

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ÁREA ACADÉMICA AGROFORESTAL
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN GESTIÓN DE RECURSOS
NATURALES Y TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN

VALIDACIÓN Y COMPARACIÓN DE UN PROGRAMA DE MANEJO
NO CONVENCIONAL PARA EL CULTIVO DE LA LECHUGA (*Lactuca
sativa*) CON EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN EN CAMPO ABIERTO
E HIDROPÓNICO

Trabajo Final de Graduación sometido al Tribunal del Área Académica
Agroforestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica para optar por el
grado de Magister en Gestión de Recursos Naturales y Tecnologías de
Producción

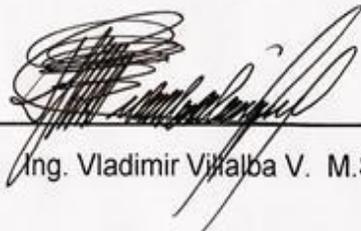
ADOLFO SOLANO MARTÍNEZ

Campus Cartago, Costa Rica

2011

EN MEMORIA DE MI PADRE

Este Trabajo Final de Graduación fue aceptado por el Tribunal del Área Académica Agroforestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica, como requisito parcial para optar por el grado de Magister en Gestión de Recursos Naturales y Tecnologías de Producción.



Ing. Vladimir Vifalba V. M.Sc. Tutor.



Dra. María de los Ángeles Álvarez F. Lectora



Ing. Rodolfo Canessa M. M.Sc. Coordinador Programa

Ing. Adolfo Solano Martínez.

TABLA DE CONTENIDOS.

Portada.....	i
Dedicatoria.....	ii
Hoja de aprobación.....	iii
Tabla de contenidos.....	iv
Lista de cuadros.....	vii
Lista de figuras.....	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. INTRODUCCIÓN.	1
1.2. OBJETIVOS.....	3
1.2.1. GENERAL.	3
1.2.2. ESPECÍFICOS.	3
1.4. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.	4
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.	4
2. REVISIÓN DE LITERATURA.	6
2.1. GENERALIDADES DE LA LECHUGA (<i>LACTUCA SATIVA</i>).	6
2.2. PRINCIPALES INSECTOS Y ENFERMEDADES DE LA LECHUGA.	7
2.2.1. INSECTOS.	7
2.2.2. ENFERMEDADES.	8
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS.	12
2.4. MANEJO INTEGRADO.	14
2.4.1. BENEFICIOS DERIVADOS DEL MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS.	14
2.5. ALTERNATIVAS BIOLÓGICAS, BOTÁNICAS Y CULTURALES PARA EL MANEJO DE INSECTOS Y ENFERMEDADES EN LA LECHUGA.	15
2.6. MANEJO INTEGRADO DE CULTIVO (MIC).	16
2.7. CULTIVO HIDROPÓNICO.	17
2.7.1. MANEJO INTEGRADO DE ENFERMEDADES E INSECTOS EN EL CULTIVO HIDROPÓNICO.	18
III. METODOLOGÍA.	20
3.1. UBICACIÓN DEL ENSAYO.....	20

3.2. DESCRIPCIÓN DE LOS PRODUCTOS SELECCIONADOS.....	21
3.2.1. COADYUVANTES.	21
3.2.2. FERTILIZANTES FOLIARES.	22
3.2.3. FUNGICIDAS.	23
3.2.4. INSECTICIDAS.	24
3.2.5. PRODUCTOS ALTERNATIVOS EN CASO DE LLUVIAS INTENSAS.....	25
3.3. CULTIVO EN CAMPO ABIERTO.	25
3.3.1. PROGRAMA DE APLICACIONES EN CAMPO ABIERTO PARA MANEJO NO CONVENCIONAL.	27
3.3.1.1. INMERSIÓN DE BANDEJAS.	28
3.3.1.2. APLICACIONES AL SUELO.	28
3.3.1.3. APLICACIONES FOLIARES.....	28
3.3.2. COSTOS DEL PROGRAMA PROPUESTO DE MANEJO NO CONVENCIONAL.	30
3.4. ANÁLISIS DE LABORATORIO.....	30
3.4.1. ANÁLISIS FITOPATOLÓGICO.....	30
3.4.2. TOMA DE MUESTRA Y ANÁLISIS QUÍMICO, TEXTURAL Y DE MATERIA ORGÁNICA. ...	31
3.4.3. TOMA DE MUESTRAS PARA EL ANÁLISIS NEMATOLÓGICO.	32
3.5. CULTIVO HIDROPÓNICO.	32
3.5.1. PROGRAMA DE APLICACIONES EN EL CULTIVO HIDROPÓNICO.	34
3.6. IDENTIFICACIÓN DE PRÁCTICAS CULTURALES, MECÁNICAS Y NUTRICIONALES.....	36
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	37
4.1. LECHUGA A CAMPO ABIERTO.	37
4.1.2. DETERMINACIÓN DEL COSTO DEL PROGRAMA PROPUESTO DE MANEJO NO CONVENCIONAL.	37
4.1.3. PÉRDIDA DE PLANTAS CAUSADA POR EL ATAQUE DE ENFERMEDADES.	38
4.1.4. DAÑOS CAUSADOS POR INSECTOS.....	40
4.1.5. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE LABORATORIO.....	40
4.1.5.1. ANÁLISIS FITOPATOLÓGICOS.....	40
4.1.5.2. ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELO.....	43
4.1.5.3. ANÁLISIS DE TEXTURA.	44
4.1.5.4. RESULTADO DEL ANÁLISIS DE MATERIA ORGÁNICA	45
4.1.5.5. ANÁLISIS NEMATOLÓGICO.....	45
4.2. CULTIVO HIDROPÓNICO.	47
4.2.1. PROGRAMA DE APLICACIONES	49
4.2.2. DETERMINACIÓN DEL COSTO DEL PROGRAMA HIDROPÓNICO.....	50
4.2.3. INSECTOS Y ENFERMEDADES.....	50
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	54

5.1 CONCLUSIONES.....	54
5.2. RECOMENDACIONES.....	55
VI. BIBLIOGRAFÍA.....	57

Lista de cuadros.

Cuadro 1. Aplicaciones de los productos seleccionados al follaje en campo abierto con modalidad no convencional.....	29
Cuadro 2. Aplicaciones de los productos seleccionados en el cultivo hidropónico	35
Cuadro3. Costo de plaguicidas por ciclo de producción de 6 semanas.....	38
Cuadro 4. Plantas dañadas con manejo convencional y con manejo no convencional por variedad de lechuga por hectárea	39
Cuadro 5. Resumen de los resultados de los análisis fitopatológicos.....	41
Cuadro 6. Resultado del análisis químico del suelo.....	43
Cuadro 7. Resultado del análisis de textura.....	44
Cuadro 8. Resultado del análisis nematológico.....	45

Lista de figuras.

Figura 1. Vista satelital de la explotación donde se llevó a cabo la investigación.....	20
Figura 2. Vista panorámica del invernadero para el cultivo hidropónico.....	33
Figura 3. Áreas de cultivo afectadas por enfermedades en campo abierto...41	
Figura 4. Raíces atacadas por nemátodos con manejo no convencional y manejo convencional.....	47
Figura 5. Vista del invernadero con cultivo hidropónico en producción.....	49
Figura 6. Plantas atacadas por áfidos.....	51
Figura 7. Áfidos parasitados por aplicaciones del producto comercial Vektor (<i>Enthomophthora virulenta</i>).....	52

I. Introducción

1.1. Introducción.

La lechuga es un bien hortícola de alto consumo en el país, se estima que anualmente se cultivan de 300 a 350 hectáreas y gran parte de ésta se siembra en suelo; sin embargo, en los últimos años se ha incrementado la superficie de siembra bajo el sistema hidropónico tanto a nivel doméstico en pequeñas áreas menores a 50 m² así como también en áreas semicomerciales y comerciales de mayor dimensión. El cultivar más sembrado es el tipo “Iceberg” o “lechuga” de cabeza que es conocida popularmente como “Americana”, le sigue en área el tipo “Batavias” de la cual se cultivan la verde conocida como “Freeze” y las rojas del tipo “Lollo rossa”; en menor área se producen las “Romanas” y las “cabeza de mantequilla” conocida como “blanca” (White Boston). (Oficina Nacional de Semillas, 2011).

El mayor consumo de ésta hortaliza es como producto fresco y se comercializa en mercados, ferias del agricultor y en los supermercados donde se puede adquirir ya sea fresca o preparada lista para consumir sola o acompañada con otras hortalizas. En los últimos años en el país se ha incrementado la producción de lechuga para procesar, lo cual consiste básicamente en rebanar las hojas para comercializarlas tanto para ensaladas o como parte del producto final tacos o hamburguesas entre otras comidas. (Cerdas *et al.* 2004). Es de vital importancia que la lechuga llegue al consumidor final libre de residuos que afecten la salud humana y al medio ambiente.

Lo que se pretendió con este trabajo de investigación fué establecer un programa de bajo impacto ambiental para el manejo no convencional de la lechuga en suelo y en cultivo hidropónico utilizando insumos biológicos, botánicos y químicos

disponibles comercialmente en el mercado y que sirven para el control de insectos y enfermedades. Con el establecimiento de prácticas culturales o mecánicas aplicables a la explotación, el manejo no convencional del cultivo le permitirá al productor tener la certeza de que en el momento en que se realicen muestreos a su cultivo no aparecerán residuos de agroquímicos que lo expongan a sanciones o al rechazo de su producto por parte del comprador, además mejora su credibilidad y reputación como productor con sentido de responsabilidad hacia el consumidor y al medio ambiente condiciones que hoy en día están siendo exigidas por las cadenas de supermercados que atienden a segmentos de población de altos ingresos y que están dispuestos a pagar un precio más alto por un producto diferenciado, que les garantice una alimentación más sana y al mismo tiempo le retribuya al productor un precio más alto por su producto y que le permita compensar la inversión realizada.

1.2. Objetivos.

1.2.1. General.

Validar y comparar un programa de manejo no convencional para el cultivo de la lechuga con el sistema de producción en campo abierto e hidropónico.

1.2.2. Específicos.

- a) Elaborar un programa base de aplicaciones para prevención y control de insectos y enfermedades en el cultivo de la lechuga en campo abierto y en hidroponía.
- b) Evaluar el programa en campo abierto y en hidroponía para el cultivo de la lechuga con la utilización de los productos comerciales.
- c) Comparar costos del sistema de manejo convencional y del manejo no convencional para el cultivo de la lechuga.
- d) Identificar prácticas culturales, mecánicas y nutricionales, que favorezcan el manejo no convencional de la plantación.

1.4. Delimitación de la investigación.

Se pretende con el desarrollo de este proyecto de investigación generar un programa base que pueda servir para mejorar la producción de lechuga fuera del sistema convencional. Se seleccionaron los productos a evaluar de acuerdo a la disponibilidad en la zona del estudio, no obstante se tiene conocimiento que en el mercado hay una diversidad de productos y siguen registrándose constantemente nuevos que pueden sustituir o incorporarse al programa así como también nuevas variedades y sistemas de producción.

1.5. Limitaciones de la investigación.

Para la época en que se desarrolló el estudio entre julio y setiembre del 2011, se esperaba una temporada lluviosa fuerte por lo que en campo la prioridad estaba enfocada a la prevención y control de enfermedades y nemátodos en el suelo; sin embargo, las condiciones del tiempo fueron variables, se alcanzaron en algunas semanas temperaturas extremas para el cultivo (28-30 °C) alternada con uno o dos días con lluvia intensa, condiciones estas desfavorables para el desarrollo normal del cultivo en el campo.

En el área de cultivo a campo abierto no se esperó una presión fuerte a nivel de insectos como mosca blanca (*Bemisia tabaci* y *Trialeurodes vaporariorum*), mosco minador (*Liriomiza* sp) o áfidos (*Myzus persicae*) dado que históricamente durante la temporada de lluvias la presencia de estos insectos es casual. Si se esperó una constante presencia de gusanos cortadores del género *Agriotis* y *Spodoptera* debido a que en la finca en donde se realizó la investigación en monitoreos previos siempre han sido una plaga de importancia sobre todo en los estados iniciales del cultivo porque troza el tallo y las hojas de la plántula produciendo pérdida total o parte de su follaje.

