minag, 2013; Lucero-Flores y Sánchez-Verdugo 2012)

La estadística del MINAG (2013) señala que el rendimiento promedio nacional es de 14 t/Ha, siendo el rendimiento promedio del departamento de Lima de 11 t/Ha. Cabe

mencionar que este rendimiento promedio nacional no distingue si es un cultivo orgánico o convencional, por lo tanto los tratamientos con mayor valor de rendimiento que se obtuvo se acercan al rendimiento promedio en Lima.

Lo resaltante de estos resultados es que, como se esperaba, con la interacción de los tres factores se obtiene el máximo rendimiento el cual es 69.053 t/Ha.; pero es estadísticamente similar a todos los tratamientos, excepto al tratamiento Solarización (T7) y Suelo descubierto (T8). Se puede atribuir este mayor rendimiento a la materia orgánica incorporada al suelo lo que favoreció una mayor actividad microbiana, y con esto una rápida mineralización y disponibilidad de los nutrientes para el cultivo.

Los resultados obtenidos por Larking y Griffin (2007), Cohen y Mazzola (2006), Cohen *et al.* (2005), y Mazzola *et al.* (2001) refuerzan nuestra explicación, pues ellos observaron un cambio en las comunidades microbianas benéficas del suelo cuando se incorpora residuos de cosecha de alguna especie de la familia *Brassicaceae*. Por este motivo, se puede deducir que los rastrojos de brócoli modifican la relación de microorganismos del suelo.

Ascencion (2012) encontró que cuando la relación de Actinomicetes/hongos pasa el valor de 350 existe un control de enfermedades causadas por patógenos radiculares. Este valor debe de ser usado como un indicador para el control de enfermedades causados por patógenos de suelo en ensayos a gran escala donde se evalúen varios tipos de enfermedades, de suelos y de especies de *Brassicaceae* usadas para la biodesinfección, tal como es el presente trabajo realizado donde no se consideró esta relación.

6.6. ANÁLISIS ECONÓMICO PARA CADA TRATAMIENTO

En el Cuadro 12 se muestra el análisis económico para el cultivo de albahaca sin la intervención de ningún tratamiento, su elaboración contemplo todos los insumos utilizados y labores realizadas en el campo siguiendo el esquema propuesto por Delgado de la Flor *et al.* (1994).

El valor de la producción estuvo conformado por la venta del 90% de la producción total al precio establecido en chacra promedio en el año 2012, el cual fue de 0.64 soles por Kilogramo.

El cultivo de albahaca sin la implementación de algún tratamiento presenta un índice de rentabilidad de 176.84 %.

Cuadro N° 12. Estructura estimada de Costos de Producción de Albahaca en La Molina, 2012

I. COSTOS DIRECTOS				
A. GASTOS DE CULTIVO	Cantidad	Unidad	Costo uni. (S/.)	Costos total / Ha. (S/.)
1.Preparación del terreno				
Riego de machaco	1	Jornal	30	30
Gradeo	4	Hora maq.	80	320
Aradura	4	Hora maq.	80	320
Despaje	1	Jornal	30	30
Surcado	3	Hora maq.	80	240
Tomeo	1	Jornal	30	30
2. Siembra				
Siembra directa	4	Jornal	30	120
Trasplante	2	Jornal	30	60
3. Control de malezas				
Deshierbo	16	Jornal	30	480
4. Riegos				
Riego	6	Jornal	30	180
5.Tratamiento fitosanitario				
Aplicación	2	Jornal	30	60
6. Cosecha	40	Jornal	30	1200
Total gastos de horas de maquina	11	Hora maq.	80	880
Total de Gastos mano de obra	73	Jornal	30	2190
B. GASTOS ESPECIALES	Cantidad	Unidad	Costo unitario (S/.)	Costo total / ha (S/.)
1. Siembra				
Semilla de albahaca	0.6	Kg	180	108
2. Insumos				
Cebos tóxicos		Kg		100
Sub-total de gastos especiales				208
Total costos Directos				3278
II. COSTOS INDIRECTOS (CI)				
Leyes Sociales (46.5% del valor de mano de obra)				1018.35
Gastos financieros (5% del CD)				158.4
Total costos indirectos				1176.75

III. Valoración de la cosecha		
Rendimiento / Ha. (Kg)		19293
Precio de albahaca (kg)		0.64
Valor Producción (S/.)		12347.52
Costo de Producción (S/.)		4460.25
Utilidad Neta (S/.)		7887.27
Índice de rentabilidad (%)		176.84

En el Cuadro 13 se presentan los costos de implementación de mantas de plástico de polietileno para la posterior solarización del suelo, en el Cuadro 14 se presentan los costos de incorporación de estiércol al campo experimental y por último en el Cuadro 15 se presentan los costos de incorporación de los residuos del cultivo de brócoli al suelo.

Cuadro N° 13. Costo de implementación de mantas de plástico de polietileno al suelo

Gastos de instalación	Cantidad	Unidad	Costo uni. (S/.)	Costos total / Ha. (S/.)
1. Preparación del terreno				
Riego de Machaco	1	Jornal	30	30
Gradeo	4	Hora maq.	80	320
Implementación de la solarización	1	Jornal	80	80
2. Insumos				
Mantas de plástico de 3 micras	10000	1 m ²	1.05	10500
Total de gasto acumulado				10930

Cuadro N° 14. Costo de incorporación de estiércol al cultivo de albahaca

Gastos de incorporación	Cantidad	Unidad	Costo uni. (S/.)	Costo total / Ha. (S/.)
1. Preparación del Terreno				
Riego	1	Jornal	30	30
Incorporación de estiércol	2	Hora maq.	80	160
2. Insumos				
Estiércol	40	Tonelada	300	12000
Total de gastos de incorporación				12190

Cuadro N° 15. Costos de incorporación de residuos del cultivo de brócoli

Gastos de incorporación	Cantidad	Unidad	Costo uni. (S/.)	Costo total / Ha. (S/.)
1. Preparación del Terreno				
Riego	1	Jornal	30	30
Incorporación de estiércol	2	Hora maq.	80	160
Total de gastos de incorporación				190

En el Cuadro 16 se presentan los valores de producción por cada tratamiento y en el Cuadro 17 se muestran los resultados en la evaluación de análisis económico para los diferentes factores, tanto el Factor A (Incorporación de residuos de brócoli), el Factor B (incorporación de estiércol) y el factor C (solarización), Su elaboración contemplo las diferencias entre tratamientos por concepto de insumos utilizados y labores realizadas en el campo.

Cuadro N° 16. Valor de la producción de cada tratamiento al 90 % de su producción total

Tratamientos	Rendimiento al 100 % (Kg.)	Rendimiento al 90 % (Kg.)	Precio en chacra (Kg.)	Valor de la producción (S/.)
B + E + S	69053.333	62148	0.64	39774.720
B + E	63345	57010.5	0.64	36486.720
B + S	53083.333	47775	0.64	30576.000
B	60705	54634.5	0.64	34966.080
E + S	47601.666	42841.5	0.64	27418.560
E	49243.333	44319	0.64	28364.160
S	35168.333	31651.5	0.64	20256.960
Suelo descubierto	21436.666	19293	0.64	12347.520

Cuadro N° 17. Análisis económico según los efectos de la incorporación de residuos de brócoli, estiércol y la solarización

Tratamientos	1. Costo de producción fijo (S/.)	2. Costo por tratamiento (S/.)	3. Costo de producción total (S/.) (1+2)	4. Valor de la producción (S/.)	5. Utilidad de la producción (S/.) (4 - 3)	6. Índice de rentabilidad (%)
B + E + S (T1)	4460.250	23310.000	27770.250	39774.720	12004.470	43.23
B + E (T2)	4460.250	12380.000	16840.250	36486.720	19646.470	116.66
B + S (T3)	4460.250	11120.000	15580.250	30576.000	14995.750	96.25
B (T4)	4460.250	190.000	4650.250	34966.080	30315.830	651.92
E + S (T5)	4460.250	23120.000	27580.250	27418.560	-161.690	-0.59
E (T6)	4460.250	12190.000	16650.250	28364.160	11713.910	70.35
S (T7)	4460.250	10930.000	15390.250	20256.960	4866.710	31.62
Suelo descubierto (T8)	4460.250	0.000	4460.250	12347.520	7887.270	176.84

B: Incorporación de brócoli

E: Incorporación de estiércol

S: Solarización

Entre lo más resaltante del análisis económico para cada tratamiento se puede observar que el tratamiento que alcanzó el mayor índice de rentabilidad fue en el que se usó la incorporación de residuos de brócoli (T4), con 651.92 %, en segundo lugar está el tratamiento Suelo descubierto (T8) con un índice de rentabilidad de 176.84 %, en tercer lugar se puede observar al tratamiento incorporación de residuos de brócoli + incorporación de estiércol (T2) con un índice de rentabilidad de 116.66%. El tratamiento que ocupa el último lugar en el análisis económico es el tratamiento incorporación de estiércol + solarización (T5) con un índice de rentabilidad de - 0.59%.

