UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

NIVEL DE PREGADO

CARRERA DE INGENIERÍA AGRICOLA

TESIS DE GRADO

"RESPUESTA DEL CULTIVO DE FRESA (*Fragaria vesca*) A DIFERENTES GRANULOMETRIAS DE CARBON VEGETAL Y RANGOS DE TENSION DE HUMEDAD DEL SUELO BAJO INVERNADERO, EN LA ESTACION EXPERIMENTAL LA ARGELIA"

Tesis previa a la obtención del Título de Ingeniero Agrícola

AUTORES

Walter Leonardo Trelles Agurto

Jorge Luis González Sarango

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Miguel Ángel Villamagua

LOJA – ECUADOR

2014

"RESPUESTA DEL CULTIVO DE FRESA (*Fragaria vesca)* A DIFERENTES GRANULOMETRIAS DE CARBON VEGETAL Y RANGOS DE TENSION DE HUMEDAD DEL SUELO BAJO INVERNADERO, EN LA ESTACION EXPERIMENTAL LA ARGELIA"

TESIS DE PREGRADO PRESENTADA AL TRIBUNAL DE GRADO COMO REQUISITO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRICOLA

APROBADA:

Ing. Gonzalo Jaramillo González

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Luis Valarezo Manosalvas

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Marco Reinoso Acaro

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

CERTIFICACIÓN

En calidad de Director de la Tesis titulada: **"RESPUESTA DEL CULTIVO DE FRESA (*Fragaria vesca*) A DIFERENTES GRANULOMETRIAS DE CARBON VEGETAL Y RANGOS DE TENSION DE HUMEDAD DEL SUELO BAJO INVERNADERO, EN LA ESTACION EXPERIMENTAL LA ARGELIA"**; de la autoría de los señores egresados de la Carrera de Ingeniería Agrícola, Jorge Luis González Sarango y Walter Leonardo Trelles Agurto, misma que ha sido dirigida, revisada y aprobada en su integridad, por lo que considero que es pertinente y adecuada, encontrándose dentro del cronograma establecido para su ejecución; por lo que autorizo su presentación y publicación.

Loja, Marzo del 2014

Ing. Miguel Ángel Villamagua.

DIRECTOR DE TESIS

AUTORIA

Jorge Luis González Sarango y Walter Leonardo Trelles Agurto, declaramos ser autores del presente trabajo de tesis y eximimos expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.

Jorge Luis González Sarango

CI: 1104891153

Marzo de 2014

Walter Leonardo Trelles Agurto

CI: 1104890015

Marzo de 2014

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, REPRODUCCION PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACION ELECTRONICA DEL TEXTO COMPLETO.

Nosotros, Jorge Luis González Sarango y Walter Leonardo Trelles Agurto, declaramos ser autores de la tesis titulada : "RESPUESTA DEL CULTIVO DE FRESA (Fragaria vesca) A DIFERENTES GRANULOMETRIAS DE CARBON VEGETAL Y RANGOS DE TENSION DE HUMEDAD DEL SUELO BAJO INVERNADERO, EN LA ESTACION EXPERIMENTAL LA ARGELIA", como requisito para optar al grado de: Ingeniero Agrícola, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que; con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información de país y del exterior, con las cuales tengan convenio la Universidad.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los seis días del mes de Marzo del 2014, firman los autores.

Firma:		Firma:	
Autor	Jorge L. González S.	Autor	Walter L. Trelles A.
CI	1104891153	CI	1104890015
Dirección	San Cayetano	Dirección	Miraflores Alto
Celular	0981083192	Celular	0968040380
E-mail	pepeluis1912@hotmail.com	E-mail	walltrelles@gmail.com

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis:	Ing. Miguel Ángel Villamagua
Tribunal de Grado:	Ing. Gonzalo Jaramillo González
	Ing. Luis Valarezo Manosalvas
	Ing. Marco Reinoso Acaro

AGRADECIMIENTO

Nuestra GRATITUD y ADMIRACIÓN para nuestros Docentes, quienes con nobleza y entusiasmo nos transmitieron sus conocimientos desde las aulas de tan prestigiosa Universidad Nacional de Loja.

De manera especial al Ing. Miguel Villamagua, director de tesis por habernos brindado y compartido sus sabios consejos y conocimientos para guiarnos de manera acertada en la elaboración de este trabajo de grado.

Jorge González

Walter Trelles

DEDICATORIA

A los seres que me dieron la vida pues gracias a ellos mis sueños se hacen posibles, mis hermanas por llenarme de alegría con el pasar de los días. A la Universidad Nacional de Loja, por brindarme mediante sus distinguidos docentes el apoyo necesario en todo sentido.

Jorge

Esta investigación la dedico con mucho amor a mi Dios y a mis adorados padres, quienes me han apoyado moral y económicamente en cada momento de mi vida, permitiéndome de esta manera alcanzar los objetivos a pesar de todas las dificultades presentadas

Walter

INDICE DE CONTENIDOS

CONTENIDO **PAG.**

PORTADA.....i
PORTADA.....i
APROBACIÓN DE TRIBUNAL ii
CERTIFICACIÓN iii
AUTORIA iv
AGRADECIMIENTO vi
DEDICATORIA vii
INDICE DE CONTENIDOS viii
INDICE DE CUADROS.....xiii
INDICE DE FIGURA.....xiv
INDICE DE ANEXOS xv
RESUMEN xvii
ABSTRACT.....xviii
I. INTRODUCCIÓN.....1
II. MARCO TEÓRICO 3
2.1. GENERALIDADES DEL CULTIVO.....3
2.1.1. Clasificación Científica. 3
2.1.2. Descripción Botánica..... 3
2.1.3. Plagas y enfermedades 5
2.1.3.1. Plagas..... 5
2.1.3.2. Enfermedades 6
2.1.4. Requerimientos climáticos 7
2.1.4.1. Clima 7
2.1.5. Requerimiento hídrico 7
2.1.5.1. Láminas de riego 7
2.1.5.2. Calidad del agua 7

2.1.6. Requerimientos nutricionales 9
2.1.6.1. Materia orgánica 9
2.1.6.2. Textura 10
2.1.6.3. Drenaje 10
2.1.6.4. pH 10
2.1.6.5. Conductividad eléctrica 11
2.1.6.6. Relación entre la conductividad eléctrica con las propiedades del suelo y los nutrientes. 12
2.1.6.7. Macro y micro nutrientes 13
2.2. INVERNADERO 15
2.2.1. Factores climáticos importantes dentro de un invernadero en el cultivo de fres. 15
2.2.1.1. Temperaturas 15
2.2.1.2. Humedad relativa 16
2.2.1.3. Ventilación 16
2.3. CARBÓN VEGETAL 17
2.3.1. Generalidades 17
2.3.2. Propiedades químicas y físicas del carbón vegetal 17
2.3.3. El carbón vegetal como material de mejoramiento del suelo 19
2.3.4. Equilibrio de nutrientes y lixiviación 19
2.3.5. Beneficios agrícolas del carbón vegetal 20
2.3.6. Propiedades agrícolas del carbón vegetal 20
2.4. PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO 21
2.4.1. Potencial del agua en el suelo 23
2.4.1.1. Potencial gravitacional 25
2.4.1.2. Potencial Matricial 25
2.4.1.3. Potencial Osmótico 25
2.4.1.4. Potencial de presión 25
2.4.2. La curva de retención del agua del suelo 26
2.4.3. Factores que determinan la forma de la curva de retención del agua del suelo. 27
2.4.4. Potencial de energía libre (pF) 27
2.4.5. Puntos importantes de la curva de retención del agua en el suelo 28

2.4.5.1. Saturación 28
2.4.5.2. Capacidad de campo 28
2.4.5.3. Punto de marchitez permanente 29
2.4.5.4. Coeficiente higroscópico 29
2.4.5.5. Agua aprovechable 29
2.4.5.6. Capacidad de aireación 29
2.4.5.7. Porosidad 29
2.4.5.8. Porosidad total 30
2.4.5.9. Volumen físicamente inerte 30
2.5. TENSIÓMETROS 30
2.5.1. Principios 30
2.5.2. Funcionamiento 30
2.5.3. Componentes 31
2.5.4. Principio de Funcionamiento 31
2.5.5. Rangos de uso 31
2.5.6. Aplicaciones 32
2.6. ESTUDIO DE RENTABILIDAD 32
2.6.1. Elaboración del presupuesto parcial 33
2.6.2. Relación Beneficio-Costo 33
2.7. INVESTIGACIONES REALIZADAS 33
2.7.1. Carbón vegetal 33
2.7.2. Láminas de Riego y Rendimiento en el cultivo de Fresa 35
III. METODOLOGÍA 39
3.1. LOCALIZACIÓN DEL ENSAYO 39
3.1.1. Ubicación Política. 39
3.1.2. Ubicación geográfica 39
3.1.3. Clasificación Climática 40
3.1.4. Suelos 40
3.1.5. Carbón vegetal 41
3.1.6. Clasificación ecológica 41

3.2. MATERIALES 41
3.2.1. Materiales de campo 41
3.2.2. Material de laboratorio 42
3.3. METODOLOGÍA 42
3.3.1. Diseño estadístico 42
3.3.1.1. Modelo experimental 42
3.3.1.2. Modelo matemático 42
3.3.1.3. Variables 43
3.3.1.4. Especificaciones técnicas del diseño 44
3.3.1.5. Hipótesis 45
3.3.2. Agrotecnia del cultivo 46
3.3.2.1. Preparación del suelo 46
3.3.2.2. Levantamiento de camas 46
3.3.2.3. Aplicación del fertilización base 47
3.3.2.4. Colocación y ahoyado del cobertor 47
3.3.2.5. Trasplante 48
3.3.2.6. Control fitosanitario 49
3.3.2.7. Podas 49
3.3.2.8. Manejo de temperatura y humedad relativa 50
3.3.2.9. Fertirrigación 50
3.3.2.10. Comercialización 52
3.3.3. Metodología del primer objetivo 52
3.3.3.1. Análisis de suelos 52
3.3.4. Metodología para el segundo objetivo 54
3.3.5. Metodología para el tercer objetivo 56
3.3.5.1. Mediciones experimentales 56
3.3.5.2. Rentabilidad económica 56
3.3.5.2.1. Costos variables. 56
3.3.5.2.2. Ingresos. 56
3.3.5.2.3. Costos de producción. 57

3.3.5.2.4. Relación beneficio/costo. 57
3.3.6. Metodología para el cuarto objetivo 57
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 58
4.1. "Determinar la granulometría de Carbón vegetal óptima en los rango ≤ 2mm, ≥ 2.1 y ≤ 4.5 mm, para mejorar las condiciones físicas del suelo de los invernaderos de la Estación experimental La Argelia" 58
4.1.1. Propiedades químicas del suelo 58
4.1.2. Propiedades físicas del suelo 60
4.2. "Establecer el rango de tensión de humedad óptima, 15 cb - 20 cb, 15 cb - 30 cb y 15 cb - 40 cb que permita una mejor relación de agua y aire en el cultivo de fresa bajo invernadero". 62
4.2.1. Láminas de riego 62
4.3. "Evaluar la rentabilidad económica de las combinaciones de carbón vegetal y tensión de humedad, sobre el rendimiento del cultivo de fresa bajo invernadero". 63
4.3.1. Rendimiento en kg/planta/tratamiento 63
4.3.2. Costos de producción 64
4.3.3. Costos Variables 65
4.3.4. Ingreso bruto por tratamiento 66
4.3.5. Relación Beneficio-Costo 67
4.4. Difundir los resultados obtenidos en la presente investigación a campesinos, técnicos, profesores, estudiantes y demás interesados en la temática." 67
V. CONCLUSIONES 68
VI. RECOMENDACIONES 69
VII. BIBLIOGRAFIA 70
VIII. ANEXOS 75