En el área de cultivo en hidroponía si se esperó una fuerte presión de áfidos, mosca blanca y liriomiza debido a las condiciones ambientales que se presentaron

dentro del invernadero: alta temperatura, baja humedad relativa y alta densidad de plantas con exuberante follaje que favorecen el desarrollo de estos insectos. También por las mismas condiciones ambientales ha sido frecuente en el cultivo hidropónico la presencia del hongo *Bremia lactucae* causando un severo daño en el follaje llegando incluso a la pérdida total de la planta.

2. Revisión de literatura.

2.1. Generalidades de la lechuga (*Lactuca sativa*).

Cerdas *et al.* (2004), describen a la lechuga como una planta anual de origen mediterráneo que se cultiva en las regiones semitempladas y cuyo cultivo se realiza tanto en campo como en invernaderos; pertenece a la familia de las *Compositae* y el origen de su nombre *Lactuca* es del latín *lac-tis* (leche) referido al líquido lechoso que exudan los tallos al ser cortados y *sativa* por ser una planta cultivada. Tiene una raíz pivotante y ramificada de unos 25 cms, el crecimiento de las hojas es en roseta alrededor de un tallo central corto y cilíndrico que se va alargando para producir las inflorescencias que están formadas por capítulos de color amarillo. Las hojas según la variedad pueden ser de bordes lisos, ondulados o aserrados, las semillas pueden ser blancas o negras y provistas de un vilano plumoso. El rango de temperatura en que se desarrolla es de los -6 a los 30° C; sin embargo, la afecta la exposición a períodos largos de temperaturas superiores a los 28° C, la temperatura del suelo no debe ser inferior a los 6° C. Se requiere para un buen desarrollo que tenga diferencias de temperatura entre el día y la noche. Las condiciones de humedad relativa óptimas están alrededor de 60 al 80% y se desarrolla mejor en los suelos areno limosos con buen drenaje y con un pH entre 6,7 y 7,4; la sequía del suelo es una limitante para su desarrollo. Nutricionalmente tiene muy poco valor, está compuesta por un 95 % de agua, tiene antioxidantes como vitaminas A, C, E, B1, B2, B3, B9 y K y minerales como: fósforo, hierro, calcio, potasio y aminoácidos.

Davis *et al.* (2002) mencionan que las variedades más destacadas a nivel mundial son:

Beluga o Crisphead: de cogollos apretados y densos de crujiente textura y que permite un corte fino de sus hojas (Iceberg).

Romana : de cogollo largo con hojas lanceoladas gruesas y crujientes.

Francesa: de cogollo redondo, hojas finas y textura mantecosa, se le conoce como Boston.

Batavia: de cogollo suelto hojas rizadas y textura mantecosa (Freeze).

2.2. Principales insectos y enfermedades de la lechuga.

2.2.1. Insectos.

Saunders *et al.* (1998) reportan los siguientes insectos como los de mayor importancia económica en el cultivo:

Gusanos cortadores: Principalmente del género *Agriotis sp.* y *Spodoptera sp* cortan los tallos a nivel del suelo o sobre las hojas que pueden aparecer parcialmente comidas, las larvas son pardas, grisáceas o negras y se encuentran cerca de la planta. Donde hay materia orgánica en descomposición son más frecuentes.

Minador: *Liriomiza sp* Forman galerías en las hojas de formas espirales, cuando el ataque es severo provoca que las hojas se sequen y caigan deteriorando el cultivo. Insertan los huevos en las hojas y las larvas se alimentan entre las superficies de la hoja, las poblaciones son más elevadas en climas tropicales y en invernaderos (Productores de Hortalizas de Centroamérica, 2011).

Mosca blanca: *Trialeurodes vaporariorum* y *Bemisia tabaci* son las especies que se han identificado, el daño que produce es la transmisión del virus del amarillamiento de la lechuga y produce un daño directo al alimentarse las ninfas y los adultos del cultivo además de que se produce fumagina en las excretas del insecto. Las poblaciones son más altas en la estación seca.

Áfido: *Myzus persicae*. Conocidos como pulgones o piojillo, se alimentan en grandes colonias donde hay de todas las edades, se ubican en el envés de las hojas y cogollos. En climas cálidos no hay machos y las hembras se reproducen partenogénicamente, cuando se encuentran hembras aladas es en respuesta al hacinamiento o a la falta de alimentación (Jiménez, E. 2009). La temperatura es la que determina la duración de una generación, abundan más bajo condiciones de sequía a temperatura moderada y con sombra. Atráen a las hormigas por la melaza que producen y éstas se encargan de defenderlos y transportarlos a plantas nuevas. El daño que provoca es un deterioro completo de las plantas debido a que la saliva contiene toxinas que producen achaparramiento, marchitez y amarillamiento de las hojas, se desarrolla fumagina por la melaza producida y puede ser un vector de virus (Barbagallo *et al.* 1997).

Dentro del grupo de los moluscos los **caracoles y las babosas** son de importancia económica, se alimentan cuando la humedad relativa del área donde se encuentran está saturada. Arias *et al.* (2007); describen el daño como un raspado en las hojas e inclusive las babosas son capaces de ingerir las plantas pequeñas completamente, producen un daño mecánico y es punto de entrada para enfermedades, adicionalmente es un vector potencial de enfermedades en los humanos, motivo de rechazo del producto en los mercados de consumo.

2.2.2. Enfermedades.

Davis *et al.* (2002); describen los hongos y las bacterias más importantes en el cultivo de la lechuga. Para efectos de la investigación se numeran las principales que están identificadas y reportadas en el país.

Antracnosis de la lechuga: causada por el hongo *Microdochium panattonianum* puede penetrar las hifas directamente por la epidermis de las hojas o por los estomas, requiere de una buena humedad aunque sea por cortos períodos, los

salpiques de la lluvia favorece su diseminación. El daño que produce en el follaje son pequeñas manchas negras o marrones que disminuyen el área foliar no permitiendo un buen desarrollo del cultivo, además es punto de entrada para bacterias que producen pudriciones.

Botrytis: causada por el hongo *Botrytis cinerea*; también se conoce como moho gris, se presenta como una pudrición blanda acuosa y de color gris parduzco, los tejidos que están húmedos o en contacto con el suelo son los más susceptibles, hay un crecimiento de tejido gris veloso sobre las áreas enfermas y que están bajo la sombra (Productores de Hortalizas de Centroamérica, 2011). Se pueden formar en los tejidos infectados esclerocios negros. Las plantas fuertemente afectadas pueden morir posterior a presentar un marchitamiento que puede ser confundido con el producido por *Sclerotinia minor*.

Mildiu veloso: producida por el hongo *Bremia lactucae*, es una enfermedad donde la presencia y severidad del daño va a estar sujeto a los factores climáticos. Condiciones de alta humedad en el follaje con períodos de poca luz y temperaturas cercanas a los 20 °C son las condiciones ideales para el desarrollo del hongo. Puede aparecer en cualquier estado de desarrollo de la planta, los síntomas son lesiones pálidas o cloróticas al inicio y luego se ponen amarillas cuando el hongo esporula. El viento es el medio de difusión de la enfermedad dentro del cultivo, pero se puede transmitir también por semillas infectadas o plantas silvestres susceptibles.

Rizoctonia: producida por el hongo *Rizoctonia solani*, su desarrollo se ve favorecido por condiciones cálidas y de alta humedad, su manifestación es principalmente en plantas cerca de la madurez produciéndoles una pudrición en la base del tallo. Los síntomas iniciales son manchas de color marrón o rojizas en las hojas que están en contacto con el suelo, bajo condiciones óptimas la enfermedad se extiende rápidamente pudriendo las hojas inferiores y los tallos. Los tallos en

descomposición son inicialmente viscosos y marrones y se ponen negros cuando mueren. Visualmente se puede notar la formación de un micelio tipo telaraña de color pardo a marrón y en estados posteriores de la enfermedad se forman esclerocios de color pardo o canela. Las lesiones causadas son un punto de entrada para bacterias que aligeran la descomposición de los tejidos.

Esclerotinia o moho blanco: producida por los hongos *Sclerotinia sclerotiorum* y *Sclerotinia minor*; el síntoma inicial de la planta es un marchitamiento de las hojas exteriores que luego avanza hasta marchitar toda la planta y se torna de un color amarillento, posteriormente bajo condiciones de humedad se produce una pudrición blanda acuosa en la superficie y por debajo del suelo, formándose también un micelio blanco en la superficie debajo de las hojas, los esclerocios de color negro, se producen en el envés de las hojas que tocan el suelo, alrededor de la corona y por toda la raíz.

Pudriciones bacteriales: los agentes causales son *Xanthomonas campestris* y *Erwinia caratovora*.

Xanthomonas campestris: conocida como mancha foliar bacteriana presenta los síntomas en las hojas más maduras como pequeñas lesiones angulares y acuosas que se tornan negras y con aspecto grasoso, bajo condiciones de alta humedad conforme avanza la enfermedad las lesiones se juntan y dan como resultado áreas necróticas que cuando se secan dan un aspecto papeloso. Si el ataque es muy severo puede dañar los tallos y causar pudrición total de los tejidos.

Erwinia caratovora: conocida como la pudrición blanda de la lechuga, requiere de humedad en el cultivo para desarrollarse presentándose como un marchitamiento de las hojas exteriores principalmente en cultivo cerca de la cosecha, los tejidos forman una coloración rosada o parduzca y se tornan viscosos hasta que la planta colapsa completamente. La enfermedad se disemina muy fácilmente por los insectos, salpicaduras de lluvia y herramientas. Se reproducen muy rápido con

temperaturas óptimas de 25 a 30 °C y condiciones de alta humedad, penetra por las heridas o estomas de las hojas (Rivera, G. 1999).

Nemátodos: el más común que se encuentra en la lechuga es el *Meloidogyne hapla* y forma nódulos en la raíz .Otros que se ha identificado en el país son: *Criconemella spp.* *Helicotylenchus spp.* *Meloidogyne incognita*, *Scutellonema spp.*, *Trichodorus spp.* (Fernández, O. 2009). El *Meloidogyne hapla* es conocido como el nemátodo formador de nódulos en la raíz característica que facilita su identificación en el campo, las raíces infectadas son más cortas, con menos desarrollo lateral y menos pelos absorbentes lo que puede producir raquitismo, amarillamiento y hasta marchitamiento de las plantas (Productores de Hortalizas de Centroamérica, 2011). Los huevos son depositados por la hembra en el suelo en masas de 100 a más de 1000; el desarrollo de los mismos comienza pocas horas después de la puesta y es en el estado juvenil donde inician el ataque a las raíces y la penetran buscando un punto de alimentación donde se hacen sedentarios y se empiezan a formar células gigantes. En este sitio el nemátodo madura y se inicia la puesta de huevos. Su reproducción está muy influenciada por la temperatura, la óptima es entre 15 y 25°C. Los daños son mayores en suelos de texturas limo arenosas que en suelos arcillosos por la movilidad del nemátodo entre los espacios porosos y aireados (Davis *et al.* 2002).

Virosis. Existen diferentes virus que pueden transmitirse por semillas o vectores, no hay un tratamiento directo contra el virus, hay que controlar los vectores. Los síntomas más comunes son amarillamientos del follaje, enrojecimiento de las nervaduras, raquitismo, enrollamientos del follaje, hojas quebradizas. Entre los virus más comunes están:

Clorosis de la lechuga transmitido por la mosca blanca (*Bemisia tabaci*).

Mosaico del pepino es considerado de los más importantes en lechuga y es transmitido por los áfidos (*Mizus persicae*).

Amarillamiento infeccioso de la lechuga transmitido por mosca blanca principalmente *Bemisia tabaci*.

Mosaico de la lechuga es transmitido por semillas infectadas y es diseminado en el campo por los áfidos .

Amarillamiento del Aster producido por el fitoplasma del amarillamiento del *Aster* sp y es transmitido principalmente por insectos saltahojas del género *Macrostoteles* sp (Rivera, G. 1999).