Como se mencionó previamente, en el análisis del rendimiento promedio acumulado de cada tratamiento, el tratamiento Incorporación de residuos de brócoli + incorporación de estiércol + solarización (T1) obtuvo el mayor rendimiento con 69.053 t/Ha. y es estadísticamente similar a los tratamientos 2, 3, 4, 5 y 6. Al ser estadísticamente iguales todos estos tratamientos mencionados, se puede usar cualquiera de ellos para incrementar el rendimiento del cultivo de albahaca, asimismo si se desea recomendar específicamente un tratamiento se debe tomar en cuenta el análisis de rentabilidad ya que este índice nos señala cuanto es la utilidad en base al costo total que toma instalar cada tratamiento, Por este motivo el mejor tratamiento es Incorporación de residuos de brócoli (T4), ya que posee la mejor rentabilidad. En segundo lugar sería el tratamiento Incorporación de residuos de brócoli + incorporación de estiércol (T2) con un índice de rentabilidad de 116.66 %.

Para finalizar, el control de las enfermedades por incorporación de residuos de cosecha de especie de la familia *Brassicaceae* implica una diversidad de factores, incluyendo la bioactividad de los compuestos en el tejido, la fitotoxicidad para el cultivo que se quiere controlar y el efecto sobre las comunidades microbianas en el suelo. Por lo tanto, se recomienda que su aplicación sea precedida por bioensayos que confirmen la eficacia de la biofumigación en agroecosistemas específicos, debido a que cada agroecosistema es completamente diferente a otro.

VII. CONCLUSIONES

1. El menor ABCPE se obtuvo con el tratamiento: incorporación de residuos de brócoli + incorporación de estiércol + solarización (T1), el cual fue estadísticamente igual a todos los tratamientos, excepto al testigo: Suelo descubierto (T8).
2. Los factores incorporación de residuos de brócoli e incorporación de estiércol, resultaron significativos respecto al ABCPE en el cultivo de la albahaca.
3. El factor solarización resultó ser no significativo respecto al ABCPE en el cultivo de la albahaca.
4. Los patógenos aislados como los causantes de las pudriciones de cuello y raíces en el cultivo de albahaca en el presente trabajo de investigación fueron *Rhizoctonia solani* y *Fusarium solani*, de estos se presentó en mayor frecuencia el primer patógeno a nivel de todos los tratamientos.
5. Existe interacción positiva entre los tres factores: incorporación de residuos de brócoli, incorporación de estiércol y solarización, en el rendimiento del cultivo de albahaca.
6. El tratamiento incorporación de residuos de brócoli + incorporación de estiércol + solarización (T1) ocupó el primer lugar en rendimiento con un promedio de 69.053 t/Ha, y es similar estadísticamente a todos los tratamientos, excepto a los tratamientos: solarización (T7) y suelo descubierto (T8), los cuales tuvieron un rendimiento promedio de 35.168 y 21.437 t/Ha. respectivamente.
7. El tratamiento incorporación de residuos de brócoli (T4) fue el que alcanzó el mayor índice de rentabilidad con 651.92 %.

VIII. RECOMENDACIONES

- En lugares o fechas donde no se observe radiación solar alta es necesario realizar mayores investigaciones en el uso de una doble capa de plástico para la solarización del suelo, y poder llegar a la temperatura mínima de 47 °C para poder afirmar que se han eliminado los patógenos fungosos del suelo.
- Aislar y analizar los compuestos bioactivos (isotiocianatos y sus derivados) que presenta el cultivo de brócoli y su efecto deletéreo sobre los microorganismos del suelo.
- Estudiar la relación Actinomicetos/Hongos en el suelo que se obtiene con la incorporación de diversas enmiendas orgánicas y así tener un mejor parámetro del efecto supresivo contra los patógenos del suelo.
- Realizar investigaciones en las cuales se interaccione la incorporación de los residuos de brócoli con estiércoles de diversos orígenes, como estiércol de vacuno, de ovino, de aves, etc.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abu Irmaileh, B. 2004. Manejo de malezas para países en desarrollo: Solarización del suelo. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la Alimentación.
2. Agrios, G. N. 2005. Plant Pathology. 5th Edition. Published by Elsevier Academic Press. Burlington. MA. USA. 800 p.
3. Ascencion, L. C. 2012. Study of Brassica plant amendment to control cabbage (*Brassica oleracea* L. var. capitata) seedlings damping-off caused by *Rhizoctonia solani* Kuhn. Thesis of Magister Science. University of science and technology national pingtung. Taiwan. 105 p.
4. Ashworth L. J. and Gaona, J. 1982. Evaluation of clear polyethylene mulch for controlling *Verticillium* wilt in established pistachio nut groves. *Phytopathology* 72: 243-246.
5. Barakat R. M. 1987. Comparative effect of different colors of polyethylene tarping on soil borne pathogens. Thesis of Master of Science. University of Jordan. Amman. Jordania. 98 p.
6. Barnett H. and Hunter B. 1978. Illustrated genera of imperfect fungi. Fourth edition. Burgess publishing company. Minneapolis. USA. 218 p.
7. Barroso, L. y Jerez, E. 2002. Fenología de la albahaca blanca (*Ocimum basilicum* L.) cultivada en diferentes fechas de siembra. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. La Habana. Cuba. Cultivos tropicales. Vol. 23. N° 2. p. 43-46.
8. Bellostas, N., Sorensen, J. C. and Sorensen, H. 2004. Qualitative and quantitative evaluation of glucosinolates in cruciferous plants during their life cycles. *Agroindustria* 3(3): 5-10.
9. Brito-Vega H. y Espinosa-Victoria, D. 2010. Relaciones anisimbióticas y la transformación del material orgánico del suelo. En: Agricultura Orgánica. Primera edición. II Capítulo CONACYT. Durango, México. pp 29 – 50.

10. Campos A., Martínez A. y Torres J. 2005. Estudio del régimen de humedad de tres tipos de turba en la etapa de propagación de la albahaca (*Ocimum basilicum* L.). *Agronomía Colombiana* 23 (1): 154 – 164.
11. Cansing J. y Santillán, N. 2012. Producción de la albahaca dulce (*Ocimum basilicum* L.) utilizando cuatro densidades y dos tipos de aplicación de harina de carne como fertilizante. Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo en el grado académico de Licenciatura. Departamento de ciencia y producción agropecuaria. Zamorano, Honduras. 23 p.
12. Coello A, Trujillo L. y Perera S. 2010. Informe de la parcela demostrativa sobre distintos métodos de biodesinfección de suelos. Servicio de Agricultura del Cabildo de Tenerife. España. 8 p.

http://www.agrocabildo.org/publicaciones_detalle.asp?id=254
13. Cohen M., Yamasaki H., and M. Mazzola. 2005. *Brassica napus* seed meal soil amendment modifies microbial community structure, nitric oxide production and incidence of *Rhizoctonia* root rot. *Soil Biology & Biochemistry* 37(1): 1215 – 1227.
14. Cohen, M. F. and Mazzola M. 2006. Effects of *Brassica napus* seed meal amendment on soil population of resident bacteria and *Naegleria americana*, and the unsuitability of arachidonic acid as a protozoan-specific marker. *Journal of Protozoology Research* 16(1): 16-25.
15. Cole T. y Hilger H. 2010. Filogenética de las angiospermas. Herbario virtual. Heidelberg y Berlín. Alemania. 1 p.

http://herbario.udistrital.edu.co/herbario/images/stories/apg_2010.pdf
16. Cruz M., García J., Marrero P. y Ruiz F. 2008. Influencia de los factores agroclimáticos en la productividad de albahaca (*Ocimum Basilicum*) en una zona árida de baja california sur, México. *Revista ciencias técnicas agropecuarias*, volumen 17, número 1. La Habana, Cuba. Págs. 44 – 47.