INDICE DE CUADROS

CUADRO **PAG.**

Cuadro 1. Directrices para la evaluación de la calidad del agua de riego (FAO, 1985). 8
Cuadro 2. Demanda de nutrientes en el cultivo de fresa. 13
Cuadro 3. Propiedades químicas del carbón vegetal 18
Cuadro 4. Valores de succión: atmósfera/bares y cm de columna de agua; y, su equivalencia a valores de pF. 27
Cuadro 5. Puntos más importantes de la curva de pF. 28
Cuadro 6. Tratamientos con diferentes granulometrías de carbón vegetal y tensiones de humedad en el cultivo de fresa, Loja – Estación Experimental "La Argelia", 2013. 43
Cuadro 7. Cantidad de fertilizantes aplicado en el cultivo de fresa, Loja – Estación Experimental "La Argelia", 2013. 47
Cuadro 8. Solución base para trasplante de fresa, Loja – Quinta Experimental "La Argelia", 2013. 48
Cuadro 9. Productos químicos empleados para el control de las enfermedades en el cultivo fresa. 49
Cuadro 10. Variación de temperatura en invernadero 51
Cuadro 11. Variación de humedad relativa en invernadero 51
Cuadro 12. Análisis químico del suelo antes y después del ensayo 58
Cuadro 13. Análisis físico del suelo antes del ensayo 60
Cuadro 14. Análisis físico del suelo Después del ensayo 61
Cuadro 15. Consumo de agua en (mm) y número de riegos en el cultivo de fresa en los diferentes rangos de tensión, en la Estación Experimental la Argelia, Diciembre 2012 – Septiembre 2013. 62
Cuadro 16. Análisis de varianza para el rendimiento de 22 cosechas de fresa, en la Estación Experimental la Argelia. Loja, 2013. 63
Cuadro 17. Promedio y Prueba de Tukey al 5% para rendimientos kg/planta en el cultivo de fresa 64
Cuadro 18. Cuadro resumen de los costos de producción en el cultivo de fresa, Estación experimental la Argelia. 2013 65
Cuadro 19. Costos variables por tratamiento en el cultivo de fresa, Estación Experimental la Argelia. 2013. 65
Cuadro 20. Ingreso bruto / tratamiento en el cultivo de fresa, Estación Experimental la Argelia. 2013 66
Cuadro 21. Beneficio-Costo / tratamiento en el cultivo de fresa, Estación experimental la Argelia. 2013. 67

INDICE DE FIGURA

FIGURAS PAG.

Figura 1. Diagrama triangular para evaluación de las condiciones físicas del suelo, (Tomado de ILACO, B.V. 1981) 22
Figura 2. Curva de retención de agua del suelo 24
Figura 3. Ubicación del experimento, sector Los Molinos de la Estación Experimental La Argelia. 39
Figura 4. Fotografía Descripción del perfil de suelos en los invernaderos 40
Figura 5. Preparación del suelo, Loja 2012 46
Figura 7. Construcción de camas, Loja, 2012 46
Figura 6. Aplicación de Fertilización Base, Loja, 2012 47
Figura 8. Colocación de Acolchado y hoyado Base, Loja, 2012 48
Figura 9. Trasplante de plántulas de fresa, Loja, 2012 48
Figura 10. Control fitosanitario Loja, 2013 49
Figura 11. Poda de flor, Loja, 2013 50
Figura 12. Comercialización de fresa Loja, 2013 52

INDICE DE ANEXOS

ANEXO PAG.

Anexo 1. Análisis químico antes del ensayo 75
Anexo 2. Análisis químico después del ensayo.....76
Anexo 3. Propiedades físicas antes del ensayo 77
Anexo 4. Propiedades físicas después del ensayo 78
Anexo 5. Invernadero de la Universidad Nacional de Loja. 79
Anexo 6. Croquis del sistema de riego instalado en el lugar del ensayo.....80
Anexo 7. Cálculos de fertilización base para el cultivo de fresa, en el invernadero de la Universidad Nacional de Loja, La Argelia enero 2013.....81
Anexo 8. Cálculos de fertirrigación para el cultivo de fresa, en el invernadero de la Universidad Nacional de Loja, La Argelia enero 2013.....83
Anexo 9. Curvas de calibración en base a masa, en el lugar de ensayo 85
Anexo 10. Costo de producción sin carbón, bajo invernadero, Loja 2013.....88
Anexo 11. Tríptico diseñado para el día de campo, La Argelia, diciembre 2013 91
Anexo 12. Gigantografía diseñada para el día de campo, La Argelia, Diciembre 2013.92
Anexo 13. Gráfica del Rendimiento en g/ planta/ tratamiento, Mayo 2013 - Septiembre 2013, La Argelia. 93
Anexo 14. Gráfica sobre el Rendimiento en kg/planta/tensión, Mayo 2013 – Septiembre 2013, La Argelia.....93
Anexo 15. Gráfica sobre Rendimiento en kg/planta/granulometría, Mayo 2013 – Septiembre 2013, La Argelia. 94
Anexo 16. Gráfica del promedio de variación de temperatura, para la 07H00 am, en el invernadero y la estación Meteorológica, Enero 2013 – septiembre 2013. ..94
Anexo 17. Gráfica del promedio de variación de temperatura, para la 10H00 am, en el invernadero y la estación Meteorológica, Enero 2013 – septiembre 2013. ..95
Anexo 18. Gráfica del promedio de variación de temperatura, para la 13H00 am, en el invernadero y la estación Meteorológica, Enero 2013 – septiembre 2013. ..95
Anexo 19. Gráfica del promedio de variación de temperatura, para la 16H00 am, en el invernadero y la estación Meteorológica, Enero 2013 – septiembre 2013. ..96
Anexo 20. Gráfica del promedio de variación de temperatura, para la 18H00 am, en el invernadero y la estación Meteorológica, Enero 2013 – septiembre 2013. ..96
Anexo 21. Gráfica del promedio de variación de humedad relativa, para la 07H00 am, en el invernadero y la estación Meteorológica, Enero 2013 – septiembre 2013.....97

Anexo 22. Gráfica del promedio de variación de humedad relativa, para la 10H00 am, en el invernadero y la estación Meteorológica, Enero 2013 – septiembre 2013. 97
Anexo 23. Gráfica del promedio de variación de humedad relativa, para la 13H00 am, en el invernadero y la estación Meteorológica, Enero 2013 – septiembre 2013. 98
Anexo 24. Gráfica del promedio de variación de humedad relativa, para la 16H00 am, en el invernadero y la estación Meteorológica, Enero 2013 – septiembre 2013. 98
Anexo 25. Gráfica del promedio de variación de humedad relativa, para la 18H00 am, en el invernadero y la estación Meteorológica, Enero 2013 – septiembre 2013. 99
Anexo 26. Gráfica del promedio de variación de humedad relativa en el invernadero y la estación Meteorológica, Enero 2013 – septiembre 2013. 99
Anexo 27. Datos de temperatura bajo condiciones de invernadero, Enero 2013 – septiembre 2013, Loja. 100
Anexo 28. Datos de humedad relativa bajo condiciones de invernadero, Enero 2013 – septiembre 2013, Loja. 100

RESUMEN

La presente investigación se realizó en la Estación Experimental La Argelia de la Universidad Nacional de Loja, entre noviembre del 2012 y septiembre del 2013, cuyo objetivo principal, fue el de generar alternativas para el mejoramiento de las condiciones físicas de los suelos de la hoya de Loja, para la producción de fresa (*Fragaria Vesca*) bajo invernadero, utilizando diferentes granulometrías de carbón vegetal y tensiones de humedad del suelo; y, consecuentemente mejorar los ingresos de los productores, dado que las condiciones físicas de los suelos de la hoya de Loja, los mismos que presentan serias limitaciones para el crecimiento de las plantas como: baja capacidad de aireación (CA), bajo de contenido de materia orgánica (MO), una textura arcillosa a franco arcillosa, dando como consecuencia un deficiente intercambio de CO_2 y O_2 en la zona radicular. El diseño fue de bloques completamente al azar con arreglo bifactorial (3x3) con tres repeticiones. Las variables independientes fueron: a) Sustrato (< 2 mm, 2,1 mm – 4,5 mm, y 0 mm de granulometría de carbón vegetal) y b) Rangos de humedad (15 cb – 20 cb, 15 cb – 30 cb y 15 cb – 40 cb). La dosis de carbón vegetal para todos los tratamientos fue de 2,0 kg/m^2, a excepción del testigo. Las condiciones físicas del suelo se mantuvieron en condiciones equivalentes a bueno en todos tratamientos incluidos el testigo. El pH de los sustratos se mantuvo en el rango de ligeramente acido. La CIC pasó de 10.58 Cmol (+) Kg^{-1} a 12.35 Cmol (+) Kg^{-1} equivalente a medio; la materia orgánica en los sustratos con carbón vegetal permanece en el rango medio y el testigo en bajo; la conductividad eléctrica fue de 1.7 mmhos cm^{-1}en los sustratos con carbón vegetal, siendo un valor desfavorable para el rendimiento del cultivo; mientras que en el testigo se encontró en 0.8 mmhos cm^{-1}. El nitrógeno en todos los sustratos se mantuvo en el rango de alto. En el potasio hubo un descenso de 1.1 Cmol (+) Kg^{-1} a 0.724 Cmol (+) Kg^{-1} correspondiente a alto, esto se debe a que el consumo de potasio por parte del cultivo de fresa es alrededor de 0.90 Cmol (+) Kg^{-1} durante su fase fenológica. El contenido de fosforo se presentó en exceso, lo que dificulta la absorción del Fe, Mn y Zn. En cuanto al calcio, al inicio del ensayo presentó un valor de 11.6 Cmol (+) Kg^{-1}, mientras que al final 9.49 Cmol (+) Kg^{-1}, esta disminución obedece a que el cultivo de fresa es exigente en calcio en sus días de floración y fructificación. El rango de tensión de 15 cb a 20 cb presento un mayor consumo de agua con 237 mm y el de menor con 148 mm correspondió para en el rango de 15 cb a 40 cb. El testigo presentó el mayor rendimiento con 0.719 kg/planta y es estadísticamente diferente al rendimiento de 0,607 Kg/planta que presentó el sustrato S1 (2 mm de carbón vegetal). La relación beneficio fue de 1.6 en el T8 (15 - 30 cb + 0 mm de carbón vegetal).

Palabras claves: Carbón vegetal, Tensiones de humedad

ABSTRACT

This research was conducted at La Algeria Experimental Station of the Universidad Nacional de Loja, between November 2012 and September 2013, its main objective was to generate alternatives to improve the physical conditions of the soils of the basin of Loja for the production of strawberry (*Fragaria vesca*) in a greenhouse using different grain sizes of charcoal and soil moisture tensions; thus, improving producers' income. The physical conditions of the soils of the basin of Loja present serious limitations for the growth of plants such as: low aeration capacity (AC), low content of organic matter (OM), and a clay to clay loam texture, therefore the exchange of CO_2 and O_2 in the root zone is deficient. A completely randomized design with a factorial arrangement (3x3) with three replications was applied. The independent variables were: a) Substrate (<2 mm , 2.1 mm - 4.5 mm , 0 mm of charcoal grain size) and b) Moisture range (15 cb - 20 cb 15 cb - cb 30 and 15 cb - cb 40). Charcoal dose for all treatments was 2.0 kg/m2, except the control sample. The physical conditions of the soil were maintained in good conditions in all treatments including the control sample. The pH of the substrates was maintained in the range of slightly acidic. The CEC increased from 10.58 cmol (+) Kg^{-1} to 12.35 cmol (+) Kg^{-1} equivalent to medium, the organic matter in the substrates with charcoal remained in the mid-range and the control sample in the low-range, the electrical conductivity was 1.7 mmhos cm-1 in the substrates with charcoal, which is a poor value for the crop yield, while the control sample presented 0.8 mmhos cm-1. The nitrogen content in all substrates was in the higher range. The potassium decreased from 1.1 cmol (+) Kg^{-1} to 0.724 cmol (+)Kg^{-1} corresponding to high, this is due to the consumption of potassium by the strawberry crop is about 0.90 cmol (+) Kg^{-1} during its phenological phase. The phosphorus content was in excess, which hinders the absorption of Fe, Mn and Zn. Regarding the calcium content, at the beginning had 11.6 cmol (+) Kg^{-1}, while at the end had 9.49 cmol (+) Kg^{-1}, this decrease is because the strawberry crop demands calcium in their days of flowering and fruiting. The tension range of 15 cb to 20 cb presented a greater consumption of water with 237 mm and the lowest was 148 mm for the range of 15 cb to 40 cb. The control sample showed the highest yield with 0.719 kg/plant and is statistically different from the yield of 0.607 Kg/plant of the S1 substrate (2 mm charcoal). The benefit ratio was 1.6 in the T8 (15 - 30 cb + 0 mm charcoal).