2.3. Definición de términos.

En el Reglamento publicado el 22 de mayo de 1998 de la Ley de Protección Fitosanitaria 7664 se definen los siguientes términos:

- **Agente de Control Biológico:** Enemigo natural, antagonista o competidor u otra entidad biótica capaz de reproducirse, utilizados para el control de plagas.
- **Control Biológico:** Estrategia de control contra las plagas en la que se utilizan enemigos naturales, antagonistas o competidores vivos u otras entidades capaces de reproducirse.
- **Insumos Agrícolas:** Sustancias químicas, biológicas, bioquímicas o afines, y sus equipos de aplicación de uso en la agricultura.
- **Insumo fitosanitario:** Cualquier sustancia o mezcla utilizada en el control de *plagas de los vegetales tales como plaguicidas, agentes de control biológicos,* material transgénico, feromonas atrayentes y variedad de plantas cultivadas resistentes a plagas.

- **Manejo Integrado de Plagas (MIP):** Utilización racional de combinaciones técnicas diseñadas para manipular poblaciones de plagas o el control de las mismas a un nivel que nos permita lograr un buen combate de ellas al menor costo posible con un daño mínimo al ambiente.

- **Plaga:** Cualquier especie, raza o biotipo vegetal o animal o agente patógeno dañino para las plantas o productos vegetales.

- **Residuo:** Es aquella cantidad de sustancias químicas, biológica o bioquímicas que quedan en los vegetales y en extractos ambientales, después de una aplicación del mismo.

- **Tolerancia:** Cantidad máxima de residuos de sustancias químicas, biológicas, bioquímicas o afines de uso en la agricultura o sus metabolitos cuya presencia es legalmente permitida, en productos de consumo humano o animal.

- **Plaguicida:** la definición del ICA dice que es una sustancia o mezcla de sustancias de origen químico o biológico, destinadas a prevenir, destruir o controlar cualquier plaga, o las especies de plantas o animales indeseables que causan perjuicio, o que interfieren de cualquier otra forma en la producción, elaboración, almacenamiento, transporte o comercialización de alimentos, productos agrícolas, madera y productos de madera. Incluye las sustancias utilizadas como reguladoras del crecimiento de las plantas, defoliantes, desecantes y las que se aplican a los cultivos, antes o después de la cosecha, para proteger el producto contra el deterioro durante el almacenamiento y transporte (Arias *et al.* 2007).

Hidroponía: técnica de cultivo sin utilización de suelo (Alpízar, 2004).

2.4. Manejo integrado.

Jiménez, E. (2009) define el Manejo Integrado de Plagas (MIP) como la combinación de los métodos de control con el fin de reducir las poblaciones de plagas. Koppert, (2005) define el manejo integrado de plagas como el manejo de las poblaciones de plagas para mantener el menor daño sobre el cultivo, el personal, los consumidores y el medio ambiente con base en el umbral económico de daño. Para establecer un MIP es fundamental conocer el comportamiento de la plaga y del ciclo del cultivo así como todas las posibles opciones de control dejando como recurso final la utilización de los agroquímicos.

Una estrategia de manejo integrado debe contemplar dos aspectos asociados:

- 1- La contribución que la puesta en práctica del programa hace a la sostenibilidad.
- 2- La integración de todos los factores interactuantes.

La meta de la Agricultura Sostenible es mantener la producción al nivel necesario para cubrir las necesidades crecientes de una población en expansión sin empeorar el medio ambiente (Pérez, E.1994).

2.4.1. Beneficios derivados del manejo integrado de plagas.

Dentro de los aspectos benéficos de la aplicación de la tecnología MIP se pueden citar:

- Reduce la aplicación y costo de insecticidas químicos.
- Evita la creación de resistencia y agresividad de las plagas.
- Reduce el estrés, intoxicación y contaminación de las plantas lo que genera mayor productividad.
- A nivel de mercadotecnia es favorable porque se ofrece un producto con bajo uso de agroquímicos y se ubica dentro de las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) y Buenas Prácticas de Manejo (BPM), lo cual le permite obtener una ventaja en el

mercado ya que cada día crece la demanda por productos con menos residuos de sustancias químicas (Koppert,2005).

2.5. Alternativas biológicas, botánicas y culturales para el manejo de insectos y enfermedades en la lechuga.

La Universidad de California (2007) recomienda inmediatamente después de la cosecha eliminar los rastrojos y las malezas y voltear el terreno para controlar las larvas y pupas de los géneros *Spodoptera* y *Agrotis* para que queden expuestas al sol y mueran, también recomiendan la utilización de *Bacillus thuringiensis* como alternativa biológica eficiente. La eliminación de los rastrojos y las malezas también será de gran beneficio para control de enfermedades y otras plagas que atacan el cultivo (Jiménez, E. 2009).

Para el control de la mosca blanca Barrios, D. (2007) recomienda la utilización de trampas amarillas engomadas y la utilización de hongos entomopatógenos como *Beauveria bassiana* así como la eliminación de hospedantes alternos de la plaga en el cultivo.

En el caso de los áfidos la Universidad de California, (2007) recomienda la utilización del hongo antagonista *Entomophthora sp* y *Beauveria bassiana* para el control de la plaga así como el uso de azaridactina y jabones agrícolas.

Para el control de minador de la hoja, *Liriomiza sp* se recomienda la utilización de la azaridactina y de Spinosad que es el ingrediente activo del producto comercial Spintor.

Para la alternaría, *Microdochium panattonianum* se recomienda la rotación de cultivos y en campos con infestaciones muy altas no sembrar durante al menos cuatro años. También la utilización de sistemas de riego que no produzca salpicadura de suelo a la planta.

Para el manejo de *Xanthomonas campestris* se recomienda evitar la utilización de riego aéreo o por aspersion y la recolección de material afectado (Rivera, G.

1999). En *Bremia lactucae* para prevenir su daño hay dos recomendaciones importantes: la utilización de variedades resistentes y el manejo del riego para evitar la humedad en el follaje.

Para el manejo de *Rizocthonia solani* se recomienda la aplicación de microorganismos al suelo como bacterias y levaduras benéficas entre las que podemos citar: *Azospirillum brasilense*, *Azotobacter chroococcum*, *Lactobacillus acidophilus* y *Saccharomyces cerevisiae* que actúan mejorando el suelo agrícola acelerando la descomposición de materia orgánica y así evitar la propagación de la enfermedad como se menciona en el panfleto del producto comercial Bachtón.

Para los nemátodos se recomiendan medidas culturales, sanitarias y de rotación entre las que podemos citar:

1. Culturales: eliminar las plantas afectadas, evitar el estrés en las plantas, buen manejo de la nutrición y el riego, utilizar la técnica de la solarización.
2. Sanitarias: lavado de herramientas, no permitir que pase agua de un campo infectado, evitar el paso de animales de un área infectada a un área sana.
3. Rotación de cultivos: no es muy efectiva debido a la cantidad de hospedantes que tienen los nemátodos pero se puede sembrar un cultivo que no sea atacado por los mismos que afectan la lechuga (Universidad de California, 2007).

2.6. Manejo integrado de cultivo (MIC).

El Manejo Integrado del Cultivo (MIC) es un concepto más moderno y más amplio que el Manejo Integrado de Plagas (MIP) porque se basa en los mismos principios y conceptos biológicos del MIP pero incorpora la experiencia acumulada del productor como un pilar del MIC. Pumisacho y Sherwood (2005) citan los siguientes principios para el Manejo Integrado de Cultivo: mantener un cultivo sano, conservar los enemigos naturales, monitoreo regular del cultivo y generar con la experiencia nuevas prácticas de manejo. Apuntan los autores antes citados

que el éxito de un MIC va a depender de la experiencia generada y del conocimiento adquirido con la práctica, en otras palabras el productor tiene que convertirse en un experto que maneja todos los aspectos de su cultivo.

Jiménez, E. (2009) enfoca el Manejo Integrado como una rama del manejo ecológico donde se hace uso de una serie de técnicas de control de manera coordinada utilizando métodos de control biológico, químico y de cultivo, incluyendo el uso de variedades, abarca todas las plagas del ecosistema agrario desde insectos hasta aves, malas hierbas y fitopatógenos.

Este concepto contrasta con el de agricultura convencional que se basa en la utilización de productos químicos sintéticos con algún grado de toxicidad en la mayoría de casos y que produce contaminación del medio ambiente.

En el otro extremo se pueden citar las otras corrientes que incentivan el equilibrio natural y la no utilización de ningún producto químico sintético, dentro de estas corrientes se pueden citar la agricultura orgánica, natural o ecológica que promueven una producción agrícola en balance con la naturaleza. En algunos casos de sistemas de producción se permite el uso de productos naturales para el control de plagas otros son totalmente opuestos a alterar el orden de la naturaleza y la filosofía es que la sanidad de un suelo va directamente relacionada con la sanidad del ser humano (Jiménez, E. 2009).

2.7. Cultivo hidropónico.

Lo define Alpízar, L. (2004) y Sandoval, C. (2004) como el cultivo sin tierra y el más importante es:

Sistema de producción hidropónica (NFT). Se basa en la recirculación de la solución nutritiva dentro de un sistema de tuberías cerrado que forma una lámina fina circulando por las raíces de las plantas las cuales no tienen ningún sustrato de sustentación. Las tuberías utilizadas deben tener un cierto desnivel para facilitar la circulación de la solución nutritiva.

Dentro de las ventajas que tiene el sistema para el cultivo de la lechuga se citan: ciclos de producción más cortos, mejor desarrollo del cultivo, se evitan las enfermedades en la raíz, plantas más sanas y de mejor calidad, puede ser implementada en empresas de mediana y pequeña escala de producción.

La desventaja es que la inversión inicial es muy elevada y se requiere de personal con algún grado de conocimientos técnicos en química tanto para preparar las soluciones nutritivas como en manejo de la bomba impulsora y el cultivo. Por estas razones el producto debe contar con un mercado diferenciado que reconozca la calidad y las ventajas del cultivo en cuanto a sanidad para la salud humana (Carrasco *et al.* 1996).

2.7.1. Manejo integrado de enfermedades e insectos en el cultivo hidropónico.

Es fundamental para que un programa de manejo integrado cumpla su objetivo un diagnóstico preciso del problema. Sandoval, C. (2004) recomienda seguir las siguientes cinco etapas para un buen diagnóstico.

1-Tener información sobre las enfermedades e insectos del cultivo lo cual facilita identificar los posibles agentes causales de la plaga.

2-Disponer de la posible resistencia que posea el cultivo a insectos y enfermedades.

3-Tomar en cuenta las prácticas de manejo utilizadas así como la temperatura y humedad del lugar.

4-Determinar la distribución espacial de las plantas enfermas así como la rapidez con que se disemina el ataque.

5-Considerar la parte afectada de la planta y tratar de identificar la presencia de hongos u otros patógenos.

En el caso de cultivo hidropónico el citado autor recomienda un manejo integrado basado en inspecciones reguladoras (monitoreo), control biológico, control físico y control cultural para lo cual se implementan medidas que:

1- Reduzcan las fuentes de infección como control de malezas, recolección de restos de cosecha, utilización de semillas y plantas sanas.

2- Eviten condiciones apropiadas para el desarrollo de la plaga manteniendo una buena nutrición, evitar el estrés de las plantas, densidades de siembra apropiadas, condiciones ambientales idóneas.

3- Eviten la propagación haciendo desinfección de herramientas, manos, ropa y en general manteniendo medidas sanitarias en las instalaciones.

Sandoval, C. (2004) afirma que los cultivos hidropónicos están libres de problemas de hongos de suelo como el complejo de caída de plantas, lo cual evita el uso de fumigantes; sin embargo, si se produce una contaminación en el medio o sustrato podría tener un efecto devastador al no existir controladores naturales ni competidores, además generalmente se desarrolla esta técnica de cultivo bajo ambientes de alta humedad y temperatura que favorecen un rápido desarrollo y diseminación de las enfermedades y también se ve favorecida por el constante manipuleo y movimiento dentro del cultivo.

Se pueden presentar también desórdenes o enfermedades que son causadas por organismos no vivos o abióticos y las causas pueden ser:

1. Fitotoxicidad por aplicaciones de agroquímicos.
2. Mal manejo del riego.
3. Exceso de salinidad de la solución nutritiva.
4. Carencias o excesos de nutrientes.
5. pH de la solución.
6. Temperatura inadecuada.

Por tanto es de suma importancia tener un control constante sobre estos factores de acuerdo con los requerimientos del cultivo a desarrollar para obtener un buen resultado en el cultivo (Rivera, G. 1999).