17. De Boer, W. P., Verheggen, P. J., Klein, G. A. Kowalchuk, and Van Veen J. A. 2003. Microbial Community Composition Affects Soil Fungistasis. *Applied and Environmental Microbiology* 69(2): 835-844.
18. De Vay, J. J. 1990. Historical review and principles of soil solarization. In: De Vay, J.E., Stapleton, J.J. & Elmore, C.L., eds. Proc. of the First Int. Conference on Soil Solarization, Amman, Jordan, 19-25 February 1990. FAO Plant Protection and Production Paper No. 109. Rome. Italy. 1991.
19. Dhingra, O., Costa M., Silva G. J., Mizubuti J. S., and Mizubuti E. 2004. Essential Oil of Mustard to Control *Rhizoctonia solani* Causing Seedling Damping Off and Seedling Blight in Nursery. *Fitopatologia Brasileira* 29(1): 683-686.
20. Díaz Francisco. 2007. Efecto de la solarización para el control de enfermedades del suelo en semilleros artesanales en el valle de Comayagua. Fundación Hondureña de Investigación agrícola. Cortes. Honduras. 13 p.
21. Elmore C., Stapleton J., Bell C., Devay J. 1997. Soil solarization, a nonpesticidal method for controlling diseases, nematodes and weeds. Division of agriculture and natural resources. University of California. California. USA. 35 p.
22. Escandón C., Mendoza A., Soto R., Vega G. S.f. Instructivo técnico del cultivo de la albahaca (*Ocimum basilicum* L.). Estación Experimental de Aceites Esenciales, unión de jabonería y perfumería. Cuba. 4 p.
23. Fahey, J. W., Zalcmann A. T., and Talalay P. 2001. The Chemical Diversity and Distribution of Glucosinolates and Isothiocyanates Among Plants. *Phytochemistry* 56(1): 5 - 51.
24. Fretes F. 2010. Plantas medicinales y aromáticas. Una alternativa de producción comercial. Agencia del gobierno de los Estados Unidos para el desarrollo internacional (USAID). Asunción, Paraguay. 60 p.
25. Garbeva, P., Gera W. H., Termorshuizen A. J., Kowalchuk G. A., and De Boer W. 2011. Fungistasis and general soil biostasis – A new synthesis. *Soil Biology and Biochemistry* 43: 469-477.

26. Gimsing A. L. and Kirkegaard J. A. 2006. Glucosinolates and isothiocyanate concentration in soil following incorporation of Brassica biofumigants. *Soil Biology and Biochemistry* 38(1): 2255-2264.
27. Gimsing A. L. and Kirkegaard J. A. 2009. Glucosinolates and Biofumigation: Fate of glucosinolates and their hydrolysis products in soil. *Phytochemistry Reviews* 8(1): 299-310.
28. Goites E. 2008. Manual de cultivos para la huerta orgánica familiar. 1ra edición. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria – INTA. Buenos Aires. Argentina. 640 p.
29. Goodman R., Király Z., Wood K. 1986. The biochemistry and physiology of plant disease. University of Missouri Press. Columbia. Missouri. USA. 432 pp.
30. Hartz T. K., Johnstone P. R., Miyao E. M., and Davis R. M. 2005. Mustard Cover Crops are Ineffective in Suppressing Soilborne Disease of Improving Processing Tomato Yield. *HortScience* 40(7): 2016-2019.
31. Hechevarría I., Rodríguez H., Mederos D. 2002. Efectos alelopáticos de restos de diferentes especies de plantas medicinales sobre la albahaca (*Ocimum basilicum* L.) en condiciones de laboratorio. *Revista cubana plantas medicinales* 7(2):67-72.
32. Hirai N. 2003. Application of Allelochemicals to Agriculture. *Biological Science in Space* 17 (1): 4 – 5.
33. Ishimoto H., Fukushi Y., Yoshida T., and Tahara S. 2000. *Rhizopus* and *Fusarium* are selected as dominant fungal genera in rhizospheres of *Brassicaceae*. *Journal of Chemical Ecology* 26(10): 2387-2399.
34. Johnson A. W., Golden A. M., Auld D. L., and Sumner D. R. 1992. Effect of rapeseed and vetch as green manure crops and fallow on nematodes and soil-borne pathogens. *Journal of Nematology* 24(1):117-126.
35. Katan J., Greenberger A., Alon H. and Grinstein A. 1976. Solar heating by polyethylene mulching for the control of diseases caused by soilborne pathogens. *Phytopathology*. 66: 683-688.

36. Katan J. 1981. Solar heating (solarization) of soil for control of soil borne pests. Annual Review of Phytopathology 19: 211-236.
37. Katan J. 1987. Soil solarization In: Innovative approaches to plant disease management, I. Chet, ed., John Wiley and Sons, New York, USA. pp. 77-105
38. Kim S., Shigeki J., and Ishii G. 2004. Isolation and structural elucidation of 4-(β -D-Glucopyranosyldisulfanyl) butyl Glucosinolate from leaves of rocket salad (*Eruca sativa L.*) and its antioxidative activity. Bioscience, Biotechnology and Biochemistry 68(12): 2444-2450.
39. Kissen R., Rossiter J. T., and Bones A. M. 2009. The mustard oil bom: not so easy to assemble. Localization, expression and distribution of the components of the myrosinase enzyme system. Phytochemistry reviews 8(1): 69-86.
40. Kumar P. 2005. Biofumigation, concept note and compilation of session guides on biofumigation. Inter-country programme for vegetable IPM in South and SE Asia Phase II. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
41. Laegdsmand M., Gimging A. L., Strobel B. W., Sorensen J. C., Jacobsen O. H., Christian H., and Hansen B. 2007. Leaching of isothiocyanates through intact soil following simulated biofumigation. Plant Soil 291(1): 81-92.
42. Larking, R. P. and Griffin T. S. 2007. Control of soilborne potato diseases using Brassica green manures. Crop Protection 26(1): 1067-1077.
43. Lazzeri L., Leoni O., and Manici L. M. 2004. Biocidal plant dried for biofumigation. Industrial crop and Products 20(1): 59–65.
44. Lazzeri, L., Curto G., Dallavalle E., D'Avino L., Malaguti L., Santi R., and Patalano G. 2009. Nematicidal efficacy of biofumigation by defatted *Brassicaceae* meal for control of *Meloidogyne incognita* (Kofoid et White) Chitw. on a Full Field Zucchini Crop. Journal of Sustainable Agriculture, 33: 349-358.
45. Lizazo I., Díez R., López P., Díaz L., Bello P. 2010. Biodesinfección en suelos en producción agrícola. Centro de Ciencias Ambientales. Monografía. Madrid, España. 68 p.