Keywords: Charcoal and soil moisture tensions

I. INTRODUCCIÓN

En la provincia de Loja situada en la zona temperada andina, comprendida en un rango de altitud de 1600 a2800 msnm; y, al igual que el resto de la provincia, presenta una fisiografía dominada por terrenos de moderada a fuerte pendiente, por lo que la disponibilidad de tierras planas u onduladas aptas para la producción de cultivos limpios, son muy escasas. A este antecedente, se suman la división de predios por herencia y los procesos de la reforma agraria que establecían fundamentalmente parcelar las haciendas del Estado y adjudicarlas a los campesinos, lo que han determinado que la mayoría de las unidades agropecuarias sean exclusivamente minifundios. Según el Censo Agropecuario (2000), la superficie cultivada de los minifundios hasta dicho año 2000 en los terrenos comprendidos de 0.1 ha a5.0 ha corresponde a 63.5 % de la superficie a nivel nacional; así también menciona que los terrenos comprendidos de 5.1 ha a20 ha de superficie corresponde a 21 %, terrenos de 20 ha a 100 ha corresponde a 13.2 % y mayores a 100 ha corresponde al 2.3 % de la superficie a nivel nacional. Particularmente en la provincia de Loja la tenencia de la tierra expresada en unidades de producción agropecuarias (UPAS) indican que superficies menores a 10 ha comprenden 69.74 %, superficies de 10 ha a 50 ha comprenden 25.46 % y mayores a 50 ha comprenden 4.8 %.

Frente a la imposibilidad de ampliar la frontera agrícola en la zona, nace la necesidad de generar tecnologías para optimizar el uso del suelo y el agua, en correspondencia con las condiciones biofísicas y socioeconómicas del entorno. En tales circunstancias, la producción intensiva de cultivos altamente rentables bajo condiciones controladas de invernadero, se ha convertido en una opción viable, que de manera progresiva viene ganando aceptabilidad a nivel de pequeños y medianos productores, debido a que se tiene las siguientes ventajas: un microclima controlado, el uso de pequeñas extensiones de terreno (en promedio 1000 m^2), la utilización de poca agua de riego, el empleo de mano de obra principalmente familiar, la diversificación de los cultivos, la elevada productividad y la opción de obtener la producción en las temporadas con mejores precios en el mercado.

Además, investigaciones realizadas en la “Serie Punzara” por Valarezo et al (1998), sobre las condiciones físicas de los suelos, han determinado serias limitaciones en los suelos para el crecimiento de las plantas como: capacidad de aireación (CA) muy pobre, bajo contenido de materia orgánica (MO) y de su textura arcillosa a franco arcillosa, como consecuencia no existe en la zona radicular un normal intercambio de CO_2 y O_2. Desde el punto de vista químico, determinan una reacción extremadamente ácida en los horizontes superiores, con contenido de MO medio y baja disponibilidad de nitrógeno (N) y fosforo (P). Esto condiciona seriamente el desarrollo de la explotación de los cultivos en la zona.

Por otro lado, la aplicación inadecuada del agua de riego en el invernadero, ya sea en déficit o en exceso a los requerimientos del cultivo, produce una serie de situaciones adversas de la relación agua-aire en el suelo, generando enfermedades que determinan bajos rendimientos, mayores costos de producción, producto de mala calidad y, con riesgos de acelerar procesos de salinización en condiciones deficitarias de riego; pero también, el exceso de riego acarrea problemas de aireación del suelo, insuficiente intercambio de CO_2 del suelo a la atmosfera y de O_2 de la atmosfera al suelo y enfermedades fungosas a las raíces.

La presente investigación responde a la necesidad de generar alternativas viables para el mejoramiento de las condiciones físicas de los suelos de la hoya de Loja, en la producción del cultivo de fresa *(Fragaria vesca)* bajo condiciones de invernadero, utilizando diferentes granulometrías de carbón vegetal y diferentes tensiones de humedad del suelo y, consecuentemente mejorar los ingresos de los productores. Los objetivos planteados en la presente investigación, fueron:

- Determinar la granulometría de carbón vegetal óptima en los rangos ≤ 2mm, ≥ 2.1 mm y ≤ 4.5 mm, para mejorar las condiciones físicas del suelo de los invernaderos de la Estación experimental La Argelia.

- Establecer el rango de tensión de humedad óptima, 15 cb – 20 cb, 15 cb – 30 cb y 15 cb – 40 cb que permita una mejor relación de agua y aire en el cultivo de fresa bajo invernadero.

- Evaluar la rentabilidad económica de las combinaciones de carbón vegetal y tensión de humedad, sobre el rendimiento del cultivo de fresa bajo invernadero.

- Difundir los resultados obtenidos hacia diferentes sectores involucrados e interesados en el tema.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. GENERALIDADES DEL CULTIVO

2.1.1. Clasificación Científica.

Según Infoagro (2010), la clasificación científica de la fresa es la siguiente:

- Reino: Plantae
- División: Mognoliophyta
- Clase: Magnoliopsida
- Orden: Rosales
- Familia: Rosáceas
- Subfamilia: Maloidea
- Género: Fragaria
- Especie: Vesca L.

2.1.2. Descripción Botánica

a. Raíces

Proexant (2004), menciona que las raíces son de aspecto fibroso, se originan en la corona, se dividen en primarias que son más gruesas y hacen el papel de soporte, son de color café oscuro y nacen en la base de las hojas, y secundarias que son raicillas alimenticias, más delgadas y de color marfil; su número es variable y hay dos tipos, principales y secundarias. Las raíces penetran en el suelo hasta 0.80 m y el promedio de ellas se encuentra en los primeros 0.40 m.

b. Tallo.

Para Montes (1986) la frutilla es una planta perenne considerada como herbácea, presenta un tallo de tamaño reducido denominado corona, lleva las yemas tanto vegetativas como florales y de ella nacen: las hojas, estolones o guías y las inflorescencias. En una corona sana, al hacer un corte vertical o transversal, se deben observar su centro de color claro, sin manchas o coloraciones rojizas, que serán índice de alguna enfermedad fungosa.

c. Hojas

Vera (1993) manifiesta que las hojas se hallan insertas en peciolos de longitud variable, son pinnadas o palmeadas, subdivididas en tres foliolos. Tienen muchos estomas lo que permite su transpiración y a la vez las hace muy susceptibles a la falta de humedad; las 10 hojas que posee le permite transpirar más o menos medio litro de agua en un día caluroso.

d. Estolones

Brazanti (1989) menciona que el estolón es un brote delgado, largo rastrero que se forma a partir de las yemas axilares de las hojas situadas en la base de la corona, se desarrollan en gran cantidad en épocas de alta temperatura. Por lo general el primer nudo es latente pero a veces puede dar origen a otro estolón más pequeño. En el extremo del estolón se forma una roseta de hojas que en contacto con el suelo emite raíces, lo que origina una nueva planta con idénticos caracteres que la planta madre. Los estolones constituyen el método más fácil de propagación de plantas.

e. Flores

Echeverría (1989) cita que la flor de la frutilla es de simetría actimorfa (radial) pedunculada con un grueso receptáculo que se hipertrofia después de la fecundación para convertirse en la parte carnosa y comestible de la planta. Las flores insertas en el eje central de la inflorescencia se abren primero y dan frutos más grandes, las insertas en los ejes secundarios y terciarios y así sucesivamente tiene un número menor de pistilos y dan frutos de menores dimensiones. Es frecuente que las flores más tardías no den fruto sino que aborten.

Echeverría (1989) indica que las flores pueden ser perfectas (hermafroditas), con órganos masculinos y femeninos (estambres y pistilos), o imperfectas con un solo órgano masculino o femenino (unisexuales).

f. Inflorescencia

Folquer (1989) escribe que las flores están agrupadas en inflorescencias, de tallos no modificados, en las que una bráctea sustituye en cada nudo a una hoja, mientras que la yema axilar de ésta se desarrolla en una rama secundaria o eje de la inflorescencia. Las inflorescencias son del tipo “cima bipora” que pueden tener un raquis con ramificación alta o ramificación basal, para el primer caso dan una mayor facilidad para la recolección y en el segundo dan a veces frutos más grandes.

g. Fruto

Folquer (1989) señala que la fresa es un fruto múltiple denominado botánicamente "etéreo", cuyo receptáculo constituye la parte comestible. El receptáculo maduro tiene hasta 5 cm de diámetro de formas achatadas, globosa, cónica alargada, cónica alargada con cuello, en cuña alargada y en cuña corta. Su color puede ser rosado, carmín, rojo o púrpura. El receptáculo ofrece una gran variedad de gustos, aromas y consistencia que caracterizan a cada variedad. Los aquenios, llamados vulgarmente semillas, son frutos secos indeiscentes, uniseminados de aproximadamente 1 mm de largo que se encuentran insertados en la superficie del receptáculo o en pequeñas depresiones más o menos profundas denominadas criptas, el color de los aquenios puede ser amarillo, rojo, verde o marrón. Un fruto mediano suele tener de 150 a 200 aquenios, pudiendo llegar hasta 400 en los frutos de gran tamaño.

2.1.3. Plagas y enfermedades

2.1.3.1. Plagas.

Folquer *et al*., (1989) indica que las plagas de la fresa son las siguientes:

a. Áfidos: Pulgón de la frutilla (*Pentatrichopus fragaefolii*)

Daña por succión de la savia, deteniendo el crecimiento de las plantas, y lo más importante es que a través de esta acción transmite virosis, el clima seco favorece el desarrollo de nuevas poblaciones. Se pueden controlar con insecticidas sistémicos y de contacto.

b. Arañitas: Bimaculada (*Tetranychusurticae y cinnabarinus*).

Con condiciones climáticas favorables, cada generación se completa en aproximadamente 20 días. Su daño se manifiesta desde comienzos de la época seca, observándose en el envés de las hojas pequeñas manchas amarillas, y si el ataque es muy intenso, la hoja toma una coloración café rojiza, secándose en muchos casos.

c. Gusanos Cortadores: Larvas de lepidópteros (*Copitarsia*)

Atacan la corona cortándola, a veces daña también los frutos formando galerías.

d. Gusano De La Fresa (*Otiorhynchus rugosos triayus)*

La forma adulta se alimenta de las hojas y tallos y las larvas causan serios daños en la corona y raíces secundarias. Todo este tipo de gusanos o larvas se pueden controlar

incorporando en los primeros 15 cm del suelo, durante la preparación algún insecticida de largo efecto residual.

2.1.3.2. Enfermedades

Vera *et al*., (1993) expresan que las enfermedades de la fresa son:

a. Pudrición roja de la raíz: (*Phytophthora gragariae*)

Produce un marchitamiento generalizado de la planta durante la época seca, especialmente el segundo año de la plantación, lo que se debe a que todo el sistema radicular se ve comprometido, coincidiendo con la época de producción de frutas, en la cual la regeneración de raicillas es más lenta. Esta enfermedad es muy frecuente en terrenos mal drenados y con temperaturas bajas.

b. Verticilosis: (*Verticillium alboatrum*)

Hongo que sobrevive en el suelo por 8 años -12 años, produce un marchitamiento rápido de la planta en época seca, comenzando por las hojas periféricas, daño que generalmente ocurre en el primer año de la plantación. La enfermedad se observa en sectores aislados del plantel y muchas veces es confundida con falta de agua, porque en realidad es enfermedad vascular.

c. Moho Gris: (*Botrytis cinerea*)

Es un hongo que daña el fruto produciendo un ablandamiento, y cuando es muy severo se cubre completamente con vello gris. Su desarrollo se ve favorecido con la alta humedad y bajas temperaturas, puede penetrar en el fruto sin necesidad de heridas y durante la cosecha los frutos sanos pueden ser contaminados con esporas provenientes de otros infestados.

d. Viruela: (*Ramularia fragariae*)

Se presenta en las zonas con altas temperaturas y neblinas o lluvias. Las hojas se ven manchadas con lesiones de color púrpura que van creciendo. Hay reducción del crecimiento total y bajas en la producción.

e. Oídium: *(Spaherotheca mascularis)*

Es un hongo muy común en áreas de gran humedad ambiental y frío. Los órganos más afectados son las hojas, cáliz de las flores y frutos. El síntoma más característico es el curvamiento de los márgenes de las hojas hacia arriba, acompañado de un velo

blanquecino. Si el ataque es muy severo, el envés de las hojas adquiere un color rojizo. Se recomiendan aplicaciones de fungicidas sistémicos al comienzo del verano.