III. Metodología.

3.1. Ubicación del ensayo

Se realizó una investigación exploratoria experimental en dos modalidades, la primera con cultivo en campo abierto y la segunda con cultivo en sistema hidropónico NFT. La investigación se llevó a cabo en una explotación comercial ubicada en Páez de Oreamuno, Cartago, con una extensión de 4 hectáreas de terreno dentro del cual se ubica tanto el cultivo en campo abierto como el cultivo hidropónico bajo ambiente protegido, el invernadero cuenta con un área de 550 m² (Figura 1). Abarcó doce semanas durante el período comprendido entre el 7 de julio al 29 de setiembre del año 2011.

Figura 1 Vista satelital de la explotación en donde se llevó a cabo la investigación.



Fuente: Google EARTH.

La propiedad pertenece a un grupo familiar que se llama “Legumbres Brenes” y se dedican a la producción y comercialización de hortalizas de hoja tales como:

lechugas, culantro, apio, escarolas, espinaca, acelgas, arúgula, cebollino y otros. La comercialización la realizan a través de mercados como: CENADA, Borbón y Mayoreo; sin embargo, sus principales clientes son cadenas de supermercados que se enfocan a clientes con niveles de ingresos alto.

Para el desarrollo de la investigación se contó con el apoyo del personal de la explotación en las labores rutinarias del cultivo tales como siembra, desyerbas, fertilización y riego. Para el cultivo hidropónico las aplicaciones programadas las realizó la persona encargada del manejo del invernadero siguiendo las instrucciones dadas para el desarrollo de la investigación. Las aplicaciones de campo, los monitoreos y la recopilación de los datos fue realizada por el investigador.

La toma de datos para el cultivo a campo abierto, se hizo por observación directa en campo utilizando un muestreo por selección intencionada donde cada 6 metros de cama de siembra se seleccionan 16 plantas en un bloque de 4 x 4 plantas. Este muestreo se realizó en la semana 6 de desarrollo del cultivo en cada una de las tres parcelas y se contabilizaron las plantas con daños severos que no se pudieron comercializar o que se habían perdido durante el desarrollo del cultivo.

3.2. Descripción de los productos seleccionados.

3.2.1. Coadyuvantes.

- **Cosmo aguas:** Regulador de pH y dureza del agua que se utiliza para acondicionamiento del agua en la que se realizará la solución, producto de baja toxicidad y sin restricción a la cosecha. Dosis media 0.5 gramos por litro de agua.
- **Cosmo in:** Coadyuvante no iónico antiespumante, dispersante y penetrante, baja toxicidad y sin restricción de uso, dosis 1 cc por litro de agua.

3.2.2. Fertilizantes foliares.

- **Biofeed calidad:** Fertilizante foliar líquido extracto de algas marinas que favorecen la generación de fitoalexinas en la planta. Dosis 2 cc por litro de agua.
- **Calciphite:** Fertilizante foliar fosfito de calcio, contiene calcio, potasio y fósforo, estimula la producción de fitoalexinas. Dosis 4 cc por litro de agua, sin restricción.
- **Coron 25:** Fertilizante líquido foliar a base de nitrógeno de lenta liberación. Dosis 5 cc por litro de agua, sin restricción.
- **Ekoroot :** Enmienda orgánica, aminoácidos orgánicos con un alto contenido de materia orgánica, el fabricante reporta que tiene propiedades de repelencia de los nemátodos (nematostático). Dosis 5 cc por litro de agua. Sin restricción.
- **Fortaleza:** Fertilizante líquido foliar a base de calcio y boro. Dosis 2 cc por litro de agua. Sin restricción.
- **Fosfo K:** Fertilizante foliar líquido a base de potasio y fósforo con boro, manganeso y molibdeno, su utilización es para favorecer el enraizamiento al transplante. Dosis 2 cc por litro de agua. Sin restricción.
- **Hormovit hortalizas:** Solución hormonal y vitamínica activadora del desarrollo de las plantas, extracto de origen vegetal. Dosis 1.25 cc por litro de agua. Sin restricción.
- **MagMax:** Fertilizante líquido foliar quelatado con magnesio y boro. Dosis 2 cc por litro de agua. Sin restricción.
- **Maxiboost:** Fertilizante líquido que contiene manganeso, zinc, boro y hormonas de enraizamiento, favorece la formación de raíces. Dosis 2 cc por litro de agua.

- **Wuxal calcio:** Fertilizante foliar en suspensión a base de calcio y microelementos. Dosis 2 cc por litro de agua. Sin restricción.

3.2.3. Fungicidas.

- **Flint:** Ingrediente activo Trifloxystrobin, fungicida químico estrobilurina, con efecto sobre mildius, botrytis, alternarias, cercospora. Dosis 0.5 gramos por litro de agua. Período de espera 3 días a cosecha.
- **Leafclean:** Fortificante a base de fermentos de *Lactobacillus* activador de las autodefensas de las plantas. Tiene buen efecto sobre control de botrytis y bacterias. Dosis 1 cc por litro de agua. Sin restricción.
- **Naturam 5:** Es un producto que contiene nitrógeno orgánico, sulfato de cobre pentahidratado y una mezcla de aminoácidos y péptidos, tiene propiedades fungicidas y bactericidas probadas en campo. Dosis 2 cc por litro de agua. Restricción a cosecha 1 día.
- **Permatrol:** Producto a base de extractos de aceite de semilla de jojoba, se puede usar como controlador de mildiu polvoso o como coadyuvante; sin embargo se ha probado en campo que también tiene efecto sobre el mildiú de la lechuga (*Bremia lactucae*). Dosis 2 cc por litro de agua. Sin restricción.
- **Tricho plus:** *Trichoderma* spp, mezcla de *Trichoderma harzianum* y *Trichoderma viride* con una concentración de mil millones de esporas por gramo. Polvo seco. Dosis 0.25 gramos por litro. Sin restricción a la cosecha. Control y prevención de enfermedades de suelo como Sclerotinia, Fusarium y Rhizoctonia.

3.2.4. Insecticidas.

- **Biocrack:** Extracto de ajo, ruda y manzanilla, repelente para una gran gama de insectos. Dosis 2 cc por litro de agua. Sin restricción.
- **Mycotrol:** *Beauveria bassiana* cepa GHA, insecticida biológico con buen control sobre áfidos, gusanos cortadores, trips, jobotos. Dosis 1 cc por litro de agua. Sin restricción.
- **Oncol:** Insecticida, nematocida químico, ingrediente activo Benfuracarb. Dosis 3 cc por litro de agua, 15 días de espera a cosecha. Control de nemátodos y gusanos cortadores.
- **Orobor:** Es una formulación fertilizante, enriquecida con el micro elemento esencial Boro y Nitrógeno, con una base de surfactantes, es un extracto de cáscaras de naranja que tiene también un efecto probado en campo para control de áfidos y babosas cuando el producto se rocía sobre el individuo. Dosis 1.5 cc por litro de agua. Sin restricción.
- **Punto:** Insecticida químico imidacloprid, para control de áfidos, mosca blanca y gusanos cortadores. Dosis 0.27 gramos por litro de agua, 21 días de espera a la cosecha.
- **Spintor:** Ingrediente activo Spinosad, insecticida derivado del actinomiceto *Saccharopolyspora spinosa* para control de gusanos cortadores, trips y liriomiza. Dosis 0.75 cc por litro. 1 día de espera a cosecha.
- **Vektor:** *Entomophthora virulenta*, insecticida microbial para el control de psílidos, áfidos, acaros, trips y mosca blanca. Dosis 1 cc por litro. Sin restricción

3.2.5. Productos alternativos en caso de lluvias intensas.

-**Cal 56**: Fertilizante foliar líquido con un contenido de 56 % de calcio. Dosis 2cc por litro de agua. Sin restricción.

- **Defens Ca**: Es una mezcla líquida de ácidos orgánicos, biológicamente activos, unidos a un alto contenido de Calcio. Esta composición refuerza fuertemente la cutícula foliar y la piel de los frutos disminuyendo así la transpiración y la pérdida de agua, dotándoles con más resistencia a ataques de hongos. Dosis 5 cc por litro de agua. Sin restricción

- **Fytosan** : Fungicida inorgánico a base de sulfato de cobre neutralizado con cal apagada (caldo bordelés), es de amplio espectro de control, incluyendo bacterias y hongos. Dosis 2 gramos por litro de agua. Período de espera a cosecha 3 días.

- **Promet cobre**: Aminoácidos naturales con sulfato de cobre pentahidratado, tiene propiedades fungicidas y bactericidas. Dosis 1.25 cc por litro de agua. Restricción a cosecha 1 día.

3.3. Cultivo en campo abierto.

Como primer paso, con el apoyo de la revisión bibliográfica se elaboró una amplia lista de posibles productos a utilizar de origen biológico, natural y químico presentes en el mercado; para ello se revisó las posibles compatibilidades de mezclas entre ellos con el fin de simplificar las aplicaciones. Se seleccionaron los productos a utilizar de acuerdo a la disponibilidad en la zona del estudio y condicionado a que los productos contaran con el respectivo registro de libre venta en el país. El segundo paso fue elaborar el programa base para aplicar en el área sometida a la investigación utilizando la combinación de los productos comerciales citados anteriormente basados en los síntomas y daños observados previamente en campo.

Se establecieron tres parcelas de prueba. El tamaño se determinó por la disponibilidad del espacio de siembra de manera que sus medidas fueron 252 m², 216m² y 125 m² respetivamente para un total de 593 m² de área tratada. La primera se sembró el día 18 de julio, la segunda el 29 de julio y la tercera el 5 de agosto del año 2011, las tres coincidieron con el momento de siembra de la finca debido a que las parcelas se ubicaron dentro del área de cultivo convencional de campo abierto. La investigación duró 11 semanas y en cada semana se hicieron dos aplicaciones a cada una de las parcelas, las tres parcelas se aplicaron el mismo día con la misma solución según correspondió con la programación previamente elaborada. La primera parcela se evaluó el lunes 29 de agosto, la segunda el viernes 16 de setiembre y la tercera el jueves 22 de setiembre del año 2011. La evaluación en las tres parcelas se hizo en la sexta semana de cultivo después del transplante.

El volumen de solución utilizado para las aplicaciones foliares fue de aproximadamente 350 litros por hectárea y en “drench” de 1000 litros. Las aplicaciones foliares se hicieron con una bomba manual de mochila de 18 litros de capacidad marca Bovi, utilizando un disco # 2 con nebulizador 45 para mantener una descarga constante de solución de 0.75 litros/min. Determinándose así la cantidad de producto requerido por área de tratamiento. Para las aplicaciones en “drench” se utilizó la misma bomba con un disco 4 sin nebulizador para una descarga constante de 1.5 litros/min. y también permitió determinar la dosis a utilizar por área. Se calibró el equipo de aplicación para establecer el área cubierta por litro de solución que permitiera determinar la dosis estandarizada tanto en aplicaciones foliares como en el “drench” y así dosificar el producto basado en las recomendaciones del fabricante. El programa de campo fue de siete aplicaciones, tomando en cuenta que se realizaron dos aplicaciones semanales originando que el programa se reiniciara cada 3 ½ semanas; el ciclo de producción en campo es de 6 a 7 semanas por lo tanto se realizaron dos ciclos de aplicaciones por ciclo de

cultivo. Alternativamente se tuvieron dos soluciones que se pudieron aplicar en caso de lluvias muy severas de acuerdo con el nivel de presión de hongos y bacterias.

Para el cultivo en campo abierto también se aplicó el procedimiento de inmersión de bandejas de almácigo previo a la siembra utilizando en la solución *Trichoderma sp* (5 gr/litro), "Ekoroot" (10 cc/litro) que es un producto formulado de aminoácidos orgánicos, como producto controlador de nemátodos y el insecticida "Punto" (Imidacloprid, 0.5 gr/litro) para control de gusanos cortadores y áfidos en suelo, esta técnica se utilizó con el fin de bajar costos de aplicación. En la tercera semana después de la siembra se aplicó en "drench" los mismos productos siguiendo la recomendación del formulador para completar las cantidades de producto aplicado por ciclo de cultivo.