46. López A. 2005. Prueba de adaptación y rendimiento de cuatro variedades de albahaca (*Ocimum basilicum*) manejadas orgánicamente con cuatro niveles de Bokashi. Proyecto de Investigación de Ing. Agropecuario. Sangolqui, Ecuador. 116 p.
47. Lucas G. 1965. Diseases of Tabaco. 2da. Ed. The scare crow press Inc. New York. London. Pp 241 – 261.
48. Lucas, W. J., Groover, A., Lichtenberger, R., Furuta, K., Yadav, S.-R., Helariutta, Y., He, X.-Q., Fukuda, H., Kang, J., Brady, S. M., Patrick, J. W., Sperry, J., Yoshida, A., López-Millán, A.-F., Grusak, M. A. and Kachroo, P. 2013. The Plant Vascular System: Evolution, Development and Functions. *Journal of Integrative Plant Biology*, 55: 294–388.
49. Lucero-Flores J.M., Sánchez-Verdugo C. 2012. Nichos de mercado de especies aromáticas orgánicas tipo gourmet. Edit. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, Baja California Sur, México. 72 p.
50. Macias F. A., Marin D., Oliveros-Bastidas A., Varela R. M., Simonet A. M., Carrera C., and Molinillo J. M. G. 2003. Allelopathy as a new strategy for sustainable ecosystems development. *Biological Science in Space* 17(1): 18-23.
51. Mahrer Y. 1979: Prediction of Soil Temperatures of a Soil Mulched with Transparent Polyethylene. *J. Appl. Meteor.*, 18, 1263–1267.
52. Martínez P., Gomez D., Cebolla V. y Del Busto A. 1986 La horticultura española en la C.E. Capítulo 34. Sociedad Española de Ciencias Hortícolas. España. 20 p.
53. Mazzola M., Granatstein D. M., Elfving D. C., and Mullinix K. 2001. Suppression of specific apple root pathogens by *Brassica napus* seed meal amendment regardless of glucosinolate content. *Phytopathology* 91(7): 673-679.
54. Minag. 2013. Producción hortofrutícola 2013. Ministerio de agricultura. Lima, Perú. 86 p.
55. Montes M., Muñoz O., Wilkomirsky T. 2004. Plantas medicinales de uso en Chile. Segunda Edición. Universidad de Chile. Chile. 315 p.

56. Morra, M. J. and Kirkegaard J. A. 2002. Isothiocyanate release from soil-incorporated brassica tissues. *Soil Biology and Biochemistry* 34: 1683-1690.
57. Motisi N. F., Montfort V., Faloya P., Lucas and Dore T. 2009. Growing *Brassica juncea* as a cover crop, then incorporating its residues provide complementary control of *Rhizoctonia* root rot of sugar beet. *Field Crop Research* 113(1): 238-245.
58. Njoroge S. M., Riley M. B., and Keinath A. P. 2008. Effect of incorporation of *Brassica spp.* residues on population densities of soilborne microorganisms and on damping-off and *Fusarium* Wilt of watermelon. *Plant Disease* 92(2): 287-294.
59. Olivier A. R., Uda Y., Bamg S. W., Honjo H., Fukami M., and Fukui R. 2006. Dried residues of specific cruciferous plants incorporated into soil can suppress the growth of *Ralstonia solanacearum*, Independently of glucosinolate content of the residues. *Microbes and Environments* 21(4): 216-226.
60. Poulsen J. L., Gimsing A. L., Halkier B. A., Bjarnholt N., and Bruun H. C. 2008. Mineralization of benzyl glucosinolate and its hydrolysis product the biofumigant benzyl isothiocyanate in soil. *Soil Biology and Biochemistry* 40(1): 135-141.
61. Prestera T., Fahey J. W., Holtzclaw W. D., Abeygunawardana C., Kachinski J. L., and Talalay P. 1996. Comprehensive chromatographic and spectroscopic methods for the separation and identification of intact glucosinolates. *Analytical Biochemistry* 239(1): 168-179.
62. Quiche S. 2012. Efecto de la fertilización N – P – K y la aplicación de hierro en el rendimiento de Brócoli (*Brassica Oleraces L.*) cv. Lucky, bajo R.L.A.F: Goteo. Tesis para el título de Ingeniero Agrónomo. UNALM. Lima, Perú. 87 p.
63. Rakariyatham N. and Sakorn P. 2002. Biodegradation of glucosinolates in brown mustard seed meal (*Brassica juncea*) by *Aspergillus sp.* NR-4201 in liquid and solid-state cultures. *Biodegradation* 13: 395-399.
64. Ripanti F., Calderón L., Arrieta Y., Ramírez G., León J., Ovalles Y., Perrin R. y Petit J. 2009. Efectividad de la solarización en el control del damping-off en el vivero Santa María, de la Universidad de los Andes, Mérida – Venezuela. *Agricultura andina*, volumen 16. Pág. 3 – 27.

65. Robards A., Lucas W. 1990. Plasmodesmata. Annual review of plant physiology and plant molecular biology, 41: 369-419
66. Rosa E. A., Heaney R. K., Fenwich G. R., and Portas C. A. 1997. Glucosinolates in crop plants. Horticultural Reviews 19(1): 99-215.
67. Rumberger A. and Marschner P. 2004. 2-Phenylethylisothiocyanate concentration and bacterial community composition in the rhizosphere of field-grown canola. Functional Plant Biology 31(6) 623-631.
68. Salisbury F. B. y Ross C. 1980. Plant physiology. Wadsworth publishing company. California. USA. 578 p.
69. Schlatter D., Fubuh A., Xiao K., Hernandez D., Hobbie S., and Kinkel L. 2009. Resource amendments influence density and competitive phenotypes of Streptomycetes in Soil. Microbial Ecology 57(1): 413-420.
70. Siura S., Ugás R. 1993. Cultivo de hierbas aromáticas y medicinales. Folleto divulgativo. Proyecto TTA. UNALM. 36 p.
71. Sneh B., Burpee, Ogoshi A. 1992. Identification of *Rhizoctonia* species. APS. PRESS. USA. 39 – 42 p.
72. Smolinska U., Morra M. J., Knudsen G. R., and Brown P. D. 1997. Toxicity of Glucosinolate degradation products from *Brassica napus* seed meal toward *Aphanomyces euteiches* f. sp. pisi. Phytopathology 87(1): 77 – 82.
73. Stapleton J. J., Quick J. y De Vay, J. E. 1985. Soil solarization: effect on soil properties, fertilization, and plant growth. Soil biology and biochemistry 17: 369-373.
74. Stapleton J.J. y De Vay, J.E. 1986. Soil solarization: a non-chemical approach for management of plant pathogens and pests. Crop Protection 5: 90-198.
75. Stapleton J. J. 1990. Physical effects of soil solarization-thermal inactivation of crop pests and pathogens and other soil changes caused by solarization. In: De Vay J. E., Stapleton, J. J. & Elmore C. L., eds. Proc. of the First Int. Conference on Soil Solarization. FAO, Plant Protection and Production Paper No. 109. Rome. Italy. 19 – 25 p.

76. Stapleton J. J., De Vay J. E. y Elmore C. L. eds. 1997. Proc. of the Second Int. Conference on Soil Solarization and Integrated Management of Soil-borne pests. FAO Plant protection and production paper No.147. Rome, Italy. 16 – 21 p.
77. Stapleton J., Prather T., Mallek S., Ruiz T. y Elmore C. 2002. High temperature solarization for production of weed-free container soils and potting mixes. UC Center for Pest management Research and Education for partial support of these studies. University of California. California. Estados Unidos. 4 p.
78. Stephens P. M., Davoren C. W., and Wicks T. 1999. Effect of methyl bromide, metham sodium and the biofumigants Indian mustard and canola on the incidence of soilborne fungal pathogens and growth of grapevine nursery stock. *Australasian Plant Pathology* 28(3): 187-196.
79. Stevens C., Khan V., Rodriguez-Cabana R., Ploper L., Backman P., Collins D., Brown J., Wilson M. y Igwegbe E. 2003. Integration of soil solarization with chemical, biological y cultural control for the management of soilborne diseases of vegetables. *Plant and soil*. Kluwer academic Publisher. Holanda. 253: 493 – 506.
80. Thapar K. 2013. Soil Solarization: Eco-friendly Technology for Farmers in Agriculture for Pest Management. 2nd International Conference on Advances in Biological and Pharmaceutical Sciences (ICABPS'2013). Hong Kong. 3 p.
81. Toussoun T., Nelson P. 1976. A pictorial guide to the identification of *Fusarium* species according to the taxonomic system of Snyder and Hansen. Second Edition. The Pennsylvania State University Press, University Park and London. 43 p.
82. Troyer J. K., Stephenson K. K., and Fahey J. W. 2001. Analysis of glucosinolates from broccoli and other cruciferous vegetables by hydrophilic interaction liquid chromatography. *Journal of chromatography A* 919(1): 299-304.
83. Van Etten C. H., McGrew C. E., and Daxenbichler M. E. 1974. Glucosinolate determination in cruciferous seeds and meals by measurement of enzymatically released glucose. *Agricultural and Food Chemistry* 22(3) 483-490.
84. Vapnek, J., Pagotto I., and Kwoka M. 2007. Designing national pesticide legislation. Development Law Service FAO legal office. Rome. Italy. 30 p.