2.1.4. Requerimientos climáticos

2.1.4.1. Clima

Proexant (1993) señala que en el Ecuador se cultiva en zonas de 1 200 hasta 2 500 msnm. La temperatura óptima para el cultivo es 15°C a 20°C en el día y de 15°C a 16°C en la noche. La humedad relativa más adecuada es de 60 % a 75%, cuando es excesiva permite la presencia de enfermedades causadas por hongos, por el contrario, cuando es deficiente, las plantas sufren daños fisiológicos que repercuten en la producción; en casos extremos las plantas pueden morir.

2.1.5. Requerimiento hídrico

2.1.5.1. Láminas de riego

Infoagro (2010), la fresa es un cultivo muy exigente, requiere de 2000 mm por cada 6 meses de edad, muy repartidos y suficientes a lo largo del cultivo, como en la calidad que presente ésta. El cultivo se resiente, disminuyendo su rendimiento, con concentraciones de sales en el agua superiores a 0,8 mmhos cm^{-1}.

Según Branzanti (1989), la fresa es exigente en agua, una buena disponibilidad representa la base necesaria para un cultivo rentable en zonas en donde las lluvias son insuficientes o mal distribuidas con relación al ciclo de la planta, por lo que es necesario el riego. Se considera que una hectárea de fresal tiene un consumo hídrico de 4 000 a 6 000 m^3 (400mm $año^{-1}$ a 600 mm $año^{-1}$).

2.1.5.2. Calidad del agua

Según Kadish y Rholaees, (1989) menciona que cualquiera que sea el tipo de riego, la calidad del agua se define en función de tres criterios: salinidad, sodicidad y toxicidad. El criterio de salinidad evalúa el riesgo de que el uso del agua ocasione altas concentraciones de sales, con el correspondiente efecto osmótico y disminución de rendimientos. El criterio de sodicidad analiza el riesgo de que se induzca un elevado porcentaje de sodio intercambiable, PSI, con deterioro de la estructura afectando la permeabilidad. El criterio de toxicidad estudia los problemas que pueden crear determinados iones.

Existen otros problemas relacionados con la calidad de agua que aparecen con suficiente frecuencia, como son el excesivo crecimiento vegetativo, el retraso en la maduración de

los cultivos y la tendencia a encamarse, todos ellos provocados por altas concentraciones de nitrógeno en el agua de riego. Las directrices para interpretar la calidad del agua en función de los criterios descritos anteriormente se presentan en el cuadro 1.

Cuadro 1. Directrices para la evaluación de la calidad del agua de riego (FAO, 1985).

Tipo de problema	**Guía de Calidad de agua**		
	No hay problema	**Problema creciente**	**Problema grave**
1. Salinidad			
CE (ds/m)	< 0.75	0.75 – 3.0	> 3.0
2. Permeabilidad			
RAS = 0,3	Y CE > 0.7	0.7 – 0.2	<0.2
= 3 – 6	> 1.2	1.2 – 0.3	<0.3
= 6 – 12	>1.9	1.9 – 0.5	<0.5
= 12 – 20	>2.9	2.9 – 1.3	<1.3
= 20 – 40	>5.0	5.0 – 0.29	<2.9
3. Toxicidad iónica			
Sodio (Na)			
.Riego superficial (RAS)	<3	3 – 9	>9
Riego por aspersión (meq/l)	<3	>3	
Cloruro (Cl)			
Riego superficial (meq/)	<4	4 – 10	>10
Riego por aspersión (meq/l)	<3	>3	
Boro (B) (meq/l)	<0.75	0.75 – 3.0	>3.0
4. Efectos diversos:			
Nitrógeno (NO_3–N NH_4–N)(mg/l)	<5	5 – 30	>30
Bicarbonato (CO_3H) con Aspersores (meq/l)	<1.5	1.5 – 8.5	>8.5
pH	Rango normal 6.5 – 8.4		

Tomado: Martínez 1986.

1. La salinidad afecta la disponibilidad de agua para los cultivos por efectos de la presión osmótica. CEw, significa la conductividad eléctrica de la muestra de agua.

2. La permeabilidad afecta la velocidad de infiltración y el drenaje del suelo. En relación al tipo de arcilla, los valores reportados en el cuadro 1, corresponden al tipo de mineral dominante en el suelo ya que la estabilidad estructural varía con el tipo

de arcilla. Los problemas a desarrollarse o afectar la permeabilidad del suelo serán mayores cuanto mayores sea la sodicidad del agua; o bien, cuando ésta no contenga nada de sales.

3. La toxicidad afecta a los cultivos sensibles al sodio, cloro y boro, por lo que deberá consultarse los valores límites para cada cultivo.

Según Figueroa (1994) menciona las diferentes clasificaciones de las aguas de riego existentes están basadas en diferentes índices, entre los más comúnmente usados se tiene:

a. Sólidos totales disueltos (TSS)

Se basa en el criterio que a medida que la concentración de sales en la solución del suelo aumenta, también se incrementa el potencial de los efectos salinos sobre el crecimiento de las plantas. Se expresa en mg/litros.

b. Conductividad eléctrica del agua (ECw)

Mide la salinidad expresada en decisiemen por metro a 25 grados centígrados (dsm^{-1}), o en milimhos por centímetro a 25 grados centígrados (mmhos/cm)

c. Relación de adsorción de sodio (RAS)

Se utiliza para caracterizar el contenido de sodio en las aguas de riego y en la solución del suelo.

d. Relación de adsorción de sodio ajustada. R_{Na-aj}

Se utiliza para predecir los problemas de infiltración debidos al contenido relativamente alto de sodio o a la baja concentración de calcio en el agua de riego.

2.1.6. Requerimientos nutricionales

2.1.6.1. Materia orgánica

Proexant (2002), indica que el cultivo de Fresa es muy exigente en Materia Orgánica, señala que como base debe contener por lo menos niveles del 2 % al 3%, si este valor es inferior la producción de fresa se verá limitada. A parte de materia orgánica en el sustrato, es importante mantener una buena relación C/N: 10 se considera un valor adecuado, con ello se asegura una buena evolución de la materia orgánica aplicada al suelo.

2.1.6.2. Textura

Proexant (1993) expresa que la fresa se adapta a suelos de diversas características, pero prospera en forma especial en aquellos con textura franco arenosa o areno arcillosa o aun en suelos arenosos.

2.1.6.3. Drenaje

Según Cisneros (2003), el exceso de humedad afecta a algunas propiedades físicas del suelo; el efecto más importante es la disminución de la aireación en la zona radicular, aunque también se afecta gravemente la estructura, permeabilidad y temperatura. Otro factor que influye sobre el drenaje es la textura, aunque este último más que una causa-efecto es más bien parte del problema. Lo que se da con mucha frecuencia es la relación de un suelo con áreas mal drenadas con la presencia de texturas arcillosas

La alternativa que mayor perjuicio causa sobre los cultivos es la disminución de la aireación, por su efecto directo sobre la respiración de la raíces y por el indirecto de modificar las actividades microbianas. El normal desarrollo de las actividades fisiológicas de las raíces (absorción de agua y nutrientes, etc.) requiere la presencia del oxígeno en el suelo, que es consumido por las raíces produciendo CO_2.

En los suelos con mal drenaje, la respiración de las raíces se ve muy dificultada. Los macro poros, donde normalmente existiría aire, está ocupado por el agua. Al principio las raíces consumen el aire atrapado en el agua del suelo, el cual no es expulsado totalmente; así mismo utilizan el oxígeno disuelto. Esto explica por qué las plantas pueden resistir algún tiempo con el suelo saturado sin que disminuya la producción. Cuando el oxígeno disponible desciende por debajo de unos niveles que son distintos para cada planta, las raíces disminuyen su actividad respiratoria y en consecuencia disminuye también sus actividades fisiológicas con las siguientes consecuencias:

Disminuye la absorción de iones de acuerdo al siguiente orden: K, N P2O5, Ca2+ Y Mg2+.

Disminuye el transporte de estos iones a las partes aéreas.

Disminuye la absorción de agua.

2.1.6.4. pH

El pH óptimo del suelo para el cultivo es de 6.5 a 7.5 pero prospera bien en suelos con pH 5.5 a 6.5.

2.1.6.5. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica (CE) es la capacidad que tiene una sustancia para transportar corriente eléctrica; en el agua pura, la CE es de 5*10-5 dS m^{-1}, cuando se adiciona sales o fertilizantes en el agua, la CE tiende a incrementarse por la mayor cantidad de iones disueltos (electrolitos). Cada sal o fertilizante produce una CE diferente, considerando una misma concentración o viceversa.

La CE depende de la temperatura, el punto de referencia es 25 ^{0}C y todas las lecturas deben corregirse en función de este parámetro. La unidad de medida de la CE es el S m^{-1} (siemen por metro) o mho m^{-1} (mho por metro).

En el riego, la conductividad eléctrica se utiliza para determinar la salinidad o la cantidad de las sales disueltas en el agua (fuente de suministro), en la disolución de los fertilizantes (soluciones madre), en la mezcla del agua de riego con los fertilizantes (a la salida del gotero) y en la solución del suelo, en base a estos parámetros se elaboran los planes de manejo y rehabilitación de suelos, se definen los métodos para el tratamiento de aguas, se planifica el manejo del agua de riego, se determinan los cultivos apropiados para el medio y se establece el régimen de fertilización.

La variación de la concentración de las sales en el agua de riego y en la solución del suelo es de tipo temporal y espacial; en el agua de riego, depende de las características geológicas y climatológicas de la zona donde se produce y transporta el agua; en el suelo, las sales provienen de la meteorización del material parental, además de las depositadas por el agua y los fertilizantes suministrados para los cultivos. La concentración de sales es menor en invierno, debido a la dilución que producen las lluvias y mayor en verano, por la concentración o precipitación de sales que genera la evaporación. La CE se incrementa en la dirección del flujo del agua (ríos, quebradas, arroyos y canales de riego).

En suelos irrigados, la concentración y la distribución de las sales en el perfil dependen del patrón de humedecimiento, del método de riego utilizado, de la frecuencia de riego y de la programación de la fertilización.

La CE varía en función del contenido de humedad del suelo, esta variación es de mayor amplitud en los sistemas de riego por gravedad y aspersión, y menor en el riego por goteo.

Si la concentración de las sales en el suelo tiende a incrementarse, el potencial osmótico también se incrementa, reduciéndose de esta forma el agua disponible para las plantas por la hidratación de las sales.

Cuando la CE del agua de riego es menor a dS m^{-1}, el riesgo de salinidad del suelo es bajo; entre 0.25 dS m^{-1} y 0.75 dS m^{-1}, el riesgo de salinidad es medio; y, entre 0.75 y 2.255, el riesgo de salinidad es alto. Cuando la CE de la solución del suelo es mayor a 4, los suelos se clasifican como salinos (Hoffman, 1983).

2.1.6.6. Relación entre la conductividad eléctrica con las propiedades del suelo y los nutrientes.

La CE está influenciada por una combinación de propiedades físico-químicas del suelo, como pueden ser la textura del suelo, el contenido de materia orgánica, humedad del suelo, capacidad de intercambio catiónico, salinidad, pH, Ca+2 y Mg+2, tipos de suelo, entre otras (Corwin y Lesch, 2005; Sudduth et al., 2005; Serrano et al., 2010; Terrón et al., 2011; Peralta et al., 2013). En Argiudoles y Paleudoles del Sudeste Bonaerense, Peralta et al., (2012, 2013) observaron que la CE es un potencial estimador de la variabilidad espacial del contenido de arcilla y humedad del suelo

Considerando que el contenido de arcilla es estable en el tiempo, asociada con el contenido de humedad del suelo, afectan el crecimiento y desarrollo de los cultivos, (Shaner et al., 2008). Peralta et al., (2013), mencionó que diferencias en los valores promedios de la CE están asociados a diferentes tipos de suelo, principalmente por la diferencia en el tamaño de partículas del suelo.