En la segunda semana después de la siembra se aplicó otro "drench" que tuvo como finalidad la aplicación del nematicida químico "Oncol" (Benfuracarb, 3 cc/litro), dos productos para la inducción de desarrollo radicular "Fosfo K" (2.5 cc/litro) producto que contiene potasio, fósforo, manganeso y molibdeno en su formulación y el "Maxiboost" (2.5 cc/litro) que contiene hormonas naturales para inducción de raíces además de manganeso boro y zinc y un producto de origen botánico que tiene propiedades de inductor de resistencia llamado "Biofeed calidad" (2.5 cc/litro) que está compuesto por un extracto de algas marinas y recomendado para prevenir ataques de hongos patógenos del suelo.

3.3.1. Programa de aplicaciones en campo abierto para manejo no convencional.

A continuación se detalla cada aplicación utilizando como criterio la compatibilidad entre los productos comerciales seleccionados y el objetivo de la aplicación.

3.3.1.1. Inmersión de bandejas.

Tricho plus, Ekoroot, Punt

3.3.1.2. Aplicaciones al suelo.

- a- Cosmo aguas, Fosfo K, Maxiboost, Biofeed calidad, Oncol.
- b- Tricho plus, Ekoroot, Punto.

3.3.1.3. Aplicaciones foliares.

- a- Cosmo aguas, Cosmo in, Biofeed calidad, Calciphite, Biocrack, Spintor.
- b- Cosmo aguas, Cosmo in, Coron 25, Magmax, Leafclean.
- c- Cosmo aguas, Cosmo in, Hormovit hortalizas, Fortaleza, Biofeed calidad, Biocrack.
- d- Orobor, Mycotrol, Vektor, Leafclean.
- e- Cosmo aguas, Cosmo in, Permatrol, Biocrack, Flint.
- f- Cosmo aguas, Cosmo in, Wuxal calcio, Naturam 5.
- g- Cosmo aguas, Cosmo in, Leafclean, Biocrack, Flint, Spintor.
- h- Promet cobre, Cal 56.
- i- Defens Ca, Fytosan.

Cuadro 1. Aplicaciones al follaje en campo abierto.

Fechas de aplicación	Producto comercial	Dosis por litro de agua
21 de julio 2011	Cosmo aguas	0.4 gr
16 de agosto 2011	Cosmo in	1.0 cc
9 de setiembre 2011	Biofeed Calidad	2.5 cc
	Calciphite	5.0cc
	Biocrack	2.5 cc
	Spintor	0.75 cc
25 de julio 2011	Cosmo aguas	0.25 cc
18 de agosto 2011	Cosmo in	1.0 cc
12 de setiembre 2011	Coron 25	5.0 cc
	Magmax	2.5 cc
	Leafclean	1.0 cc
28 de julio 2011	Cosmo aguas	0.4 gr
22 de agosto 2011	Cosmo in	1.0 cc
16 de setiembre 2011	Hormovit hortalizas	1.25 cc
	Fortaleza	2.5 cc
	Biofeed calidad	2.5 cc
	Biocrack	2.5 cc
1 de agosto 2011	Mycotrol	1.0 cc
19 de setiembre 2011	Orobor	1.5 cc
	Vektor	1 cc
	Leafclean	1 cc
4 de agosto 2011	Cosmo aguas	0.4 gr
29 de agosto 2011	Cosmo in	1.0 cc
22 de setiembre 2011	Permatrol	2.5 cc
	Flint	0.5 gr
	Biocrack	2.5 cc
8 de agosto 2011	Cosmo aguas	0.4 gr
1 de setiembre 2011	Cosmo in	1.0 cc
26 de setiembre 2011	Wuxal calcio	2.5 cc
	Naturam 5	2.5 cc
11 de agosto 2011	Cosmo aguas	0.4 gr
5 de setiembre 2011	Cosmo in	1.0 cc
	Leafclean	1.0 cc
	Biocrack	2.5 cc
	Flint	0.5 gr
	Spintor	0.75 cc
26 de agosto 2011	Promet cobre	1.25 cc
	Cal 56	2.0 cc

3.3.2. Costos del programa propuesto de manejo no convencional.

Para la determinación de los costos del programa en campo abierto se utilizó la información de los precios de venta proporcionada por el agroservicio Agricultores Unidos de Cartago S.A. y la bitácora de aplicaciones realizadas en la finca. La densidad de siembra es de 66857 plantas por hectárea, con estos datos se establece un costo unitario por planta con el fin de determinar la diferencia entre el costo del cultivo convencional de la finca y el programa propuesto.

3.4. Análisis de laboratorio.

3.4.1. Análisis fitopatológico.

Para el estudio de los fitopatógenos se procedió a realizar tres análisis fitopatológicos completos, el primero se envió al laboratorio de diagnóstico de la Universidad de Costa Rica con el fin de tener una identificación inicial de los organismos presentes, las muestras fueron plantas con afectación severa que presentaban una gran cantidad de síntomas típicos y visibles, la recolección de las muestras se hizo en el cultivo convencional en tres puntos de muestreo donde ya se estaba cosechando la lechuga y presentó áreas con mucho daño, se obtuvo una planta por punto de muestreo donde se incluyó follaje, raíz y suelo; seguidamente fueron enviadas envueltas en papel periódico y dentro de una bolsa de plástico al laboratorio. El segundo se realizó en el Instituto Nacional de Aprendizaje (INA) ubicado en la Chinchilla, San Rafael de Oreamuno, Cartago sobre plantas con lesiones en follaje y tallo visibles, se incluyeron plantas del cultivo convencional de la finca y plantas que estaban dentro de la parcela 1 que tenían aplicaciones con el programa propuesto, el objetivo de este segundo análisis fue identificar y comparar que microorganismos estaban presentes después de 5 semanas de aplicaciones en la raíz, follaje y suelo. Para obtener las muestras de la parcela aplicada y del cultivo convencional se seleccionaron 4

plantas con síntomas iniciales de la enfermedad como fueron lesiones en el follaje y presencia de micelio en el tallo, también se enviaron para su análisis cuatro plantas de ambos tratamientos que incluían el suelo adherido a la raíz para un total de 8 plantas muestreadas. El tercer análisis se hizo el 16 de setiembre del año 2011, se obtuvieron plantas que no mostraron síntomas de daño por enfermedad únicamente de las parcelas 2 y 3 que fueron sometidas al programa. Se recolectaron 4 plantas, 2 de cada parcela, y el criterio de selección de la muestra fue que mostraran una buena sanidad y desarrollo foliar pero que estuvo rodeada de plantas fuertemente afectadas con daño severo en follaje y tallo, ambas muestras incluyeron análisis de suelo y foliar, las plantas seleccionadas se extrajeron con la raíz y suelo adherido y se enviaron al laboratorio envueltas en papel periódico y en bolsas de plástico el mismo día de la colecta en el campo. El objetivo de este análisis fue determinar los microorganismos presentes en estas plantas con una buena condición sanitaria y comparar los resultados con los análisis obtenidos con antelación. La muestra fue analizada en el laboratorio "Biotec" ubicado en el Centro de Incubación de Empresas en el Parque Industrial en Cartago. Todas las muestras fueron tomadas en plantas con la misma fecha de siembra y de las mismas variedades, lo que se pretendió es que todo el material hubiese sido sometido a los mismos factores ambientales de lluvia, temperatura, riego, fertilización, aplicaciones de plaguicidas así como también minimizar las diferencias por las características de tolerancia o susceptibilidad a enfermedades y plagas de cada variedad.

3.4.2. Toma de muestra y análisis químico, textural y de materia orgánica.

Con el propósito de obtener las condiciones físicas y químicas del suelo donde se realizó la investigación se envió para su análisis en el Laboratorio de suelos y foliares de la Universidad de Costa Rica una muestra representativa del área de

cultivo. El procedimiento para obtener la muestra fue el siguiente: por ser la topografía de la finca plana y en forma de rectángulo se realizó el muestreo en forma de "x" partiendo de cada una de las esquinas de la propiedad, se obtuvieron 20 submuestras que se cuartearon y finalmente se extrajo un kilo de suelo que se envió al laboratorio de donde se obtuvo el resultado de fertilidad, contenido de materia orgánica y textura debido a que estos factores inciden directamente en la actividad de los insectos y enfermedades en el suelo y en la parte aérea de la planta así como también en el desarrollo de la lechuga en campo abierto (Davis *et al.* 2002).

3.4.3. Toma de muestras para el análisis nematológico.

Para determinar e identificar los nemátodos presentes en el cultivo se enviaron al Laboratorio de Nematología de la Universidad de Costa Rica dos muestras: una de suelo y otra de raíz obtenidas del área de producción convencional y del área tratada para un total de 4 muestras. La recolección de las muestras se hizo seleccionando dos plantas al momento de la cosecha que mostraron un buen tamaño y una buena condición sanitaria en follaje y tallo con el fin de observar el comportamiento de la población de los nemátodos después de las aplicaciones de los productos comerciales "Ekoroot" y "Oncol" y comparar el resultado con el cultivo convencional. Las plantas seleccionadas se extrajeron con la raíz y suelo adherido, se cortó la parte aérea de la planta, se colocaron las raíces y el suelo en bolsas plásticas y se llevaron al laboratorio el mismo día de la colecta.

3.5. Cultivo hidropónico.

En el cultivo hidropónico se dispuso de un área total bajo cubierta plástica de 550 m², la instalación cuenta con tubería de "PVC" en 3.5 pulgadas de diámetro montadas sobre una estructura metálica a 1.0 m de altura anclada al suelo. Se

dispone de 6578 espacios para producción y de 2748 espacios para “raiceadores” en tubería de 1.5 pulgadas de diámetro para un total de 9326 espacios (Figura 2).

Figura 2. Vista panorámica interna del invernadero para el cultivo.



Para el cultivo hidropónico se utilizó un medidor de potencial de hidrógeno (pH) y conductividad eléctrica (CE) marca Hanna modelo HI 98129 para verificar y corregir los niveles de CE y pH de la solución. En el cultivo hidropónico se utilizaron 8.000 litros de agua en la solución que recircula en el sistema, se utilizaron dos tanques de 4000 litros cada uno y un tanque recolector de 1000 litros, en la operación del sistema únicamente se hicieron observaciones de nivelación de la tubería, tiempo de la inyección y correcciones de pH y CE para darle las mejores condiciones a las plantas sembradas. Después de una limpieza total de las tuberías y de sustituir el agua de los tanques se inició con la siembra el 7 de julio del 2011. A partir del 12 de julio se inició con la implementación del programa de aplicaciones y el monitoreo de pH y CE de la solución.

Para el cultivo hidropónico el programa se basó en seis aplicaciones y se realizaron dos por semana por lo que cada 3 semanas se reiniciaban las aplicaciones, esto debido a que los ciclos de producción son más cortos y están alrededor de 4 a 5 semanas cada ciclo.

Tanto en campo como en cultivo hidropónico el criterio para variar una aplicación se basó en la observación y determinación de la presencia o incremento de insectos o lesiones provocadas por fitopatógenos y condiciones ambientales favorables para su desarrollo y establecimiento.

La recopilación de los datos se hizo en una bitácora de campo donde en cada visita se anotaron las observaciones hechas así como las condiciones de tiempo imperantes desde la aplicación anterior, se registraron los datos concernientes al monitoreo de insectos y enfermedades para determinar si se requería de un ajuste o cambio en la siguiente aplicación. También se hizo un respaldo fotográfico de todo lo observado documentando gráficamente la investigación.

3.5.1. Programa de aplicaciones en el cultivo hidropónico.

Para el cultivo hidropónico se utilizó la misma lista de productos de campo abierto. El criterio de selección para su utilización en hidroponía fue la compatibilidad con programas de manejo integrado y su período de espera de aplicación a cosecha no sea mayor de un día debido a que la cosecha se realizó 3 veces por semana. Las aplicaciones se hicieron inmediatamente después de que se cosechó aprovechando las horas frescas de la mañana para evitar una alta temperatura y un brillo solar fuerte. Las aplicaciones se iniciaron en la misma semana de siembra.

El programa de aplicaciones se enfocó más hacia la prevención y control de insectos plaga, mildiu de la lechuga (*Bremia lactucae*) y botrytis (*Botrytis cinerea*) que según la revisión bibliográfica consultada son los problemas más frecuentes que se presentan en este cultivo bajo condiciones de invernadero (Carrasco *et al.* 1996).