85. Vares L., Iglesias C.; Palmeras D. y Díaz M. 2010. La solarización, una posibilidad sanitaria en la zona productora de ajos de La Mancha conquense. Escuela técnica de ingeniería técnica agrícola (UPM). España, Madrid. Revista Vida rural. 4 p.
86. Wade K. L., Garrard I. J., and Fahey J. W. 2007. Improved hydrophilic interaction chromatography method for the identification and quantification of glucosinolates. *Journal of Chromatography A* 1154(1): 469-472.
87. Wang A. S., Hu P., Hollister E. B., Rothlisberger K. L., Somenahally A., Provin T. L., Hons F. M., and Gentry T. J. 2011. Impact of indian mustard (*Brassica juncea*) and flax (*Linum usitatissimum*) seed meal applications on soil carbon, nitrogen, and microbial dynamics. *Applied and environmental soil science* 20(12): 1-14
88. You M. P. and Sivasithamparam K. 1995. Changes in microbial population of an avocado plantation mulch suppressive of *Phytophthora cinnamomi*. *Applied Soil Ecology* 2: 33-43.

X. ANEXOS

Anexo N° 1. Análisis del estiércol de equino utilizado en la incorporación

Características	Estiércol
pH	8.35
C.E. (1:1) dS/m	7.74
M.O. %	66.14
N %	0.99
P ₂ O ₅ %	0.87
K ₂ O %	1.86
CaO %	1.71
MgO %	0.48
Hd %	25.82
Na %	0.33

Laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes. UNALM 2011

Anexo N° 2. Prueba de germinación de las semillas de albahaca

	Porcentaje de germinación		
	R1	R2	R3
5 DDS	0	27	11
7 DDS	30	12	18
9 DDS	8	3	7
10 DDS	3	0	0
12 DDS	1	1	0
14 DDS	1	0	1
Total	43	43	37
Porcentaje	86 %	86 %	74 %

Anexo N° 3. Análisis de variancia de la temperatura del suelo en el período de instalación de los tratamientos en el campo

Fuente de Variación	G.L	SC	CM	Fcal
Bloques	5	37.93	7.59	2.01 n.s.
I. brócoli	1	50.94	50.94	13.52 *
Error (a)	5	18.83	3.77	
I. estiércol	1	8.92	8.92	2.04 n.s.
Brócoli x estiércol	1	0.022	0.022	0.02 n.s.
Error (b)	10	14.26	1.43	
Solarización	1	175.67	175.67	40.23 **
I. brócoli x solarización	1	17.29	17.28	3.96 n.s.
I. estiércol x solarización	1	0.43	0.43	0.10 n.s.
I. brócoli x estiércol x solarización	1	0.31	0.31	0.07 n.s.
Error (c)	20	87.33	4.37	
Total	47			

c.v. de la sub sub parcela= 7.33 %

Promedio general = 28.52

c.v. de la sub parcela = 4.19 %

c.v. de parcela = 6.81 %

Anexo N° 4. Promedios de la temperatura del suelo del factor incorporación de residuos de brócoli dependiente de la incorporación de estiércol de equino y solarización y prueba de Tukey al 0.05 de probabilidad

N°	Incorporación de residuos de brócoli	Temperatura de suelo	Agrupación
1	Con inc. de residuos de brócoli	29.55	A
2	Sin inc. de residuos de brócoli	27.49	B

Anexo N° 5. Promedios de la temperatura del suelo del factor solarización dependiente de la incorporación de residuos de brócoli y estiércol y prueba de Tukey al 0.05 de probabilidad

N°	Solarización	Temperatura de suelo	Agrupación
1	Con solarización	30.44	A
2	Sin solarización	26.61	B

Anexo N° 6. Datos originales de la incidencia de enfermedades fungosas del suelo en el cultivo de albahaca

Tratamientos	Bloques	0 DDS	7 DDS	11 DDS	15 DDS	19 DDS	23 DDS
T1	B1	0	9.756	13.333	14.583	14.583	14.583
	B2	0	17.391	18.519	17.241	16.667	16.667
	B3	0	12.903	16.667	17.949	17.500	17.500
	B4	0	13.158	16.279	20.000	19.565	19.565
	B5	0	8.696	15.385	16.364	17.857	17.857
	B6	0	10.638	13.462	16.071	16.071	16.071
T2	B1	0	13.953	16.667	17.308	16.667	16.667
	B2	0	10.000	15.556	16.667	18.367	18.367
	B3	0	10.526	19.048	22.727	22.222	22.222
	B4	0	11.628	16.667	19.231	20.755	20.755
	B5	0	12.500	15.789	17.500	19.512	19.512
	B6	0	12.500	17.778	19.149	18.750	18.750
T3	B1	0	13.158	16.279	17.391	19.149	19.149
	B2	0	13.043	15.686	16.667	18.519	18.519
	B3	0	15.000	20.000	23.404	25.000	25.000
	B4	0	16.216	20.000	21.429	20.930	20.930
	B5	0	14.286	18.750	20.588	20.588	20.588
	B6	0	10.526	16.667	20.455	20.000	20.000
T4	B1	0	14.286	15.625	18.182	20.588	20.588
	B2	0	14.815	19.355	20.588	20.000	20.000
	B3	0	15.385	20.000	21.212	23.529	23.529
	B4	0	18.182	23.077	24.138	23.333	23.333
	B5	0	10.714	18.182	19.444	21.622	21.622
	B6	0	40.000	26.667	22.222	22.222	22.222
T5	B1	0	19.231	22.581	20.588	23.529	23.529
	B2	0	18.519	22.581	23.529	26.471	26.471
	B3	0	14.286	17.021	19.608	21.569	21.569
	B4	0	13.889	19.512	20.000	22.222	22.222
	B5	0	13.333	19.608	21.818	23.636	23.636
	B6	0	13.333	19.444	22.500	22.500	22.500
T6	B1	0	16.216	21.429	23.913	26.087	26.087
	B2	0	24.000	23.333	25.000	28.125	28.125
	B3	0	15.385	24.138	21.875	24.242	24.242
	B4	0	16.667	22.727	25.000	25.000	25.000
	B5	0	22.222	30.000	27.273	27.273	27.273
	B6	0	19.355	22.222	23.077	25.000	25.000

continuación

T7	B1	0	18.182	24.324	27.500	26.829	26.829
	B2	0	23.333	25.714	26.316	26.316	26.316
	B3	0	23.333	29.412	30.556	29.730	29.730
	B4	0	20.000	26.087	26.923	30.769	30.769
	B5	0	19.048	24.000	28.571	28.571	28.571
	B6	0	15.385	23.333	28.125	30.303	30.303
T8	B1	0	28.571	33.333	34.783	32.000	32.000
	B2	0	66.667	44.444	40.000	36.364	36.364
	B3	0	41.667	40.000	35.294	33.333	33.333
	B4	0	29.412	33.333	33.333	30.769	30.769
	B5	0	22.727	26.923	31.034	30.000	30.000
	B6	0	30.000	33.333	34.615	32.143	32.143

Anexo N° 7. Datos originales de la incidencia de la enfermedad causada por *Rhizoctonia solani* en el cultivo de albahaca