Los suelos con mayor porcentaje de partículas finas tienen un importante contacto partícula- partícula y mayor número de poros pequeños que retienen agua con mayor fuerza y por más tiempo, por lo que permiten conducir mejor la electricidad (Rhoades et al., 1989), comparado con los suelos que tiene mayor contenido de partículas de arena (Farahani *et al.,* 2007; Shaner*et al.,* 2008)

Algunos componentes de la MO son mayormente responsables de la formación y estabilización de los agregados del suelo, generando poros y macroporos continuos (Lal, 2004), aumentando la capacidad de conducir la corriente eléctrica del suelo.

Martínez *et al.,* (2009) explicaron que la fuerte correlación entre la CE- MO es debido a que la MO juega un rol significativo en el mantenimiento de las propiedades físicas del suelo y, que la MO está asociada a una acumulación de nutrientes y retención de agua, factores que tienen relación directa con la CE.

2.1.6.7. Macro y micro nutrientes

Cuadro 2. Demanda de nutrientes en el cultivo de fresa.

Semanas	**Cantidad Requerida**								
	Kg ha^{-1}					g ha^{-1}			
	N*	P*	K*	Ca**	Mg*	Fe**	Cu**	Zn**	Mn**
1	1.15	0.83	4.40	0.77	1.88	73	3	7	19
3	3.44	2.90	6.60	1.94	3.39	108	6	11	36
5	3.44	2.48	11.01	2.91	2.26	233	11	13	40
8	6.88	2.48	13.21	0.97	1.88	152	5	19	48
11	18.34	4.97	24.21	6.78	7.53	222	14	46	160
14	28.65	15.73	52.83	10.65	19.96	476	18	43	232
16	41.26	18.22	63.84	15.50	13.18	497	22	82	158
18	46.99	21.53	96.86	25.18	25.61	973	30	75	394
22	44.70	27.33	68.24	25.18	20.34	1873	23	184	372
24	58.45	32.30	99.06	30.02	20.34	2455	33	309	439
26	37.82	21.12	74.84	33.90	22.98	1670	54	183	642
28	66.48	33.95	123.27	53.27	39.17	4432	96	359	1011
30	42.41	16.15	61.64	32.93	21.47	1300	36	230	334
TOTAL	400	200	700	240	200	14464	351	1561	3885

Fuente: *MOLINA, E., SALAS, R. Y CASTRO, A. 1993. Fertilización fosfórica de la fresa (Fragaria vesca)
** Sepraga.mx

Como se ve la fresa necesita grandes cantidades micro y macro nutrientes, en el caso del nitrógeno necesita alrededor de 400 Kg ha^{-1}, para su desarrollo; en el fosforo esta alrededor de 200 Kg ha^{-1}, indispensable para el desarrollo radicular y además de la floración; en el caso del potación requiere alrededor 700 Kg ha^{-1}, indispensable para el tamaño del fruto, en flores fija y estimula el desarrollo de fitoalexinas, dando mayor resistencia a las plagas y enfermedades.

Tanto que los demás elementos cumplen funciones secundarias como mantener las condiciones normales de producción, fotosíntesis, estimulación de hormonas de crecimiento, entre otras.

En definitiva la demanda general del cultivo de fresa en nutrientes es elevada, por lo que se deben considerar, entre otros factores, a la variedad elegida, época de plantación, fertilidad natural del suelo, contenido porcentual de material orgánico, tipo de riego, calidad del agua, clima y vigor de la planta, entre otros. Es importante efectuar un análisis de fertilidad del suelo para establecer el programa de fertilización más adecuado.

Entre los más importantes nutrientes que afectan al cultivo de fresa en fase de desarrollo se mencionan los siguientes:

a. Nitrógeno

Maldonado y Hernández (1995) y Alcívar (1994); coinciden en relatar que la fresa es un cultivo que requiere una cantidad considerable de Nitrógeno para su normal desarrollo; además indican que se debe tener extremo cuidado en no sobre dosificar este elemento debido a que la planta se torna susceptible al ataque de plagas y enfermedades

b. Fósforo

Maldonado y Hernández (1995), indican que el requerimiento de fósforo para el cultivo de fresa es de 10 g/m^2 de anhídrido fosfórico (P_2O_5), esto dependiendo del resultado que se tenga del análisis de suelos. Además señalan que el fósforo es el responsable del desarrollo radical así como de la floración.

c. Potasio

Alcivar (1994); Maldonado y Hernández (1995) indican lo siguiente "A pesar de que se afirma que el potasio sólo es requerido para aumentar el tamaño de los frutos, en las flores cumple múltiples funciones, en especial cuando se trata de fijar y estimular el desarrollo de fitoalexinas, que dan mayor resistencia a los tejidos para elevar la resistencia al ataque de plagas y enfermedades".

d. Calcio

Según Orellana (2002), el cultivo de fresa es muy exigente en calcio, especialmente cuando se trata de suelos ácidos, afirma que en una hectárea se necesita por lo menos 240 kg para mantener una producción de fresa en condiciones normales, pero cuando se tienen suelos ácidos la cantidad de calcio es mucho más, incluso se puede hablar de toneladas. Mendoza (2002), indica que este elemento interviene en la formación de las paredes celulares, lo que forma una barrera dura en los tejidos evitando la penetración de haustorios y tubos germinativos de hongos; considera por esta razón un elemento de mucha importancia dentro decampo de la producción de la fresa.

e. Boro

López (2004); señala que "La deficiencia de boro puede generar algún problema, especialmente en variedades exigentes. Los síntomas de deficiencia son: flores mal conformadas y con pocos pétalos. Si el nivel foliar baja a 30 mg Kg^{-1} se aporta una sola vez 2-3 g de bórax/m^2 al suelo o por vía foliar (100 g Hl^{-1})".

2.2. INVERNADERO

Según T.P. AGRO, manifiesta que el invernadero es un espacio con el microclima apropiado para el óptimo desarrollo de una plantación específica, por lo tanto deben obtenerse en él la temperatura, humedad relativa y ventilación apropiadas que permitan alcanzar alta productividad, a bajo costo, en menos tiempo, sin daño ambiental, protegiéndose de las lluvias, el granizo, las heladas, o los excesos de viento que pudieran perjudicar el cultivo.

Las ventajas de los invernaderos son:

- ✓ Precocidad en los frutos
- ✓ Aumento de la calidad y del rendimiento
- ✓ Producción fuera de época
- ✓ Ahorro de agua y fertilizantes
- ✓ Mejorar el control de insectos y enfermedades
- ✓ Posibilidad de obtener más de un ciclo de cultivo al año

Las desventajas de los invernaderos son:

- ✓ Alta inversión inicial
- ✓ Requiere personal especializado
- ✓ Propenso a degradación de las estructuras ocasionadas por vientos fuertes

2.2.1. Factores climáticos importantes dentro de un invernadero en el cultivo de fres.

2.2.1.1. Temperaturas

López (2008) sostiene que la temperatura es el parámetro más importante a tomar en cuenta en el manejo del ambiente dentro de un invernadero, ya que es el que más influye en el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Para el manejo de la temperatura es importante conocer las necesidades y limitaciones de la especie cultivada. Así mismo se deben aclarar los siguientes conceptos de temperaturas que indican los valores-objetivo a tener en cuenta para el buen funcionamiento del cultivo y sus limitaciones:

- Temperatura mínima letal (entre 0 °C a 2 °C). Aquella por debajo de la cual se producen daños en la planta.
- Temperaturas máximas y mínimas biológicas (entre 21 °C a 27 °C, entre 10 °C a 12 °C, respectivamente). Indican valores, por encima o por debajo, al respecto del cual no es posible que la planta alcance una determinada fase vegetativa, como floración, fructificación, etc.
- Temperaturas nocturnas y diurnas (entre 4 °C a 8 °C). Indican los valores aconsejados para un correcto desarrollo de la planta.

2.2.1.2. Humedad relativa

La humedad relativa (HR) es la cantidad de agua contenida en el aire, en relación con la máxima que sería capaz de contener a la misma temperatura. (Felder y Rosseau, 1991).

Existe una relación inversa de la temperatura con la humedad, por lo que a elevadas temperaturas, aumenta la capacidad de contener vapor de agua y por tanto disminuye la HR. Con temperaturas bajas, el contenido en humedad relativa aumenta.

Cada especie tiene una humedad ambiental idónea para vegetar en perfectas condiciones: fresa, tomate, el pimiento y la berenjena prefieren una HR sobre el 50 % -60 %.

La humedad relativa del aire es un factor climático que puede modificar el rendimiento final de los cultivos. Cuando la HR es excesiva, las plantas reducen la transpiración y disminuyen su crecimiento; se producen abortos florales por apelmazamiento del polen y un mayor desarrollo de enfermedades criptogámicas. Por el contrario, si es muy baja, las plantas transpiran en exceso, pudiendo deshidratarse.

El exceso puede reducirse mediante ventilado, aumento de la temperatura y evitando el exceso de humedad en el suelo. La falta puede corregirse con riegos, pulverizando agua en el ambiente, ventilado y sombreado. La ventilación cenital en invernaderos es muy recomendable, tanto para el control de la temperatura como de la humedad relativa.

2.2.1.3. Ventilación

La ventilación consiste en la renovación del aire dentro del recinto del invernadero. Al renovar el aire se actúa sobre la temperatura, la humedad, el contenido en CO_2 y el oxígeno que hay en el interior del invernadero.

2.3. CARBÓN VEGETAL

2.3.1. Generalidades

"El carbón vegetal es un producto sólido, frágil y poroso con un alto contenido en carbono (del orden 80%). Se produce por calentamiento en ausencia de aire (hasta temperaturas de 400 °C a 700 °C) de madera y otros residuos vegetales. El poder calorífico del carbón vegetal oscila entre 29 000 y 35 000 $KjKg^{-1}$, y es superior al de la madera que oscila entre 12 000 y 21 000 Kj/Kg". (Menéndez, 2008)

2.3.2. Propiedades químicas y físicas del carbón vegetal

"La información de las propiedades físicas – químicas del carbón vegetal es limitada, se asume que está formado por un rango de materiales producidos por la combustión de la madera, con elevadas cantidades de carbón aromático elemental o grafito '' (Valarezo, 2004)

Los factores principales que influyen sobres las propiedades del carbón vegetal son tres: 1. El tipo de materia orgánica usado; 2. El ambiente de carbonización (temperatura, aireación); y, 3. Las adiciones durante el proceso de carbonización. La fuente de origen del carbón vegetal tiene fuerte influencia directa en las enmiendas, en cuanto al contenido y disponibilidad de nutrientes; así; el pH de varios suelos fue más alto (pH 6.15) cuando se aplicó carbón obtenido de maderas duras frente al carbón obtenido de coníferas (pH 5.15), probablemente debido a la diferencia en el contenido de cenizas, 6.38 % y 1.48 %, respectivamente. Consecuentemente, los carbones provenientes de maderas duras son más efectivos en reducir la acidez del suelo, que el carbón procedente de coníferas; también, los contenidos de Ca, Mg y K, fueron mayores en los carbones de maderas duras que en aquellos de coníferas. Aún más pronunciado fue el efecto diferencial de los dos tipos de carbón sobre la CIC; por cuanto, en relación con el valor del suelo original, el carbón procedente de las maderas duras incrementó la CIC; en tanto que, aquel de las coníferas la redujo (Glaser, Lehmann y Zech, 2002)

Se ha demostrado que las condiciones de carbonización influyen en el grado de aromaticidad y consecuentemente en las características de adsorción del carbón. El grado de aromaticidad se incrementa con el aumento de la temperatura y el tiempo de carbonización (Shafizadeh y Seguchi, 1983; Glaser *et al.*, 1998) los carbones obtenidos con un calentamiento entre 200 ^{0}C a 700 ^{0}C con la exclusión de aire, presentaron menor intercambio iónico que cuando fueron oxidados con aire.

Fujita *et al.*, (1991) estimó la capacidad de sorción de aniones del carbón de madera en 88.2 $cmol_c\ Kg^{-1}$; en comparación, los suelos de la Amazonia tienen de 1.0 $cmol_c\ Kg^{-1}$ a 6.0 $cmol_c\ Kg^{-1}$ (Sombroek, 1966), consecuentemente, con la aplicación de carbón vegetal, se puede esperar una mayor retención de iones.