Las aplicaciones de productos comerciales utilizados con el sistema hidropónico se detallan a continuación:

- a- Orobor, Vektor, Spintor, Maxiboost.

- b- Cosmo in, Leafclean, Biocrack, Magmax.
- c- Cosmo in, Permatrol, Biocrack.
- d- Cosmo in, Biofeed calidad, Magmax, Wuxal calcio, Biocrack.
- e- Orobor, Mycotrol, Vektor.
- f- Cosmo in, Leafclean, Biocrack.

Cuadro 2. Aplicaciones en el cultivo hidropónico.

Fecha de aplicación	NOMBRE DEL PRODUCTO	DOSIS POR LITRO
9 de julio 2011	Orobor	1.5 cc
30 de julio 2011	Vektor	1.0 cc
27 de agosto 2011	Spintor	0.75 cc
17 de setiembre 2011	Maxiboost	2.0 cc
12 de julio 2011	Cosmo in	1.0 cc
2 de agosto 2011	Leafclean	1.0 cc
30 de agosto 2011	Biocrack	2.5 cc
20 de setiembre 2011	Magmax	2.0 cc
16 de julio 2011	Cosmo in	1.0 cc
6 de agosto 2011	Permatrol	2.0 cc
3 de setiembre 2011	Biocrack	2.5 cc
19 de julio 2011	Cosmo in	1.0 cc
9 de agosto 2011	Biofeed calidad	2.5 cc
6 de setiembre 2011	Magmax	2.0 cc
	Wuxal calcio	2.0 cc
	Biocrack	2.5 cc
23 de julio 2011	Orobor	1.5 cc
6 de agosto 2011	Mycotrol	1.0 cc
13 de agosto 2011	Vektor	1.0 cc
10 de setiembre 2011		
26 de julio 2011	Cosmo in	1.0 cc
23 de agosto 2011	Leafclean	1.0 cc
13 de setiembre 2011	Biocrack	2.5 cc

3.6. Identificación de prácticas culturales, mecánicas y nutricionales.

Durante el período de desarrollo de la investigación se tomó nota de aspectos de manejo del cultivo tanto con el sistema hidropónico como en campo abierto que pueden mejorar el crecimiento de la plantación donde se incluyeron aspectos sanitarios, nutricionales y culturales acordes con el manejo integrado del cultivo. Dentro de los aspectos observados están:

1. Recepción y manejo de las plántulas en las bandejas de almácigo.
2. Puntualidad en las labores de deshierba, fertilización y riego aéreo.
3. En el invernadero donde se ubica el cultivo hidropónico se observó el manejo de las malezas dentro del invernadero, la manipulación de las plantas enfermas o dañadas así como las medidas sanitarias para el ingreso a la instalación. También el mantenimiento de las instalaciones en lo referido a limpieza y nivelación de los tubos y mantenimiento de mallas antiáfidos y plásticos.

IV. Resultados y discusión de resultados

4.1. Lechuga a campo abierto.

El cuadro 1 presenta las fechas de aplicación de los productos comerciales de acuerdo con el criterio de compatibilidad citado de cada producto, se incluyen las dosis por litro de agua utilizado. Se puede observar que cada aplicación se repitió en tres ocasiones y por las fuertes lluvias que afectaron la zona durante 4 días continuos se hizo necesaria la aplicación de "Promet cobre" y "Cal 56" el 26 de agosto del 2011, el primero tiene un efecto fungicida y bactericida por la molécula de cobre que contiene en su composición y al estar combinada con aminoácidos le permitió penetrar en el tejido de la planta con un efecto de control sobre el patógeno muy rápido, el segundo producto es una fuente con una alta concentración de calcio (56 %) que forma una película sobre la cutícula de la hoja que la protege del ataque de hongos y bacterias al sellar y cicatrizar heridas, la combinación de ambos productos es posible porque el "Cal 56" tiene un Ph neutro lo cual permitió la compatibilidad química para su aplicación.

4.1.2. Determinación del costo del programa propuesto de manejo no convencional.

En el cuadro 3 se puede observar que el manejo convencional durante el período de la investigación se hicieron 3 aplicaciones menos que en el manejo no convencional, también se observa que el costo por aplicación del programa no convencional es superior. Producir una lechuga convencional costó ₡ 2.54 mientras que producir una lechuga con el programa no convencional costó ₡ 4.12; es decir, ₡1.58 más costoso por unidad, lo que representó un 62% más en el costo para el productor en insumos y una cantidad de horas hombre más que se utilizó para las tres aplicaciones que se hicieron adicionales en el cultivo no convencional.

Cuadro 3. Costo de plaguicidas por ciclo de producción de 6 semanas.

Aplicación por hectárea	Costo promedio/ aplicación ¢	Número de aplicaciones	Costo Total ¢	Costo unitario por planta ¢
Finca Convencional	18.900.00	9	170.100,00	2.54
Programa no convencional	23.000.00	12	276.010,00	4.12
Diferencia			105.910,00	1.58
Incremento en el costo (%)				62%

4.1.3. Pérdida de plantas causada por el ataque de enfermedades.

En el cuadro 4 se resume el conteo de plantas dañadas por el ataque de las enfermedades de la lechuga que se presentaron durante el desarrollo de la investigación, se detalla la pérdida por variedad cuando se aplicó el manejo no convencional y el manejo convencional así como el porcentaje de daño que representa.

Cuadro 4. Plantas dañadas con manejo convencional y con manejo no convencional por variedad por hectárea.

Variedad	Convencional: plantas dañadas	% daño	No convencional: plantas dañadas	% daño
Gulf Stream	3307	4.94	2925	4.37
Lucy Brown	3750	5.60	4880	7.30
White Boston	4285	6.41	2448	3.66
Freeze	3333	4.98	2142	3.20
Vulcan(roja)	846	1.26	584	0.87

Del cuadro anterior se puede observar que con manejo no convencional hay una disminución en la cantidad de plantas afectadas con la excepción del cultivar "Lucy Brown" que resultó con más pérdida de plantas provocada por el ataque de enfermedades, coincidente con lo observado en campo durante la investigación. La mejor respuesta a manejo no convencional es en la variedad "White Boston" donde disminuye el daño de un 6.41 % a un 3.66 %, también es la variedad más afectada con el manejo convencional con una pérdida de 4285 plantas por ha. Para el cultivar "Gulf Stream" la diferencia en la disminución del daño es menor a 1 %, resultado similar se observa en el cultivar "Vulcan", lo que indica que dieron poca respuesta al manejo no convencional. En el cultivar "Freeze" el resultado de manejo no convencional obtenido fue regular. La diferencia entre los dos sistemas de manejo no fue contundente lo que presumiblemente indicó que la utilización del sistema no convencional tiene una respuesta en campo similar al convencional.

4.1.4. Daños causados por insectos.

Durante la investigación en la parcela dos se presentó un brote fuerte en el cultivar " Vulcan" de *Agriotis* y *Spodoptera*, para tratar de controlar la plaga se hizo una aplicación extraordinaria del producto "Mycotrol" (*Beauveria bassiana*) pero no hubo un buen efecto de control por el tiempo que es requerido para el establecimiento del biocontrolador en el suelo ya que según la información del fabricante requiere de al menos tres días para parasitar al hospedante, por lo tanto las larvas siguieron alimentándose de las plántulas causando la pérdida de las mismas.

Se detectó en el cultivo durante los monitoreos realizados dos veces por semana , sin causar daño, la presencia de liriomiza (*Liriomiza sp*) y mosca blanca (*Bemisia tabaci*) pero no se establecieron en el cultivo , tampoco se detectó en los monitoreos la presencia de áfidos (*Myzus persicae*).

4.1.5. Resultados de los análisis de laboratorio.

4.1.5.1. Análisis fitopatológicos.

De las visitas realizadas en campo para valorar los aspectos fitopatológicos se pudo observar plantas con daño y plantas sanas tanto en las áreas donde se realizó la investigación como en las áreas de cultivo convencional de la finca (Figura 3).

Figura 3. Áreas de cultivo afectadas.



a-daño en campo

b-White Boston afectada

c-detalle de planta afectada

De acuerdo con lo descrito por Davis *et al.* (2002) y observando los síntomas de la enfermedad se planteó el programa de manejo no convencional muy dirigido hacia el control de *Sclerotinia spp* y *Botrytis sp* por la similitud de los síntomas observados como lo fueron: la presencia de un micelio blanco, presencia de esclerocios, pudriciones del tallo y marchitez de la planta; sin embargo, los análisis realizados no reportan la presencia de éstos fitopatógenos como se puede observar en el cuadro 5.

Cuadro 5. Resumen de los resultados de los análisis fitopatológicos.

Organismo identificado	Laboratorio UCR	Laboratorio INA	Laboratorio BIOTEC
/ Fecha	08/08/2011	19/08/2011	16/09/2011
<i>Botrytis sp.</i>	Positivo	negativo	negativo
<i>Bremia Lactucae</i>	Positivo	negativo	negativo
<i>Alternaria sp.</i>	Negativo	positivo	negativo
<i>Trichoderma spp</i>	Negativo	positivo	positivo
<i>Phytophthora sp</i>	Negativo	negativo	positivo
<i>Pseudomonas sp.</i>	Positivo	positivo	negativo
<i>Xanthomonas sp.</i>	Positivo	positivo	negativo
<i>Erwinia carotovora</i>	Negativo	negativo	positivo

Se puede observar también en este cuadro que la muestra enviada al Laboratorio de diagnóstico de la Universidad de Costa Rica reporta la identificación de los hongos *Botrytis sp* y *Bremia lactucae*. Coincidentalmente Davis *et al.* (2002) reportan que *Botrytis sp* produce un micelio blanco o grisáceo y pudriciones acuosas que pueden confundirse con el daño de *Sclerotinia spp* al marchitarse la planta, mencionan estos autores que es probable encontrar esclerocios producidos por el mismo hongo, lo cual pudo haber inducido al error de considerar la presencia de *Sclerotinia spp* en el campo, es importante resaltar que los otros dos análisis posteriores no muestran la presencia de la enfermedad lo que indicó que presumiblemente hay control con la utilización de los productos comerciales para el control de *Botrytis sp*.

De igual manera para el hongo *Bremia lactucae* apareció en el primer diagnóstico realizado por el laboratorio de la Universidad de Costa Rica lo que hace suponer que hay un control de la enfermedad con la aplicación de los productos comerciales para combatir el hongo. Para el hongo *Alternaria sp* se identificó por el laboratorio del INA y a nivel foliar; Davis *et al.* (2002) mencionan que requiere de períodos de alta humedad y se ve favorecida por el salpique del agua para su diseminación, condición que estuvo presente en la fecha de recolección de la segunda muestra el día 19 de agosto del año en curso, sin embargo; para la tercera muestra que se colectó el día 16 de setiembre del 2011 no se identificó este hongo por el Laboratorio Biotec a pesar de que se mantenían los ciclos de fuertes aguaceros lo que hace presumir que se hizo un control efectivo de la enfermedad.

A pesar de que el hongo *Phytophthora sp* solo aparece reportado en el tercer análisis no se contempló como enfermedad ya que no aparece reportado en la literatura consultada causando algún daño en el cultivo de la lechuga.

La identificación de *Trichoderma sp* en los dos últimos análisis indicó el establecimiento del hongo antagonista en el suelo aunque en poblaciones bajas. Picado. J, (2001) reporta que *Trichoderma sp* es capaz de destruir los esclerocios

y otras estructuras de resistencia de algunos hongos incluyendo a *Botrytis sp* y eso puede explicar con el resultado negativo reportado en las dos últimas muestras (2 y 3) analizadas en el INA y en Biotec respectivamente, cuando ya se aplicó el antagonista (Cuadro 4).

En ninguno de los tres resultados de los análisis se identificaron los hongos *Fusarium sp*, *Pythium sp* o *Sclerotinia sp* los cuales se relacionan con severos daños al cultivo de lechuga por tanto se descartó su presencia en el área evaluada.