Tratamientos	Bloques	0 DDS	7 DDS	11 DDS	15 DDS	19 DDS	23 DDS
T1	B1	0	4.878	8.889	10.417	10.417	10.417
	B2	0	13.043	11.111	10.345	10.000	10.000
	B3	0	9.677	13.889	15.385	15.000	15.000
	B4	0	7.895	11.628	15.556	15.217	15.217
	B5	0	6.522	11.538	12.727	14.286	14.286
	B6	0	6.383	9.615	12.500	12.500	12.500
T2	B1	0	6.977	10.417	11.538	11.111	11.111
	B2	0	7.500	11.111	12.500	14.286	14.286
	B3	0	5.263	9.524	11.364	11.111	11.111
	B4	0	6.977	10.417	13.462	15.094	15.094
	B5	0	6.250	10.526	12.500	14.634	14.634
	B6	0	7.500	11.111	12.766	12.500	12.500
T3	B1	0	7.895	9.302	10.870	12.766	12.766
	B2	0	8.696	11.765	12.963	14.815	14.815
	B3	0	10.000	15.556	19.149	20.833	20.833
	B4	0	8.108	12.500	14.286	13.953	13.953
	B5	0	10.714	12.500	14.706	14.706	14.706
	B6	0	7.895	11.905	15.909	15.556	15.556
T4	B1	0	10.714	12.500	15.152	17.647	17.647
	B2	0	7.407	9.677	11.765	11.429	11.429
	B3	0	7.692	13.333	15.152	17.647	17.647
	B4	0	9.091	15.385	17.241	16.667	16.667
	B5	0	7.143	12.121	13.889	16.216	16.216
	B6	0	20.000	13.333	11.111	11.111	11.111

continuación

T5	B1	0	11.538	12.903	11.765	14.706	14.706
	B2	0	11.111	16.129	17.647	20.588	20.588
	B3	0	7.143	10.638	13.725	15.686	15.686
	B4	0	5.556	9.756	11.111	13.333	13.333
	B5	0	6.667	9.804	10.909	12.727	12.727
	B6	0	6.667	11.111	15.000	15.000	15.000
T6	B1	0	10.811	14.286	15.217	17.391	17.391
	B2	0	16.000	16.667	18.750	21.875	21.875
	B3	0	11.538	17.241	15.625	18.182	18.182
	B4	0	11.111	18.182	20.833	20.833	20.833
	B5	0	11.111	15.000	13.636	13.636	13.636
	B6	0	9.677	13.889	15.385	17.500	17.500
T7	B1	0	12.121	16.216	20.000	19.512	19.512
	B2	0	13.333	17.143	18.421	18.421	18.421
	B3	0	16.667	20.588	22.222	21.622	21.622
	B4	0	15.000	21.739	23.077	26.923	26.923
	B5	0	9.524	16.000	21.429	21.429	21.429
	B6	0	7.692	13.333	18.750	21.212	21.212
T8	B1	0	14.286	22.222	26.087	24.000	24.000
	B2	0	33.333	22.222	20.000	18.182	18.182
	B3	0	25.000	26.667	23.529	22.222	22.222
	B4	0	17.647	23.810	25.000	23.077	23.077
	B5	0	13.636	19.231	24.138	23.333	23.333
	B6	0	20.000	25.000	26.923	25.000	25.000

**Anexo N° 8. Datos originales de la incidencia de la enfermedad causada por
Fusarium solani en el cultivo de albahaca**

Tratamientos	Bloques	0 DDS	7 DDS	11 DDS	15 DDS	19 DDS	23 DDS
T1	B1	0	4.878	4.444	4.167	4.167	4.167
	B2	0	4.348	7.407	6.897	6.667	6.667
	B3	0	3.226	2.778	2.564	2.500	2.500
	B4	0	5.263	4.651	4.444	4.348	4.348
	B5	0	2.174	3.846	3.636	3.571	3.571
	B6	0	4.255	3.846	3.571	3.571	3.571
T2	B1	0	6.977	6.250	5.769	5.556	5.556
	B2	0	2.500	4.444	4.167	4.082	4.082
	B3	0	5.263	9.524	11.364	11.111	11.111
	B4	0	4.651	6.250	5.769	5.660	5.660
	B5	0	6.250	5.263	5.000	4.878	4.878
	B6	0	5.000	6.667	6.383	6.250	6.250
T3	B1	0	5.263	6.977	6.522	6.383	6.383
	B2	0	4.348	3.922	3.704	3.704	3.704
	B3	0	5.000	4.444	4.255	4.167	4.167
	B4	0	8.108	7.500	7.143	6.977	6.977
	B5	0	3.571	6.250	5.882	5.882	5.882
	B6	0	2.632	4.762	4.545	4.444	4.444
T4	B1	0	3.571	3.125	3.030	2.941	2.941
	B2	0	7.407	9.677	8.824	8.571	8.571
	B3	0	7.692	6.667	6.061	5.882	5.882
	B4	0	9.091	7.692	6.897	6.667	6.667
	B5	0	3.571	6.061	5.556	5.405	5.405
	B6	0	20.000	13.333	11.111	11.111	11.111

continuación

T5	B1	0	7.692	9.677	8.824	8.824	8.824
	B2	0	7.407	6.452	5.882	5.882	5.882
	B3	0	7.143	6.383	5.882	5.882	5.882
	B4	0	8.333	9.756	8.889	8.889	8.889
	B5	0	6.667	9.804	10.909	10.909	10.909
	B6	0	6.667	8.333	7.500	7.500	7.500
T6	B1	0	5.405	7.143	8.696	8.696	8.696
	B2	0	8.000	6.667	6.250	6.250	6.250
	B3	0	3.846	6.897	6.250	6.061	6.061
	B4	0	5.556	4.545	4.167	4.167	4.167
	B5	0	11.111	15.000	13.636	13.636	13.636
	B6	0	9.677	8.333	7.692	7.500	7.500
T7	B1	0	6.061	8.108	7.500	7.317	7.317
	B2	0	10.000	8.571	7.895	7.895	7.895
	B3	0	6.667	8.824	8.333	8.108	8.108
	B4	0	5.000	4.348	3.846	3.846	3.846
	B5	0	9.524	8.000	7.143	7.143	7.143
	B6	0	7.692	10.000	9.375	9.091	9.091
T8	B1	0	14.286	11.111	8.696	8.000	8.000
	B2	0	33.333	22.222	20.000	18.182	18.182
	B3	0	16.667	13.333	11.765	11.111	11.111
	B4	0	11.765	9.524	8.333	7.692	7.692
	B5	0	9.091	7.692	6.897	6.667	6.667
	B6	0	10.000	8.333	7.692	7.143	7.143

Anexo N° 9. Datos transformados mediante la raíz cuadrada de los datos originales más uno de la incidencia de enfermedad causada por *Fusarium solani* en el cultivo de albahaca

Tratamientos	Bloques	0 DDS	7 DDS	11 DDS	15 DDS	19 DDS	23 DDS
T1	B1	0	2.424	2.333	2.273	2.273	2.273
	B2	0	2.313	2.900	2.810	2.769	2.769
	B3	0	2.056	1.944	1.888	1.871	1.871
	B4	0	2.503	2.377	2.333	2.313	2.313
	B5	0	1.782	2.201	2.153	2.138	2.138
	B6	0	2.292	2.201	2.138	2.138	2.138
T2	B1	0	2.824	2.693	2.602	2.560	2.560
	B2	0	1.871	2.333	2.273	2.254	2.254
	B3	0	2.503	3.244	3.516	3.480	3.480
	B4	0	2.377	2.693	2.602	2.581	2.581
	B5	0	2.693	2.503	2.449	2.424	2.424
	B6	0	2.449	2.769	2.717	2.693	2.693
T3	B1	0	2.503	2.824	2.743	2.717	2.717
	B2	0	2.313	2.218	2.169	2.169	2.169
	B3	0	2.449	2.333	2.292	2.273	2.273
	B4	0	3.018	2.915	2.854	2.824	2.824
	B5	0	2.138	2.693	2.623	2.623	2.623
	B6	0	1.906	2.400	2.355	2.333	2.333
T4	B1	0	2.138	2.031	2.008	1.985	1.985
	B2	0	2.900	3.268	3.134	3.094	3.094
	B3	0	2.948	2.769	2.657	2.623	2.623
	B4	0	3.177	2.948	2.810	2.769	2.769
	B5	0	2.138	2.657	2.560	2.531	2.531
	B6	0	4.583	3.786	3.480	3.480	3.480