Adicionalmente, el carbón vegetal tiene la capacidad de formar complejos órgano-minerales (Ma *et al.*, 1979), lo cual se ha observado también en los suelos a los cuales se les ha aplicado carbón vegetal (Glaser *et al.*, 2000). Se asume que la lenta oxidación (biótica y/o abiótica) en los bordes de la cadena aromática del carbón vegetal, que contiene grupos carboxílicos, es la responsable tanto de la posible formación de complejos órgano-minerales, como del incremento sustancial de la CIC (Glaser, 1999; Glaser *et al.*, 2000, 2001)

A más de los iones metálicos, con las aplicaciones de carbón vegetal al suelo, se retendrían la materia orgánica disuelta y los nutrientes orgánicos disueltos (Glaser, Lehmann y Zech, 2002). Es necesario también mencionar en este punto, que el carbón vegetal puede sorber tanto compuestos polares, tales como los pesticidas orgánicos polares (Sudhakar y Dikshit, 1999), como moléculas hidrófobas, entre otros, hidrocarburos aromáticos policíclicos (Kleineidam *et al.*, 1999), ligninas y taninos (Mohan y Karthikeyan, 1997). Por otro lado, el carbón vegetal no contiene cantidades significativas de sustancias nocivas (disponibles) tales como hidrocarburos aromáticos policíclicos (Glaser, 1999).

Cuadro 3. Propiedades químicas del carbón vegetal

Nutrientes	**Valor**	**Unidad**
Nitrógeno total (N)	0.04	%
Fosforo (P)	0.08	%
Potasio (K)	0.75	%
Calcio (Ca)	0.46	%
Magnesio (Mg)	0.19	%
Azufre (S)	0.03	%
Materia Orgánica (M.O.)	96.5	%
Boro (B)	9.08	$Mg\ Kg^{-1}$
Zinc (Zn)	12.3	$Mg\ Kg^{-1}$
Cobre (Cu)	16.3	$Mg\ Kg^{-1}$
Hierro (Fe)	293.1	$Mg\ Kg^{-1}$
Manganeso (Mn)	158.2	$Mg\ Kg^{-1}$
pH	9.5	

Fuente: Valarezo, C. 2004

2.3.3. El carbón vegetal como material de mejoramiento del suelo

Numerosos estudios de los últimos 10 años han demostrado que el carbón vegetal, aumenta la productividad del suelo (Lehmann, 2009 y Glaser, 2001) y mejora la capacidad de almacenamiento de agua del terreno (Lehmann, 2007 y Kuzyakov 2009). Debido a su superficie específica (50 m^2 g^{-1} – 300 m^2g^{-1}) y a su porosidad, el carbón vegetal aumenta la capacidad de adsorción del agua y de los nutrientes (Lehmann, 2009, Glaser 2001 y Pichler, 2010).

Asimismo, optimiza la dinámica de los nutrientes (Yin Chan, 2009). La microactividad del suelo aumenta, favoreciendo la creación del humus (Thies, 2009 y Steinbeiss, 2009). También mejora la fijación de metales pesados y pesticidas, así como la estabilización de la materia orgánica (Hilber, 2009 y Smernik, 2009) y el impacto de gases nocivos para el medioambiente se reduce (Van Zwieten, 2009). Gracias a todas estas propiedades tan numerosas y positivas, se considera que la utilización de Carbón vegetal es una posibilidad muy prometedora para una mejora sostenible del suelo. Ningún estudio de los publicados hasta ahora ha podido demostrar que el suelo sufriera perjuicio alguno por utilizar Carbón vegetal (Joseph *et al.,* 2010).

Teniendo en cuenta el comprobado aumento de actividad en suelos en los que se ha añadido carbón vegetal, y según todos los estudios realizados, se puede decir que en comparación el potencial de peligro que pudiera presentar este material resulta muy bajo.

2.3.4. Equilibrio de nutrientes y lixiviación

El carbón vegetal se compone principalmente del carbono mineralizado (> 50%) que permanece en el suelo por un periodo de 1000 años -2000 años, según las condiciones predominantes de este, y ni se degrada ni se erosiona (Cheng, 2008 y Lehmann, 2009). El Carbón vegetal además, contiene la mayoría de los nutrientes que la biomasa contiene en su forma original y pirolizada. A causa de su elevada potencia de adsorción, estos elementos resultan muy limitados en cuanto a su disponibilidad en las plantas. Así, explica Yin Chan (2009), según sea el carbón y la biomasa, solo un 1% del nitrógeno contenido y aproximadamente un 15% de fósforo están disponibles para las plantas. Por lo tanto, el efecto real de abono del carbón vegetal es extremadamente pequeño. El aumento de crecimiento de biomasa que suele observarse una vez aplicado el Carbón vegetal, hay que achacarlo a mejoras del suelo de orden físico y bioquímico, antes que al efecto de los abonos minerales.

El carbón vegetal retrasa de forma evidente la degradación tanto de los nutrientes como de los metales pesados (Lehmann, 2009 y Smernik, 2009). Como DeLuca *et al.*, (2009) demostraron, la presencia de carbón vegetal en el suelo reduce de forma evidente la degradación de los fosfatos y de los nitratos.

2.3.5. Beneficios agrícolas del carbón vegetal

Sierra (2010), menciona que el uso del carbón vegetal como enmienda del suelo para una agricultura sostenible presenta las siguientes ventajas:

- Aumenta la fertilidad de la tierra
- Disminuye (al 10%) o elimina la necesidad de fertilizantes
- Disminuye los requerimientos de agua
- Aumenta la resistencia de las plantas a las heladas
- Absorbe pesticidas y los transforma, evitando que pasen a la planta
- Protege de virus, bacterias y hongos patógenos a las plantas
- Aumenta la velocidad de crecimiento de las plantas
- Aumenta la cantidad de la cosecha
- Aumenta la calidad de la cosecha en tamaño, cantidad y densidad de nutrientes.
- Su efecto es continuo y acumulativo por cientos o miles de años. Los efectos fisicoquímicos son inmediatos, los biológicos se desarrollan más lento, en el orden de meses. Son sin embargo duraderos.

2.3.6. Propiedades agrícolas del carbón vegetal

Sierra (2010), propone algunas propiedades agrícolas en el uso del carbón vegetal como:

- Aumenta la biomasa de microorganismos del suelo.
- Aumenta la respiración de la biomasa microbiana del suelo
- Incrementa la cantidad de hongos micorriza en el suelo

- Protege de virus, bacterias y hongos patógenos tanto por efectos probióticos como por la segregación de sustancias por los hongos y trichodermas, que detienen o matan a organismos patógenos.
- Promueve la formación de nutrientes para las plantas provenientes del aire y del suelo
- Mejora la capacidad de retención de cationes del suelo
- Con el tiempo aumenta la capacidad de intercambio catiónico del suelo
- Mejora la retención de nutrientes del suelo
- Aumenta la disponibilidad de N, K, P, Mg, Co, Fe, Ca, Mo y B a las plantas. Algunos de estos elementos son necesarios para la fijación de N del aire por bacterias rizobium.
- Multiplica la capacidad de extracción de nutrientes de las raíces de las plantas.
- Detiene la contaminación de las plantas y frutos por pesticidas en el suelo
- Mejora la estructura de todo tipo de suelos
- Aumenta el estado de agregación del suelo por la presencia de hifas y micelios (hongos micorriza)
- Aumenta el pH de suelos ácidos, tiene efecto regulador
- Reduce la toxicidad por aluminio
- Aumenta la disponibilidad de aire, agua y nutrientes a las raíces.
- Aumenta la resistencia a las heladas por las sustancias anticongelantes que segregan los micelios.

2.4. PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

Según (Valarezo, 1998), la distribución de los volúmenes de las tres fases: solido, líquido y gaseoso (volumen físicamente inerte, agua aprovechable y capacidad de aireación) a capacidad de campo sirve para estimar las condiciones físicas del suelo en relación con el crecimiento de las plantas.

Para tal efecto se utiliza el diagrama triangular (figura 1), en la base de este se encuentra los valores porcentuales del volumen de capacidad de aireación, cuyos poros tienen un

diámetro mayor a 30 micras. En el lado derecho del triángulo se encuentra los valores porcentuales de agua aprovechable con un diámetro equivalente de poros de 0,2 micras a 30 micras, considerando como capacidad de campo el contenido de agua retenido a pF=2.El lado izquierdo del triángulo contiene los valores porcentuales del volumen físicamente inertes del suelo. Comprende aquellos poros menores a 0,2 micras, que no proveen de aire ni de agua a las raíces.

Internamente de diagrama triangular se encuentra dividido en cinco zonas. La zona I, corresponde a una situación muy pobre de las condiciones físicas del suelo para las plantas. En tanto que en la zona V da cabida a aquella combinación de disponibilidad de agua y aire se la considera muy buena.

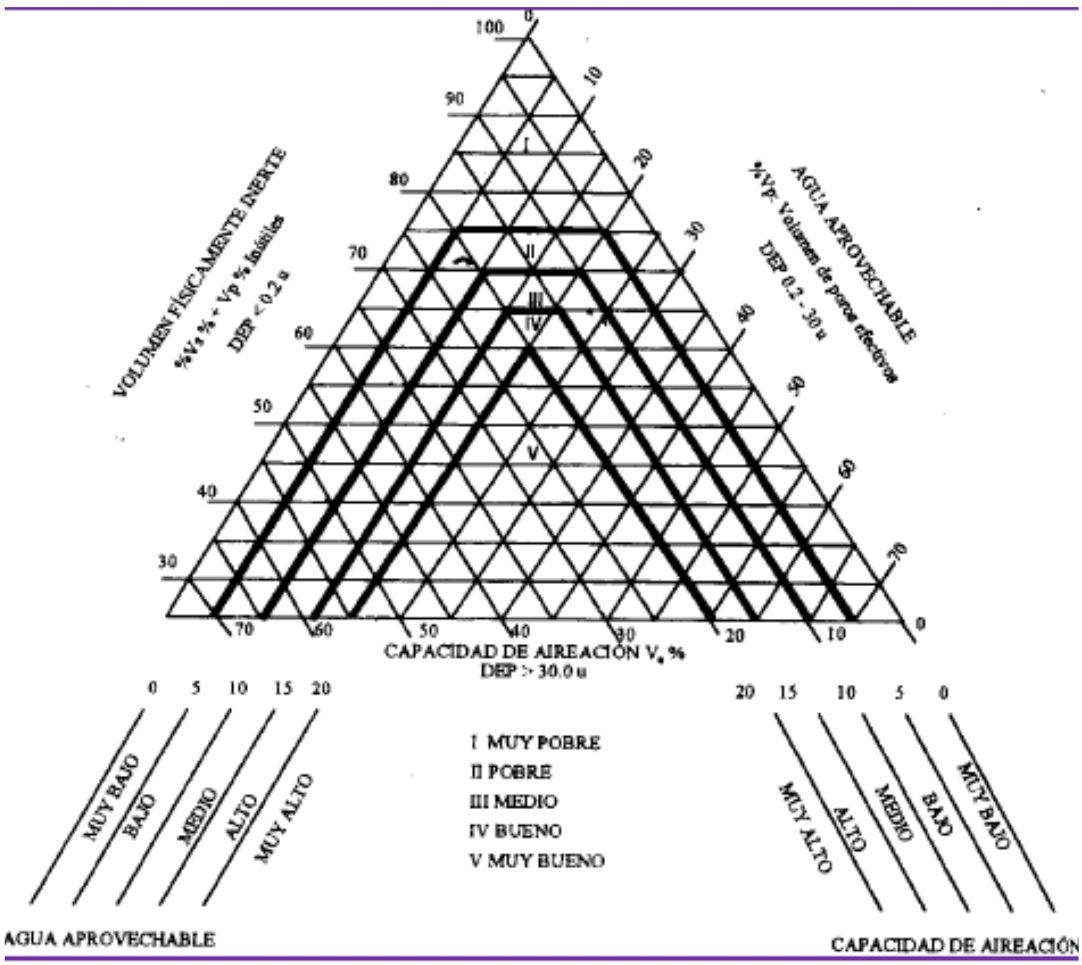


Figura 1. Diagrama triangular para evaluación de las condiciones físicas del suelo, (Tomado de ILACO, B.V. 1981)

2.4.1. Potencial del agua en el suelo

El agua en el suelo se encuentra sometida a un conjunto de fuerzas definidas por la gravedad terrestre, las partículas del suelo, la materia orgánica, las sales disueltas y por la interface agua – aire que ocurre en la porosidad. (Jury y Horton, 2004).