En cuanto a las bacterias se identificaron en las tres muestras analizadas; *Pseudomonas sp* y *Xanthomonas sp* en los dos primeros análisis y son causantes de producir pudriciones acuosas, la primera en el tallo y la segunda en el follaje, en el tercer resultado no aparecieron las anteriores; ya para la recolección de la tercera muestra se hicieron más aplicaciones de productos con sulfato de cobre pentahidratado reportado como bactericida por la Universidad de California (2007). En el reporte escrito el laboratorio "Biotec" anotó la presencia de *Erwnia carotovora* a nivel foliar pero sin causar daño, pudo ser también por las aplicaciones con cobre; no obstante, es un potencial punto de infección si se presenta una lesión en la planta o por los maltratos durante la cosecha y el transporte (Davis *et al.* 2002).

4.1.5.2. Análisis químico de suelo.

Cuadro 6. Resultado del análisis químico de suelo.

ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS														
Solución Extractora:		pH	cmol(+)/L						%		mg/L			
KCl-Olsen Modificado		H ₂ O	ACIDEZ	Al	Ca	Mg	K	CICE	SA	P	Zn	Cu	Fe	Mn
LOTE UNICO	S-11-10307	6	0,2	0,08	9,24	3,98	1,24	14,66	1	87	15	39	171	81

De acuerdo con el resultado del análisis químico de suelos se obtiene que el rango de pH está dentro de los límites aceptables que es entre 6 y 7 para la lechuga (Universidad de California, 2007). Según las determinaciones hechas por la

investigadora Bertsch, F.1995 en cuanto a los niveles críticos de los elementos en el suelo se obtienen las siguientes conclusiones: la acidez se considera que está bien cuando el valor es inferior a 0,5 cmol /l en este caso el valor es de 0,20 por tanto está en el rango; en el caso del aluminio la autora manifiesta que valores inferiores a 0,3 cmol/l se consideran buenos y en este caso el valor fue de 0,08 cmol/l lo que se considera aceptable. El fósforo se encuentra en un nivel alto esto es mayor a 50 ppm, calcio y magnesio en niveles óptimos y potasio el nivel está alto, mayor a 0,8 cmol/l. Para los elementos zinc, cobre, hierro y manganeso los niveles están altos, por lo que hay que tener especial atención con el manejo de la acidez del suelo para que estos elementos no produzcan toxicidad en la raíz.

4.1.5.3. Análisis de textura.

Cuadro 7. Resultado del análisis de textura.

ANÁLISIS DE TEXTURA EN SUELOS					
ID USUARIO	ID LAB	ARENA	(%)		Clase
			LIMO	ARCILLA	Textural
LOTE UNICO	RN-1070-11	33	22	45	ARCILLOSO

Según el resultado del cuadro 7 se tiene un suelo con una textura arcillosa que de acuerdo Cerdas *et al.* (2004) es una limitante para el cultivo de la lechuga por ser un suelo que retiene mucha humedad y con mal drenaje en la época lluviosa y en la época seca es un suelo muy duro y compactado. Esto se evidenció en los momentos que se presentaron lluvias intensas con el encharcamiento que presentó el terreno, lo que dificultó tanto las labores de preparación para la siembra como las labores de deshierba y fertilización y esto produjo un retraso con en el desarrollo de las plantas.

4.1.5.4. Resultado del análisis de materia orgánica

El resultado del análisis de materia orgánica presenta los siguientes datos:

Carbono 2.50%

Nitrógeno 0.24%

Relación C/N 10.4

El contenido de materia orgánica es de 3,57 % lo que se considera en un nivel medio ya que el óptimo esta entre 5 y 10 %, la relación C/N se considera muy buena porque con valores entre 8 y 12 es indicativo de un suelo con una buena mineralización de la misma. Si es importante entonces considerar la adición de materia orgánica utilizando enmiendas orgánicas que tengan certificado de calidad, lo cual va a mejorar los contenidos de carbono y mantener la actividad de los procesos de mineralización que llevan a cabo los microorganismos del suelo (Bertsch, F.1995).

4.1.5.5. Análisis nematológico.

Cuadro 8. Resultado del análisis nematológico.

Género	Cultivo convencional		Cultivo no convencional	
	Suelo	Raíz	Suelo	Raíz
Helicotylenchus	600	240	276	5760
Meloidogine J2	600	0	11	1560

Poblaciones por 100 gr de muestra de suelo o raíz.

Comparando ambas muestras del análisis nematológico se deduce que no se logró control de los nematodos en el sistema no convencional, por el contrario se incrementaron las poblaciones tanto en suelo como en raíz, de manera que las aplicaciones combinadas del producto químico "Oncol" (Benfuracarb) con el

biológico "Ekoroot" no fueron efectivas; no obstante; al observar los resultados del cultivo convencional se puede observar que las 2 a 3 aplicaciones individuales del "Oncol" logró una disminución considerable de las poblaciones de los nemátodos por tal razón cuando se hizo la combinación de los dos nematicidas en el cultivo no convencional se esperó un control más amplio en el tiempo, pero no fue así. Estos resultados se explican dado que el producto "Ekoroot" tiene un mecanismo de acción como nematostático, es decir; de repelencia hacia los adultos que mueren por inanición, pero al hacer las aplicaciones en las primeras etapas del cultivo los huevos que quedan en suelo con el transcurrir de los días van eclosionando y encuentran una raíz bien desarrollada y disponible para la alimentación(1). Esta propuesta se debe analizar con detenimiento dado que el costo en mano de obra se incrementa sustancialmente, aproximadamente en 40 horas hombre por hectárea por cada aplicación; esto si, la cantidad de producto se mantuviera en lo recomendación dada por el fabricante de 10 litros por ha.¹

En la figura nº 4 se puede observar la diferencia de las raíces con manejo no convencional y las de manejo convencional. Ambas plantas son de la misma edad y con un tamaño similar. Nótese en la 4-b la gran cantidad de nódulos que se formaron a causa de la acción del nemátodo *Meloidogyne hapla*, característica muy particular que tiene este género de nemátodos de formas agallas, tal como lo señala Davis *et al.* (2002).

En un ensayo, Salazar, L (2008) evaluó la eficacia biológica como nematicida en el cultivo de tomate para el nemátodo *Meloidogyne incognita* del producto comercial "Robust"; que contiene aminoácidos naturales (derivados de la extracción de proteínas vegetales y subproductos de fermentación) y razas seleccionadas de rizobacterias (*Pseudomonas linbergii*, *Pseudomonas fluorescens* y *Bacillus subtilis*), no modificadas genéticamente, que colonizan el sistema radicular de las

¹ Vargas, G. 2011. CTA Soluciones. Comunicación personal.

plantas. Estas establecen una relación simbiótica con la planta; ocupan el espacio radicular alimentándose de los exudados de las raíces y segregando sustancias que las plantas utilizan para aumentar su vigor y antibióticos que las protegen de la acción de nemátodos y hongos. Este autor concluyó que: las plantas tratadas con el "Robust" produjeron mayor masa radicular pero las masas de huevos, las altas tasas de reproducción y la cantidad de nódulos radicales son más altos que las plantas control por lo que el producto no fue efectivo en el control del nemátodo *Meloidogyne incognita*. Resultado similar al observado en la investigación lo obtuvo Salazar, L. Por lo tanto se presume que la propuesta de la investigación para el control de nemátodos en la etapa de huevo, utilizando los productos comerciales "Ekoroot" y "Oncol" no es efectiva.

Figura 4. Raíces manejo no convencional (a) y manejo convencional (b) manifestando el ataque de nemátodos por la formación de nódulos.



4.2. Cultivo hidropónico.

En el cultivo hidropónico se evaluó más la eficacia del programa de manejo no convencional ya que en la época seca los propietarios no pudieron controlar los ataques de plagas y enfermedades que se les presentó, principalmente el hongo *Bremia lactucae* y áfidos (*Myzus persicae*). Además las tuberías se les llenaron de

algas que no permitió la oxigenación de las raíces provocando necrosis y muerte de las mismas, situación que se repitió durante 2 meses donde no se logró obtener el producto con la calidad requerida. Se notó al cabo de la primera semana de evaluación la necrosis en las raíces y se hizo la primera medición de pH que resultó en 7.68 y la conductividad eléctrica (CE) en 1600 $\mu\text{s}/\text{cm}$, también se detectó la formación de algas en la tubería. Basado en estos resultados se tomó la decisión de adicionar 250 gramos de ácido cítrico en los 8000 l de solución para obtener un pH de 6 que está dentro del rango óptimo de 5.5 a 7 tal y como lo reporta Alpizar, L (2006). Después de una semana de adiciones diarias de 200 gramos de ácido cítrico se logró estabilizar la solución y desapareció la formación de algas y se detuvo la necrosis radicular, se le recomendó también a los propietarios bajar la cantidad de nitrato de calcio y sulfato de magnesio en un 25 % con el fin de estabilizar más la solución sin variar las fuentes de nutrientes que han estado utilizando para lo cual se les propuso una nueva fórmula reduciendo las cantidades de nitrato de calcio y de sulfato de magnesio. La fórmula que se les recomendó fue la siguiente:

Solución "A"

1- Fosfato monopotásico	1000 gr
2- Nitrato de potasio	1000 gr
3- Sulfato de potasio	300 gr
4- Sulfato de magnesio	1650 gr

Solución "B"

1- Balance de menores	50 gr
2- Quelato de hierro	132 gr
3- Ácido bórico	14 gr
4- Auge molibdeno	10 gr
5- EDTA manganeso	30 gr
6- Sulfato de zinc	30 gr

Solución "C"

Nitrato de calcio	3000 gr
-------------------	---------

La recomendación se justificó porque al medir la CE al momento de recargar los nutrientes la concentración subía hasta 3.900 $\mu\text{s}/\text{cm}$ lo que pudo también contribuir a la necrosis en las raíces; Rivera, G. (1999) y Alpízar, L. (2006) apuntan que las altas concentraciones de sales producen deterioro de raíces y recomiendan que la conductividad debe mantenerse entre 1.500 y 2.500 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Después de haber realizado el cambio la conductividad se mantuvo en un rango entre 1.100 y 1.900 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

4.2.1. Programa de aplicaciones

En el cuadro 2 se presentan las fechas de aplicación así como los productos comerciales utilizados y las dosis por litro de agua requerido según se definió con anterioridad tomando en cuenta la compatibilidad entre productos. Se puede observar que al realizar 2 aplicaciones por semana el programa se reinicia cada 3 semanas desde la siembra hasta la cosecha; en el invernadero la duración promedio del ciclo de siembra fue de 5 semanas por tanto cada lote cultivado recibió 10 aplicaciones foliares sin presentar síntomas de enfermedades.

En la figura 5 se observan las condiciones de desarrollo radicular y follaje que se obtuvo transcurridas 8 semanas luego de hacer las correcciones en la solución recirculante y 7 semanas de aplicaciones foliares. Nótese en la figura 4 b y 4 c el color y el buen desarrollo logrado y en 4 d el desarrollo de la raíz y que está totalmente blanca.

Figura 5 Vistas del invernadero con el cultivo hidropónico.



a-vista general

b-White Boston

c-escarola

d-desarrollo de raíz

4.2.2. Determinación del costo del programa hidropónico.

Se asume para tener un dato del costo del programa que todos los espacios están ocupados debido a que la cosecha se hace tres o cuatro veces por semana seleccionando las plantas que están listas para el mercado por su tamaño.

El costo de un ciclo de las 6 aplicaciones es de ₡7851 en el área total disponible de 550 m² lo que genera un costo promedio de ₡ 1308 por aplicación y en un mes se hacen 8.66 aplicaciones entonces el costo por mes de las aplicaciones es de ₡11.336, si están sembrados los 9326 espacios el costo por unidad mensual es de ₡ 1.21 en plaguicidas. Como puede observarse el costo del programa aplicado por unidad sembrada es bajo, apenas de ₡ 1.21 en insumos y en horas hombre preparando el producto y aplicándolo no sobrepasó las nueve horas mensuales a un costo de ₡ 950.00 colones la hora, el costo total es de ₡ 8550.00 por mes y por planta ₡0.92, para un costo de ₡2.13, resultado beneficioso para el productor por la baja inversión en el control de plagas y enfermedades.