continuación

T5	B1	0	2.948	3.268	3.134	3.134	3.134
	B2	0	2.900	2.730	2.623	2.623	2.623
	B3	0	2.854	2.717	2.623	2.623	2.623
	B4	0	3.055	3.280	3.145	3.145	3.145
	B5	0	2.769	3.287	3.451	3.451	3.451
	B6	0	2.769	3.055	2.915	2.915	2.915
T6	B1	0	2.531	2.854	3.114	3.114	3.114
	B2	0	3.000	2.769	2.693	2.693	2.693
	B3	0	2.201	2.810	2.693	2.657	2.657
	B4	0	2.560	2.355	2.273	2.273	2.273
	B5	0	3.480	4.000	3.826	3.826	3.826
	B6	0	3.268	3.055	2.948	2.915	2.915
T7	B1	0	2.657	3.018	2.915	2.884	2.884
	B2	0	3.317	3.094	2.982	2.982	2.982
	B3	0	2.769	3.134	3.055	3.018	3.018
	B4	0	2.449	2.313	2.201	2.201	2.201
	B5	0	3.244	3.000	2.854	2.854	2.854
	B6	0	2.948	3.317	3.221	3.177	3.177
T8	B1	0	3.910	3.480	3.114	3.000	3.000
	B2	0	5.859	4.819	4.583	4.380	4.380
	B3	0	4.203	3.786	3.573	3.480	3.480
	B4	0	3.573	3.244	3.055	2.948	2.948
	B5	0	3.177	2.948	2.810	2.769	2.769
	B6	0	3.317	3.055	2.948	2.854	2.854

Anexo N° 10. Área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) causada por las enfermedades fungosas del cultivo de albahaca.

Tratamientos	Bloques	0 DDS	7 DDS	11 DDS	15 DDS	19 DDS	23 DDS	ABCPE
T1	B1	0	34.146	46.179	55.833	58.333	58.333	252.825
	B2	0	60.870	71.820	71.520	67.816	66.667	338.692
	B3	0	45.161	59.140	69.231	70.897	70.000	314.429
	B4	0	46.053	58.874	72.558	79.130	78.261	334.876
	B5	0	30.435	48.161	63.497	68.442	71.429	281.962
	B6	0	37.234	48.200	59.066	64.286	64.286	273.071
T2	B1	0	48.837	61.240	67.949	67.949	66.667	312.642
	B2	0	35.000	51.111	64.444	70.068	73.469	294.093
	B3	0	36.842	59.148	83.550	89.899	88.889	358.328
	B4	0	40.698	56.589	71.795	79.971	83.019	332.072
	B5	0	43.750	56.579	66.579	74.024	78.049	318.981
	B6	0	43.750	60.556	73.853	75.798	75.000	328.957
T3	B1	0	46.053	58.874	67.341	73.080	76.596	321.944
	B2	0	45.652	57.460	64.706	70.370	74.074	312.262
	B3	0	52.500	70.000	86.809	96.809	100.000	406.117
	B4	0	56.757	72.432	82.857	84.718	83.721	380.485
	B5	0	50.000	66.071	78.676	82.353	82.353	359.454
	B6	0	36.842	54.386	74.242	80.909	80.000	326.380
T4	B1	0	50.000	59.821	67.614	77.540	82.353	337.328
	B2	0	51.852	68.339	79.886	81.176	80.000	361.254
	B3	0	53.846	70.769	82.424	89.483	94.118	390.640
	B4	0	63.636	82.517	94.430	94.943	93.333	428.859
	B5	0	37.500	57.792	75.253	82.132	86.486	339.163
	B6	0	140.000	133.333	97.778	88.889	88.889	548.889

continuación

T5	B1	0	67.308	83.623	86.338	88.235	94.118	419.621
	B2	0	64.815	82.198	92.220	100.000	105.882	445.116
	B3	0	50.000	62.614	73.258	82.353	86.275	354.500
	B4	0	48.611	66.802	79.024	84.444	88.889	367.771
	B5	0	46.667	65.882	82.852	90.909	94.545	380.856
	B6	0	46.667	65.556	83.889	90.000	90.000	376.111
T6	B1	0	56.757	75.290	90.683	100.000	104.348	427.077
	B2	0	84.000	94.667	96.667	106.250	112.500	494.083
	B3	0	53.846	79.045	92.026	92.235	96.970	414.122
	B4	0	58.333	78.788	95.455	100.000	100.000	432.576
	B5	0	77.778	104.444	114.545	109.091	109.091	514.949
	B6	0	67.742	83.154	90.598	96.154	100.000	437.648
T7	B1	0	63.636	85.012	103.649	108.659	107.317	468.273
	B2	0	81.667	98.095	104.060	105.263	105.263	494.348
	B3	0	81.667	105.490	119.935	120.571	118.919	546.581
	B4	0	70.000	92.174	106.020	115.385	123.077	506.656
	B5	0	66.667	86.095	105.143	114.286	114.286	486.476
	B6	0	53.846	77.436	102.917	116.856	121.212	472.267
T8	B1	0	100.000	123.810	136.232	133.565	128.000	621.607
	B2	0	233.333	222.222	168.889	152.727	145.455	922.626
	B3	0	145.833	163.333	150.588	137.255	133.333	730.343
	B4	0	102.941	125.490	133.333	128.205	123.077	613.047
	B5	0	79.545	99.301	115.915	122.069	120.000	536.830
	B6	0	105.000	126.667	135.897	133.516	128.571	629.652

Anexo N° 11. Área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) causada por *Rhizoctonia solani* en el cultivo de albahaca.

Tratamientos	Bloques	0 DDS	7 DDS	11 DDS	15 DDS	19 DDS	23 DDS	ABCPE
T1	B1	0	17.073	27.534	38.611	41.667	41.667	166.551
	B2	0	45.652	48.309	42.912	40.690	40.000	217.563
	B3	0	33.871	47.133	58.547	60.769	60.000	260.320
	B4	0	27.632	39.045	54.367	61.546	60.870	243.459
	B5	0	22.826	36.120	48.531	54.026	57.143	218.647
	B6	0	22.340	31.997	44.231	50.000	50.000	198.568
T2	B1	0	24.419	34.787	43.910	45.299	44.444	192.859
	B2	0	26.250	37.222	47.222	53.571	57.143	221.409
	B3	0	18.421	29.574	41.775	44.949	44.444	179.164
	B4	0	24.419	34.787	47.756	57.112	60.377	224.451
	B5	0	21.875	33.553	46.053	54.268	58.537	214.285
	B6	0	26.250	37.222	47.754	50.532	50.000	211.758
T3	B1	0	27.632	34.394	40.344	47.271	51.064	200.704
	B2	0	30.435	40.921	49.455	55.556	59.259	235.626
	B3	0	35.000	51.111	69.409	79.965	83.333	318.818
	B4	0	28.378	41.216	53.571	56.478	55.814	235.458
	B5	0	37.500	46.429	54.412	58.824	58.824	255.987
	B6	0	27.632	39.599	55.628	62.929	62.222	248.010
T4	B1	0	37.500	46.429	55.303	65.597	70.588	275.417
	B2	0	25.926	34.170	42.884	46.387	45.714	195.081
	B3	0	26.923	42.051	56.970	65.597	70.588	262.129
	B4	0	31.818	48.951	65.252	67.816	66.667	280.504
	B5	0	25.000	38.528	52.020	60.210	64.865	240.623
	B6	0	70.000	66.667	48.889	44.444	44.444	274.444

continuación

T5	B1	0	40.385	48.883	49.336	52.941	58.824	250.369
	B2	0	38.889	54.480	67.552	76.471	82.353	319.745
	B3	0	25.000	35.562	48.728	58.824	62.745	230.859
	B4	0	19.444	30.623	41.734	48.889	53.333	194.024
	B5	0	23.333	32.941	41.426	47.273	50.909	195.882
	B6	0	23.333	35.556	52.222	60.000	60.000	231.111
T6	B1	0	37.838	50.193	59.006	65.217	69.565	281.820
	B2	0	56.000	65.333	70.833	81.250	87.500	360.917
	B3	0	40.385	57.560	65.733	67.614	72.727	304.018
	B4	0	38.889	58.586	78.030	83.333	83.333	342.172
	B5	0	38.889	52.222	57.273	54.545	54.545	257.475
	B6	0	33.871	47.133	58.547	65.769	70.000	275.320
T7	B1	0	42.424	56.675	72.432	79.024	78.049	328.605
	B2	0	46.667	60.952	71.128	73.684	73.684	326.115
	B3	0	58.333	74.510	85.621	87.688	86.486	392.638
	B4	0	52.500	73.478	89.632	100.000	107.692	423.303
	B5	0	33.333	51.048	74.857	85.714	85.714	330.667
	B6	0	26.923	42.051	64.167	79.924	84.848	297.914
T8	B1	0	50.000	73.016	96.618	100.174	96.000	415.808
	B2	0	116.667	111.111	84.444	76.364	72.727	461.313
	B3	0	87.500	103.333	100.392	91.503	88.889	471.618
	B4	0	61.765	82.913	97.619	96.154	92.308	430.758
	B5	0	47.727	65.734	86.737	94.943	93.333	388.475
	B6	0	70.000	90.000	103.846	103.846	100.000	467.692

Anexo N° 12. Área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) causada por *Fusarium solani* en el cultivo de albahaca.