La medición del potencial del agua se utiliza para determinar la dirección del flujo, el estado energético con que el agua es retenida por la matriz del suelo, la cantidad de energía que la planta tiene que ejercer para extraerla, y para determinar la lámina, el tiempo y la frecuencia de riego.

El movimiento del agua en el suelo está gobernado por las energías potencial y cinética; la energía cinética depende de la velocidad con la que el agua se desplaza entre dos puntos ubicados en el perfil ($v^2/2g$), debido a que este valor es muy pequeño, la energía cinética no se considera en el análisis del flujo, siendo la energía potencial, la fuente principal que determina el estado energético y el movimiento del agua.

El potencial del agua en el suelo se define como la diferencia de energía por la cantidad unitaria de agua entre el estado de referencia y el punto en estudio; el estado de referencia y el punto en estudio, se analizan para condiciones de agua, temperatura, presión y elevaciones diferentes. Los potenciales pueden ser de signo positivo o negativo con relación a la presión atmosférica y al nivel de referencia; son de signo negativo cuando su potencial es menor a la presión atmosférica, y de signo positivo cuando el potencial es mayor (Martínez, 1996). Si el potencial es negativo, se requiere aplicar una energía de succión para extraer el agua desde el suelo y si el potencial es positivo, la cantidad de agua a evacuarse depende de la ubicación del punto de drenaje con relación al nivel de la tabla freática.

Desde el punto de vista macro, la tabla freática es el nivel de referencia utilizado para el análisis de los diferentes potenciales, la parte del perfil ubicada sobre la tabla se conoce como zona no saturada (potencial negativo, humedad del suelo) y la parte del perfil ubicada bajo la tabla freática, se denomina como la zona saturada (potencial positivo, agua subterránea). A nivel micro o localizado, el nivel de referencia puede ser cualquier punto ubicado en el perfil, incluyendo la superficie del suelo.

Según la figura 2, en la zona saturada, la porosidad se encuentra totalmente ocupada por agua y en la zona no saturada por agua y aire.

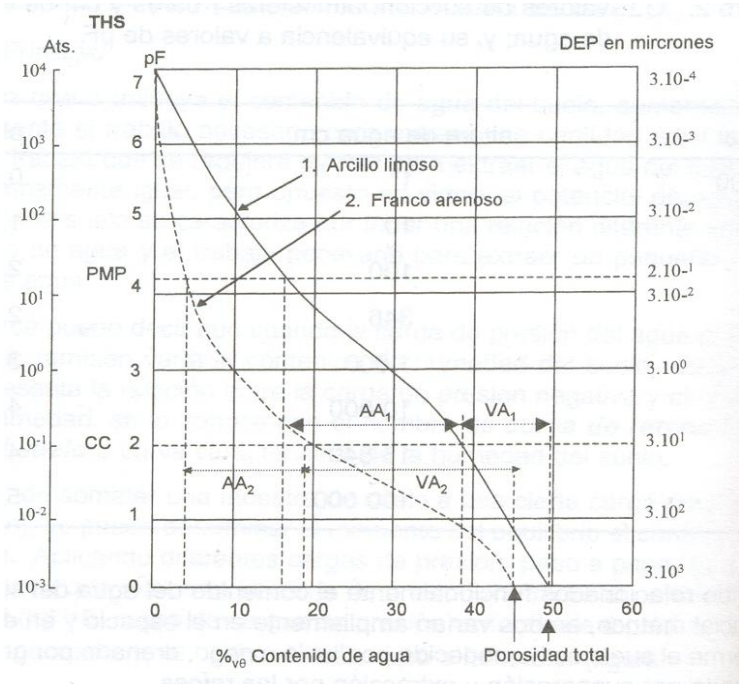


Figura 2. Curva de retención de agua del suelo

En la zona saturada, el movimiento del agua está gobernado por la gravedad terrestre, y en la zona no saturada, por la matriz del suelo. En ambos casos, el movimiento se produce por gradientes diferenciales del potencial total.

El potencial del agua en el suelo, se define como alto o menos negativo, cuando el suelo presenta un contenido de humedad entre saturación y capacidad de campo (- 0.1 bar, - 10 centibar, - 0.1 m.c.a, pF 1.0, suelo mojado) y bajo o más negativo, cuando el suelo presenta un contenido de humedad entre capacidad de campo y marchitez permanente (-15bar, pF 4.2, suelo seco). En este texto, cuando la tensión de humedad varía de -30 a -10 milibares, se define como un incremento del potencial matricial y cuando varía de -10 a -30 milibares, como reducción del potencial.

El potencial total del agua en el suelo varía desde 0 cm.c.a para un suelo saturado hasta - 10 000 000 cm.c.a para un suelo desecado en la estufa. En el punto de saturación, el potencial es 0 cm.c.a; y, en el punto de marchitez permanente, el potencial es de - 16 000cm.c.a *(*De Laat 2001).

El movimiento y el potencial del agua en el suelo son dinámicos, temporales y dependen de los campo de fuerzas que actúan sobre el sistema agua – suelo, como los potenciales de gravedad, matricial, osmótico y de presión (Martínez, 1996)

2.4.1.1. Potencial gravitacional

Según Ortiz (2008) indica que el potencial gravitacional es producido por la fuerza de atracción de la gravedad terrestre y tiene influencia en todo el perfil del suelo. Este potencial es de signo positivo para todos los puntos ubicados sobre el nivel de referencia y si este nivel coincide con la superficie del suelo, el potencial gravitacional será de signo negativo par a todos los puntos ubicados bajo la superficie. El flujo vertical, infiltración o percolación del agua, se produce hasta que el potencial gravitacional es balanceado por el potencial matricial (capilaridad) o hasta cuando la tensión de humedad del suelo alcance la capacidad de campo.

2.4.1.2. Potencial Matricial

El potencial matricial está relacionado con las fuerzas de atracción del agua a la matriz del suelo y con las fuerzas de atracción entre moléculas de agua. En función del gradiente de potencial, el agua se mueve de zonas húmedas (potencial alto o menos negativo) o zonas secas (potencial bajo o más negativo). El potencial matricial es negativo en la zona no saturada y es nulo en la zona saturada o bajo el nivel de la tabla freática. (Ortiz, 2008).

2.4.1.3. Potencial Osmótico

El potencial osmótico se refiere a las fuerzas de atracción electrostática entre las sales y las moléculas de agua, es la energía que se necesita para extraer el agua desde los iones hidratados, es nulo en el agua pura, es directamente proporcional a la cantidad de sales que se suministran a través del riego, y se determina por medio de sondas, bloques de yeso y por el método del extracto de saturación. (Ortiz, 2008).

2.4.1.4. Potencial de presión

El potencial de presión está relacionado con el peso del agua y con la presión del aire que existe entre el punto de estudio y el nivel de referencia; se considera nulo en la zona no saturada, aunque es de tipo temporal durante el flujo del agua en el riego por gravedad y es positivo en la zona saturada. También se lo define como carga hidráulica, se determina a través de piezómetros y se utiliza en el diseño de sistemas de drenaje.

En la zona no saturada, el movimiento del agua depende principalmente de los potenciales gravitacional y matricial, considerando que el potencial osmótico y de presión no influyen en el potencial total (Martínez, 1996). El potencial gravitacional (z) depende de la distancia vertical que existe entre el punto de medición y el nivel de referencia; es positivo cuando se encuentra sobre el nivel y negativo bajo el mismo. El

potencial matricial (h) es el producido por la fuerzas de adhesión y cohesión (capilaridad), y es de signo negativo. (Ortiz, 2008).

2.4.2. La curva de retención del agua del suelo

Según (Valarezo, 1998), cada vez que se disminuye el contenido del agua del suelo aumenta exponencialmente el trabajo necesario para extraer una cantidad adicional de agua. El trabajo que se requiere ejercer para extraer el agua del suelo será numéricamente igual, pero opuesto en signo, al potencial de agua del suelo. Cada suelo se caracteriza por tener una relación diferente entre el contenido del agua y el trabajo necesario para extraer un pequeño incremento de agua.

Cuando el trabajo necesario para extraer una unidad de agua se expresa en términos de trabajo por volumen de agua, se obtiene unidades de presión, y este trabajo se le conoce con el nombre de succión de humedad del suelo o tensión de humedad del suelo, que es igual al potencial de agua volumétrico pero con signo contrario.

Estando relacionados funcionalmente el contenido del agua del suelo y el potencial mátrico, ambos varían ampliamente en el espacio y en el tiempo conforme el suelo es humedecido por lluvia o riego, drenado por gravedad, o secado por evaporación y extracción por las raíces.

La pendiente de curvatura de retención de agua del suelo, que es el cambio del potencial mátrico, por unidad de cambio del contenido de agua, se la conoce con el nombre de característica del agua del suelo, o capacidad diferencial del agua C.

$$C = \frac{d\varphi}{d\theta}$$

Donde:

C = pendiente de la tangente en un punto específico de la curva

$d\varphi$ = diferencial de la tensión de humedad

$d\theta$ = diferencial del contenido de humedad

Esta es una propiedad importante en relación con el almacenamiento y la disponibilidad de agua para las plantas. El valor de C depende del rango de humedad, de la textura y del efecto de histéresis.

2.4.3. Factores que determinan la forma de la curva de retención del agua del suelo.

La cantidad de agua retenida a valores relativamente bajos de succión métrica (0 a 1 bar.), dependen primeramente del efecto capilar y de la distribución del tamaño de poros; en consecuencia, es fuertemente afectada por la estructura del suelo. Por otro lado, la retención de agua en el rango más alto de succión en forma creciente se debe a la adsorción, siendo por consiguiente, menos afectada por la estructura pero más por la textura; en otras palabras por la superficie específica del material del suelo.

2.4.4. Potencial de energía libre (pF)

Cuadro 4. Valores de succión: atmósfera/bares y cm de columna de agua; y, su equivalencia a valores de pF.

Atm/bar	Altura de agua cm	pF
1/1000	1	0.0
1/100	10	1.0
1/10	100	2.0
1/3	346	2.54
1	1000	3.0
10	10000	4.0
15	15849	4.2
100	100000	5.0

Fuente: Valarezo, 2004

Debido a que la energía (trabajo) necesaria para extraer el agua del suelo aumente exponencialmente, mientras que el contenido de agua disminuye linealmente, para facilidad en la graficación e interpretación se prefiere utilizar el logaritmo de la tensión de humedad del suelo expresado en función de cm. De una columna de agua, que se conoce con el nombre de pF. (p = potencial y F = energía libre). Así 1 atm. = 1 bar = 1000 cm de agua; pF = 3.

Uno de los métodos para medir el pF es la utilización de los tensiómetros ya que ayuda a determinar las necesidades de riego in situ. Las lecturas señalan la humedad relativa del suelo. Una lectura alta es causada por un suelo seco (al haber una succión alta) y una lectura baja es debida a un suelo húmedo (baja succión).

La lectura de 0 indica un suelo saturado en donde las raíces de las plantas sufren la falta de oxígeno, de 0 a 5 es demasiado húmedo para la mayoría de los cultivos. Lecturas de 10 a 25 representan el nivel de agua y aireación, en la mayoría de los suelos corresponde

a la capacidad de campo. Si las lecturas son mayores de 25, podría haber deficiencia de agua para las plantas sensibles o para las plantas con sistemas radiculares superficiales.

Casi todas las plantas de campo tienen un sistema de raíces de 40 centímetros de profundidad o más, no sufren de falta de agua antes de que las lecturas lleguen a niveles de 40 cb a 50 cb. En suelos de textura media, las plantas con un buen sistema radicular de 45 cm de profundidad o más, usualmente no sufrirán de falta de agua antes de que las lecturas lleguen a 70 cb. En suelos de textura media a moderadamente fina, las plantas que tienen un sistema radicular profundo no necesitarán de riego por varios días después de que las lecturas pasen de 70 cb. Las lecturas de 80 cb representan una condición de humedad del suelo lo suficientemente seco para necesitar riego bajo estas condiciones, aun cuando las plantas no demuestren estrés.