4.2.3. Insectos y enfermedades.

El jueves 4 de agosto del 2011 se detectó en forma localizada un brote de áfidos en la escarola con una población muy alta, lo que motivó la aplicación de los productos comerciales "Orobor", "Vektor" y "Mycotrol" el mismo día en que fue observado; no obstante, fue hasta el sábado 6 de agosto del 2011 que se realizó, al monitorear el mismo sábado se determinó que ya se había salido de control al encontrarse diseminado el insecto en todo el bloque de escarola, se repitió la aplicación el día jueves 11 de agosto y el viernes 12 de agosto se monitoreó y se observó que se detuvo el avance de la plaga a otras plantas pero ya había deteriorado una buena cantidad de plantas que tuvieron que ser deshechadas. Lo que se logró fue evitar que el áfido se trasladara al resto del cultivo que para ese momento estaba sembrado el invernadero en un 90%. En la figura 6 se muestra

la severidad del daño causado en las plantas de escarola por el ataque de los áfidos.

Figura 6. Plantas con ataque de áfidos.



a-síntomas iniciales

b-ataque severo

c-ataque sin control

Como se puede observar en 6 a y 6 b el deterioro es total, son plantas que ya no se pueden comercializar, en 6 c se aprecia la cantidad de individuos que hay en una sola hoja, lo cual permite comprender el por qué se debe reaccionar de inmediato cuando se detecta con el monitoreo un brote de áfidos. Según Saunders *et al.* (1998) los áfidos en temperaturas moderadas, sombra, baja humedad y abundante alimentación son las condiciones óptimas donde alcanzan las tasas de reproducción más elevadas y son justamente, las que se presentan bajo el sistema de producción hidropónico. El jueves 18 de agosto del 2011 se detectó una planta de escarola con áfidos, solo que esta vez aparecen con una coloración rojiza y con movimientos lentos y torpes, no se identifican otras plantas afectadas por lo que se asume y luego se ratificó que los individuos están parasitados por las aplicaciones con los productos comerciales "Vektor" y "Mycotrol", condición que siguió presentándose hasta la fecha de la finalización de la investigación (Figura 7). Picado, J. (2011) describe la acción del hongo entomopatógeno *Entomophthora virulenta* que es el ingrediente activo de "Vektor", como una penetración de las hifas al cuerpo del hospedante, las hifas se desarrollan en el hemocele y circulan en la hemolinfa invadiendo los tejidos lo que causa al insecto

pérdida de sensibilidad, incoordinación y parálisis, quedando momificado cuando muere

Figura 7. Áfidos parasitados por aplicaciones del producto comercial Vektor (*Entomophthora virulenta*).



En las dos últimas semanas debido a un cambio en las condiciones climáticas que generó un aumento de la humedad relativa ambiental se presentó un brote de *Liriomiza spp* en uno de los bordes de la instalación, los adultos se posan sobre las plantas a alimentarse pero no hay postura de huevos y por lo tanto no hay formación de galerías, es importante resaltar que no hay migración hacia el resto del invernadero lo cual se presume es dado por el efecto repelente del producto comercial "Biocrack" como lo indica la hoja técnica del producto actúa mediante tres mecanismos que afectan el comportamiento o la fisiología de los insectos fitófagos: 1) repulsión, 2) inhibición de alimentación y oviposición y 3) hiperexcitación del sistema nervioso del insecto. Los compuestos químicos del extracto de ajo (alomonas) se complementan por extractos de ruda y manzanilla

que son atraentes (sinomonas) de insectos benéficos como polinizadores, parasitoides y predadores. El producto no es insecticida, actúa de manera preventiva repeliendo e inhibiendo los insectos perjudiciales y atrayendo a insectos benéficos.

En cuanto a la calidad de la producción se logró obtener plantas con un desarrollo muy bueno y una sanidad excelente, hojas limpias y brillantes y con la garantía de no tener residuos perjudiciales para la salud humana y el medio ambiente por la naturaleza de los productos utilizados.

V. Conclusiones y recomendaciones.

5.1 Conclusiones.

1. Como resultado de la investigación se logró determinar que la lechuga se puede manejar con el sistema no convencional con un bajo riesgo para la salud humana y el medio ambiente.
2. Se validó para el sistema de producción de lechuga a campo abierto el programa de manejo no convencional ya que logró un mejor control de las enfermedades al ser comparado con el sistema convencional de producción.
3. En el cultivo con el sistema hidropónico se logró un control muy completo de insectos y enfermedades con el manejo no convencional aplicado.
4. Se determinó en el cultivo a campo abierto, que el sistema de manejo no convencional es más costoso que el convencional, lo cual puede inferir negativamente a que productor realice el cambio de manejo.
5. En el cultivo hidropónico el costo de las aplicaciones es muy bajo y se logró un control completo de insectos y enfermedades por tanto la implementación de manejo no convencional es beneficioso para el productor.

5.2. Recomendaciones.

1. Para cultivo en campo abierto.

- a) Para control de las larvas de *Spodoptera sp* y *Agrotis sp* se puede utilizar un acelerador de descomposición de materia orgánica que contenga bacterias de los géneros : *Azospirillum brasilense*, *Azotobacter chroococcum*, *Lactobacillus acidophilus* y *Saccharomyces cerevisiae* que comercialmente se pueden obtener con el nombre de EM, Bacthon, Stubble digest, Terrabiosa y otros más; aplicados antes de la preparación del suelo para una nueva siembra, con el fin de suprimirle la fuente de alimentación primaria a las larvas y que una buena cantidad muera por inanición y así bajar la incidencia de daño.
- b) En cuanto a recomendaciones de manejo: se deben realizar las labores de deshierba puntualmente y de preferencia antes de que las malezas cubran el cultivo para evitar causar heridas a la planta porque son punto de entrada para las enfermedades, además; son hospederos de insectos plaga.
- c) El manejo de las bandejas de almácigo que llegan al campo debe hacerse de la adecuadamente, no deben colocarse directamente sobre el suelo, porque es un foco de contaminación; hay que establecer un área donde se pueda aislar del contacto con el suelo con la utilización de tarimas, por ejemplo.
- d) Se requiere replantear dentro del manejo no convencional el control de los nemátodos, como consecuencia del mal resultado obtenido en la investigación con los productos utilizados. Se hace necesario disponer un producto de baja toxicidad y de bajo impacto ambiental que controle el estado de huevo de *Meloidogyne sp*.

- e) Utilizar preferentemente variedades que tengan tolerancia o resistencia probada a las enfermedades y plagas identificadas en la explotación.

2. Para el cultivo hidropónico.

- a) Dar mantenimiento permanente a las tuberías en lo referente a la nivelación y la limpieza para evitar la contaminación de la solución nutritiva y la formación de algas.
- b) Eliminar del invernadero plantas con malformaciones o que hayan sido dañadas por insectos o enfermedades.
- c) Mantener el área limpia de malezas.
- d) Eliminar las lechugas que no se vayan a cosechar para que no sean hospedantes de enfermedades e insectos.
- e) Establecer medidas sanitarias para el ingreso de personas y materiales al invernadero.

VI. Bibliografía.

Alpizar, L. 2004. Hidroponía: Cultivo sin tierra. Cartago. Editorial Tecnológica de Costa Rica. 108 p.

Arias. J; Rengifo, T; Jaramillo, M. 2007. Manual Técnico: Buenas Prácticas Agrícolas en la Producción de Frijol Voluble (en línea). Medellín, CO. FAO, MANA, Proyecto UTF. Consultado el 8 de oct. 2011. Disponible en <http://www.fao.org.co/manualfrijol.pdf>

Barbagallo, S; Cravedi, P; Pasqualini, E; Patti, I. 1997. Aphids of the principal fruit-bearing crops. Milan. Bayer S. p .A. IT. 123 p.

Bertsch, F. 1987. Manual para interpretar la fertilidad de los suelos en Costa Rica. San José. Oficina de Publicaciones de la Universidad de Costa Rica. 78 p.

_____. 1998. La fertilidad de los suelos y su manejo. San José. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. CR. 157 p.

Carballo, M; Guharay, F; López , J. 2004. Control biológico de plagas agrícolas. Managua. CATIE (Centro Agronómico Tropical de la Investigación y Enseñanza). 232 p. (Serie Técnica Manual Técnico N° 53).

Carrasco, G. 1996. Manual Técnico: La Empresa Hidropónica de Mediana Escala: La Técnica de la Solución Nutritiva Recirculante ("NFT") (en línea). Talca, CL. Universidad de Talca, FAO. Consultado el 26 de Jul. 2011. Disponible en <http://www.dsspace.otalca.cl/handle/1950/2927>

Cerdas, M; Montero, M. 2004. Guías Técnicas del Manejo Poscosecha de Apio y Lechuga para el Mercado Fresco (en línea). 2004. San José, CR. MAG. Consultado el 25 de oct. 2011. Disponible en <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/>

Davis, M; Subbarao, K; Raid, R; Kurtz, E. 2002. Plagas y enfermedades de la lechuga. Madrid. Mundi-Prensa. España. 79 p.

Durán, A; Mora, D; Ramírez, L. 2000. Compendio de información para la producción vegetal. Editorial de la Universidad de Costa Rica, San José. 164 p

Durán, J. 2002. Bioplaguicidas: Guía de ingredientes activos en América Central. Turrialba. CATIE(Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). CR. 305 p. (Manual Técnico N° 49).

Fernández, O; Quesada, A. 2009. Nemátodos Asociados a los Cultivos en Costa Rica (en línea) . San José,CR. Servicio Fitosanitario del Estado. Consultado el 25 de oct. 2011. Disponible en <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/>

Gilsanz, J. 2007. Hidroponía (en línea).Montevideo, UY. INIA. Consultado el 26 de Jul. 2011. Disponible en <http://www.inia.org.uy>

Infa; FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2002. Manual Práctico: Manejo Integrado de Plagas y Enfermedades en cultivos Hidropónicos en Invernadero (en línea).EC. Consultado el 26 de Jul. 2011. Disponible en <http://www.rlc.fao.org/uploads/media/mip-pdf>

Jiménez, E. 2009. Manejo Integrado de Plagas. Managua. Universidad Nacional Agraria.NI.122 p.

Koppert Biological System. 2005. Curso de Control Biológico y Polinización. Querétaro, MX.1 disco compacto 3.5 pulgadas.

Mossler, M; Dunn, E. 2011. Florida Crop/Pest Managment Profile: Lecttuce (en línea). Florida, USA. University of Florida. Consultado el 17 de oct. 2011. Disponible en <http://www.edis.ifas.ufl.edu/pdffiles>

Pérez, E. 2009. Agricultura Sostenible (en línea).País Vasco, ES. Universidad del País Vasco. Consultado el 25 de oct del 2011. Disponible en <http://www.dicc.hegoa.ehu.es>

Picado, J. 2001. Guía de biopesticidas. San José. Impresos Rápidos Uno S.A. CR. 180 p.

_____. 2011. Agroguía. San José. Amerrique Impresiones S.A. CR. 394 p.

Poder Ejecutivo. Reglamento a la Ley de Protección Fitosanitaria. Decreto Ejecutivo 26921- MAG. La Gaceta N° 134 del 15 de julio de 1993. San José.CR.

Productores de Hortalizas de Centroamérica. 2011. Guía para la identificación y manejo: plagas y enfermedades de cucurbitáceas. Suplemento Especial. Ohio. Meister. Tercer trimestre. USA. 19 p.

Pumisacho, M; Sherwood, S. 2005. Guía Metodológica sobre ECAS (en línea). INIAP. Quito, EC. Consultado el 25 de oct. 2011. Disponible en <http://www.asocam.org/biblioteca>

Rivera, G. 1999. Conceptos introductorios a la Fitopatología. San José. EUNED. CR. 336 p.

Salazar, L. 2008. Evaluación de la eficacia biológica del nematicida orgánico Robust. Informe Final. Laboratorio de Nematología. Universidad de Costa Rica.

Sandoval, C. 2004. Manual técnico: Manejo Integrado de Enfermedades en Cultivos Hidropónicos (en línea). Talca, CL, Universidad de Talca, FAO. Consultado el 26 de Jul. 2011. Disponible en <http://www.fao.org/documents/es/>

Saunders, J; Coto, D; King, A. 1998. 2 ed. Plagas invertebradas de cultivos anuales alimenticios en América Central. Turrialba. CATIE. CR. 305 p. (Serie Técnica Manual Técnico N° 29).

Universidad de California. Pest Management Guidelines (en línea). USA. Consultado el 25 de oct. 2011. Disponible en <http://www.ipm.ucdavis.edu/pmg/crops.agriculture.html>