Tratamientos	Bloques	0 DDS	7 DDS	11 DDS	15 DDS	19 DDS	23 DDS	ABCPE
T1	B1	0	8.486	9.516	9.213	9.092	9.092	45.398
	B2	0	8.094	10.424	11.419	11.158	11.075	52.171
	B3	0	7.195	7.999	7.663	7.517	7.483	37.857
	B4	0	8.759	9.760	9.421	9.292	9.250	46.482
	B5	0	6.235	7.966	8.709	8.583	8.552	40.046
	B6	0	8.024	8.988	8.679	8.552	8.552	42.795
T2	B1	0	9.885	11.034	10.589	10.324	10.242	52.073
	B2	0	6.548	8.408	9.213	9.055	9.017	42.240
	B3	0	8.759	11.493	13.520	13.993	13.920	61.686
	B4	0	8.320	10.140	10.589	10.365	10.323	49.737
	B5	0	9.424	10.390	9.904	9.748	9.698	49.164
	B6	0	8.573	10.437	10.972	10.819	10.770	51.572
T3	B1	0	8.759	10.654	11.134	10.919	10.869	52.335
	B2	0	8.094	9.062	8.775	8.675	8.675	43.281
	B3	0	8.573	9.566	9.252	9.131	9.092	45.614
	B4	0	10.563	11.867	11.538	11.356	11.297	56.621
	B5	0	7.483	9.661	10.632	10.494	10.494	48.764
	B6	0	6.670	8.612	9.511	9.376	9.333	43.502
T4	B1	0	7.483	8.338	8.077	7.986	7.941	39.825
	B2	0	10.148	12.334	12.804	12.456	12.375	60.118
	B3	0	10.319	11.434	10.852	10.561	10.494	53.660
	B4	0	11.118	12.250	11.517	11.158	11.075	57.118
	B5	0	7.483	9.591	10.435	10.183	10.124	47.815
	B6	0	16.039	16.737	14.532	13.920	13.920	75.149

continuación

T5	B1	0	10.319	12.432	12.804	12.537	12.537	60.629
	B2	0	10.148	11.259	10.706	10.494	10.494	53.101
	B3	0	9.987	11.141	10.681	10.494	10.494	52.798
	B4	0	10.693	12.669	12.849	12.579	12.579	61.368
	B5	0	9.691	12.112	13.476	13.804	13.804	62.886
	B6	0	9.691	11.648	11.941	11.662	11.662	56.604
T6	B1	0	8.858	10.769	11.935	12.455	12.455	56.472
	B2	0	10.500	11.538	10.923	10.770	10.770	54.501
	B3	0	7.705	10.023	11.005	10.700	10.629	50.061
	B4	0	8.961	9.831	9.256	9.092	9.092	46.232
	B5	0	12.180	14.960	15.652	15.303	15.303	73.398
	B6	0	11.437	12.645	12.007	11.727	11.662	59.478
T7	B1	0	9.300	11.350	11.867	11.599	11.536	55.652
	B2	0	11.608	12.821	12.152	11.930	11.930	60.441
	B3	0	9.691	11.806	12.379	12.146	12.072	58.094
	B4	0	8.573	9.524	9.028	8.806	8.806	44.736
	B5	0	11.354	12.488	11.707	11.414	11.414	58.378
	B6	0	10.319	12.530	13.075	12.795	12.706	61.426
T8	B1	0	13.684	14.780	13.188	12.228	12.000	65.879
	B2	0	20.508	21.357	18.803	17.925	17.519	96.111
	B3	0	14.711	15.978	14.717	14.106	13.920	73.433
	B4	0	12.505	13.634	12.598	12.007	11.793	62.536
	B5	0	11.118	12.250	11.517	11.158	11.075	57.118
	B6	0	11.608	12.743	12.007	11.604	11.414	59.376

Anexo N° 13. Análisis de variancia para el área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) de las enfermedades fungosas del suelo en el cultivo de albahaca

Fuente de Variación	G.L	SC	CM	Fcal
Bloques	5	125.95	4289.3225	0.67 n.s.
I. brócoli	1	307109.2867	307109.29	47.83 **
Error (a)	5	32103.3819	6420.6764	
I. estiércol	1	155966.0223	155966.02	46.21 **
Brócoli x estiércol	1	29622.6442	29622.644	8.78 **
Error (b)	10	33753.8765	3375.3876	
Solarización	1	75580.3213	75580.321	21.30**
I. brócoli x solarización	1	21137.561	21137.561	5.96 **
I. estiércol x solarización	1	15169.0785	15169.079	4.28 n.s.
I. brócoli x estiércol x solarización	1	6365.2848	6365.2848	1.79 n.s.
Error (c)	20	70965.8703	3548.2935	
Total	47			

c.v. de la sub sub parcela= 18.90 %

Promedio general = 423.89

c.v. de la sub parcela = 13.71 %

c.v. de parcela = 14.05 %

Anexo N° 14. Promedios del área bajo la curva del progreso de la enfermedad de las enfermedades fungosas del suelo del factor incorporación de residuos de brócoli dependiente de la incorporación de estiércol y solarización, y prueba de Tukey al 0.05 de probabilidad

N°	Inc. de residuos de brócoli	ABCPE	Agrupación
1	Sin incorporación de residuos de brócoli	503.88	A
2	Con incorporación de residuos de brócoli	343.9	B

Anexo N° 15. Promedios del área bajo la curva del progreso de la enfermedad de las enfermedades fungosas del suelo del factor incorporación de estiércol dependiente de la incorporación de residuos de brócoli y solarización, y prueba de Tukey al 0.05 de probabilidad

N°	Estiércol	ABCPE	Agrupación
1	Sin incorporación de estiércol	480.9	A
2	Con incorporación de estiércol	366.89	B

Anexo N° 16. Promedios del área bajo la curva del progreso de la enfermedad de las enfermedades fungosas del suelo del factor solarización dependiente de la incorporación de residuos de brócoli e incorporación de estiércol, y prueba de Tukey al 0.05 de probabilidad

N°	Solarización	ABCPE	Agrupación
1	Con solarización	463.57	A
2	Sin solarización	384.21	B

Anexo N° 17. Análisis de variancia para el rendimiento promedio total del cultivo de albahaca (t / Ha.)

Fuente de Variación	G.L	SC	CM	Fcal
Bloques	5	875.78	175.16	0.52 n.s.
I. brócoli	1	5450.07	5450.07	19.08 **
Error (a)	5	1690.06	338.013	
I. estiércol	1	2597.49	2597.49	16.06 **
Brócoli x estiércol	1	350.893	350.893	2.17 n.s.
Error (b)	10	1617.45	161.75	
Solarización	1	77.67	77.67	0.67 n.s.
I. brócoli x solarización	1	147.07	147.07	1.27 n.s.
I. estiércol x solarización	1	3.13	3.13	0.03 n.s.
I. brócoli x estiércol x solarización	1	617.92	617.92	5.35 *
Error (c)	20	2309	115.47	
Total	47			

c.v. de la sub sub parcela= 21.51 %

c.v. de la sub parcela = 25.46 %

c.v. de la Parcela = 36.80%

Promedio general= 49.95