2.4.5. Puntos importantes de la curva de retención del agua en el suelo

Los puntos más importantes de la curva de pF se representan en el cuadro 5:

Cuadro 5. Puntos más importantes de la curva de pF.

pF	Atm	Puntos
4.40	28.80	Agua higroscópica
4.20	15.00	Punto de Marchitez Permanente (PMP)
2.52	0.33	Capacidad de campo (CC)
2.00	0.10	Capacidad de campo (CC)
0.00	0.001	Saturación

Fuente: Valarezo, 2004

2.4.5.1. Saturación

El punto de intersección de la curva con el eje de las abscisas (contenido de agua en términos de volumen) corresponde a un valor de tensión de un cm. (pF = 0), equivalente al contenido de agua del suelo en condiciones de saturación, lo cual significa que este valor es prácticamente similar a la porosidad total. (Valarezo *et al.*, 1998)

2.4.5.2. Capacidad de campo

Según Gavande (1973) sostiene que "La capacidad de campo se define como la cantidad de agua que un suelo retiene contra la gravedad cuando se la deja drenar libremente. En un suelo bien drenado, por lo general se llega a este punto, aproximadamente 48 horas después de irrigar.

Para la sociedad Internacional de la Ciencia del suelo la capacidad de campo corresponde al contenido de agua que el suelo retiene cuando ha sido sometido a una succión de 1/10 atmósferas (100 cm de columna de agua, o pF 2)"

2.4.5.3. Punto de marchitez permanente

Según Ortiz (2008) indica que el punto de marchitez permanente corresponde al contenido de humedad para una tensión de -16 000 cm.c.a. (15 bares) y es el límite inferior del agua aprovechable para las plantas, a esta tensión, el agua es retenida fuertemente por las partículas del suelo, de tal forma que las plantas no pueden extraerla para recubrir su demanda hídrica y la evaporativa de la atmósfera, produciéndose el marchitamiento irreversible o muerte de la planta.

2.4.5.4. Coeficiente higroscópico

Es la cantidad de agua que el suelo contiene cuando ha alcanzado el equilibrio bajo las siguientes condiciones: 98% de humedad relativa, una atmósfera estándar de presión, y a la temperatura ambiente. Se estima que el valor del potencial mátrico para tales condiciones es de 27.8 bares. (pF 4.4)

2.4.5.5. Agua aprovechable

Se la define como la cantidad de agua retenida en el suelo entre capacidad de campo (pF 2.0 o 2.52) y el punto de marchitez permanente (pF 4.2), que, en general, forma la solución del suelo y es la principal fuente de agua para el desarrollo de las plantas. (Valarezo *et al.*, 1998).

2.4.5.6. Capacidad de aireación

La composición del aire del suelo depende en gran manera de la cantidad de espacio poroso aprovechable, junto con las tasas de reacciones bioquímicas y del intercambio gaseoso. Cuando un suelo tiene menos del 10 % al 12% de espacio poroso, la renovación del oxígeno es extremadamente lenta y la mayoría de las plantas se ven afectadas, pero si la capacidad de aireación es mayor a 10 % – 15 %, la aireación es satisfactoria para el crecimiento de las plantas. (Valarezo *et al.*, 1998).

2.4.5.7. Porosidad

El espacio poroso es importante porque los poros del suelo están completamente llenos de agua y aire. El agua y el aire también se mueven a través de los espacios porosos.

Así pues, la provisión de agua y de oxígeno para el crecimiento de las plantas y la tasa de movimiento del agua en el suelo está relacionada con la cantidad y tamaño de poros del mismo. (Valarezo *et al.,* 1998*).*

2.4.5.8. Porosidad total

Corresponde al índice del volumen relativo de poros. Es el valor que resulta de la relación entre el espacio poros y el volumen total de una muestra inalterada; o también, es el volumen total no ocupado por los sólidos. Se expresa en porcentaje (%).

2.4.5.9. Volumen físicamente inerte

Corresponde al valor del contenido volumétrico de agua en el punto de marchitez permanente. Comprende aquellos poros menores a 0.2 micras, que no proveen de aire ni de agua para las raíces. (Valarezo *et al.,* 1998)

2.5. TENSIÓMETROS

2.5.1. Principios

` El tensiómetro es un instrumento que sirve para determinar a lo largo del tiempo el potencial matricial del suelo (o potencial de presión negativa) en el campo, a una profundidad deseada.

2.5.2. Funcionamiento

Según Valarezo (2011), el tensiómetro es un tubo cerrado lleno de agua. Tiene en la base una punta de cerámica y en el otro un tope con una válvula de medición. Este tubo es instalado en el suelo con la punta de cerámica localizada cerca de donde se desea medir la humedad del suelo. Este tubo es generalmente lo suficientemente largo para que el tope y la válvula permanezcan sobre el nivel del suelo para permitir las lecturas.

Al secarse el suelo, succiona el agua a través de los poros de la punta de cerámica, creando un vacío parcial dentro del tensiómetro lo que permite una lectura en la válvula de vacío. El poder de succión del suelo que retira el agua de dentro del tensiómetro aumenta a medida que el suelo se seca y las lecturas de la válvula suben.

Cuando el suelo es regado, la succión del suelo se reduce y el agua vuelve para dentro del tensiómetro a consecuencia del vacío. Esto reduce dicho vacío y las lecturas de la válvula bajan.

2.5.3. Componentes

El tensiómetro está compuesto de las siguientes partes:

- Una cápsula porosa
- Un medidor de presión (manómetro de mercurio, mecánico o sensor Electrónico).
- Un tubo que conecta la cápsula porosa con el medidor de presión (vacío).

La cápsula porosa y el tubo se llenan de agua; ésta puede fluir hacia fuera o hacia adentro de la cápsula porosa, mientras exista un gradiente de potencial entre el agua de la cápsula y el agua del suelo.

2.5.4. Principio de Funcionamiento

Según Valarezo (2011), el principio de su funcionamiento es como sigue:

- Se introduce en el suelo una cámara llena de agua, herméticamente cerrada, que tiene una pared lateral constituida por una placa porosa, que permite el libre movimiento del agua y los solutos, pero impide el paso de las partículas del suelo y del aire, el agua fluirá a través de la placa porosa, desde el interior de la cámara hacia el suelo, si el potencial del agua del suelo es menor que el potencial del agua en la cámara, ello producirá un vacío parcial o una succión en el interior cámara (una presión que es menor a la presión atmosférica o de referencia), la misma que se puede medir con un manómetro.
- Cuando se establece el equilibrio entre el agua del suelo y el agua al interior de la cámara, el manómetro indicará la succión en el sistema, el potencial del agua del suelo será el mismo que el potencial del agua en el interior de la cámara.
- La presión en la cámara es menor que la presión atmosférica de referencia, de lo que resulta en una presión negativa que se denomina tensión de humedad del suelo o potencial matricial. En consecuencia, el tensiómetro no mide directamente el potencial matricial sino la presión dentro de la cámara.

2.5.5. Rangos de uso

Según Valarezo (2011), Si bien el manómetro de los tensiómetros que se encuentran en el comercio presentan una amplitud de calibración de 0 cb a 100 cb (0 – 100 kPa), el rango de uso práctico del instrumento oscila entre 0 cm y 800 cm de

succión (pF< 2,9), puesto que a succiones mayores puede filtrarse aire a través de la cápsula porosa.

En los diferentes suelos, el rango de la humedad aprovechable que cubre el tensiómetro (pF=2,0 y 4,2), es variable, dependiendo de la forma de la curva de pF. Así, en los suelos francos cubre el 50 % del agua aprovechable; mientras que, en los suelos arcillosos y arenosos, el 25 % y 75%, respectivamente.

2.5.6. Aplicaciones

Según Valarezo (2011), la determinación parcial del potencial matricial del suelo en el campo mediante el tensiómetro, tiene las siguientes aplicaciones:

- Determinación parcial de la curva de retención de agua del suelo (curva de pF), en el rango de 0 bar a 0,8 bar.
- Programación y operación del riego parcelario, por cuanto permite decidir "cuando regar" y "hasta cuando regar". En virtud de ello, comercialmente al tensiómetro también se lo denomina "irrómetro".
- Monitoreo de las condiciones de humedad del suelo a lo largo del desarrollo de un cultivo, no necesariamente irrigado, cuya información es indispensable para explicar e interpretar el comportamiento del cultivo en relación con otros factores, tales como, la aplicación de fertilización.
- Estudios del balance hídrico del suelo y del movimiento del agua en el suelo, en condiciones de no saturación (suelo húmedo). }
- Control del flujo a cierta profundidad: ascenso capilar y percolación (drenaje).

2.6. ESTUDIO DE RENTABILIDAD

Según Perrin *et al*., (1976). Manifiesta que la rentabilidad es una noción que se aplica a todas acciones económicas en la que se moviliza unos medios, materiales, humanos y financieros con el fin de tener unos resultados. En sentido general se denominan rentabilidad a la medida del rendimiento que en un determinado periodo de tiempo se producen los capitales utilizados en el mismo. Esto supone la comparación entre la renta generada y los medios utilizados para obtener, con el fin de permitir la elección entre alternativas o juzgar la eficiencia de las acciones realizadas según el análisis sea priori o a posterior (Sánchez, 2002). Según el manual de evaluación económico del programa de economía CIMMYT, el procedimiento para realizar el análisis económico de los resultados obtenidos en los ensayos en la finca es el siguiente:

2.6.1. Elaboración del presupuesto parcial

Este es un método que se utiliza para organizar los datos experimentales con el fin de obtener los costos y beneficios de los tratamientos alternativos.

a. Rendimientos medios.- Es la producción obtenida para cada tratamiento

b. Precio de campo.- Es el valor de un Kg de un producto para el agricultor. Para calcularlo se toma el precio que el agricultor recibe por el producto cuando lo vende y se le resta todos los costos relacionados con la cosecha y venta que son proporcionales al rendimiento, es decir, los costos que se pueden expresar por kilogramo del producto.

c. Beneficio bruto de campo.- Es el valor que tiene para el agricultor una unidad adicional de producción en el campo, antes de la cosecha. Se lo calcula multiplicando el precio de campo para cada tratamiento.

d. Costos que varían.- son aquellos que están en función directa con el volumen físico de producción para cada tratamiento.

e. Beneficios netos.- se calcula restando el total de los costos que varían de los beneficios brutos de campo, para cada tratamiento.

2.6.2. Relación Beneficio-Costo

Establece en forma de proporción la rentabilidad de un proyecto de inversión. Se lo calcula dividiendo la corriente de ingresos actualizados para la corriente de costos actualizados, utilizando la tasa de descuento similar al costo de oportunidad. Se considera como aceptable todo proyecto que tiene una relación beneficio/costo superior a la unidad.

2.7. INVESTIGACIONES REALIZADAS

2.7.1. Carbón vegetal

Villamagua *et al.,* (2005), evaluaron la respuesta del tomate riñón a la aplicación de diferentes dosis de carbón vegetal de granulometría menor a 4.5 mm, para mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo, y la rentabilidad del cultivo de tomate riñón bajo invernadero en la hoya de Loja. Los tratamientos fueron: T0 = 0 kg/m^2 (testigo), TI = 1 kg/m^2, T2 = 1.5 kg/m^2, T3 = 2 kg/m^2 de carbón vegetal, a todos los tratamientos se adicionó el 6% de abono orgánico (bocashi). Los resultados indican que en las propiedades físicas los suelos pasaron de pobre a medio en todos los tratamientos,

debido principalmente al incremento significativo de la capacidad de aireación. El mejor rendimiento lo obtuvieron en el 2 kg/m^2 con 11.55 kg/planta; mientras que el menor rendimiento obtuvo en el testigo con 9.95 kg/planta. El incremento de la productividad de 1,6 kg/planta equivalente al 16 %.

Álvarez y Guaillas (2007) probaron diferentes dosis de arena silícea, combinada con carbón vegetal en el cultivo de tomate riñón, los mejores sustratos en lo que se refiere a capacidad de aireación son el S2 que consiste en 20 % de arena+ 1.5 kg/m^2 de carbón vegetal y el S3 que consiste en 25 % de arena + 1.5 kg/m^2 de carbón vegetal, ambos con el 16 % Capacidad de aireación equivalente a alta. En lo referente a las láminas de riego, determinó que el T10 (155% ETc y el sustrato S1: 15% arena) presentó el menor nivel de agotamiento de agua con un valor de 15 %. No existió diferencia estadística significativa en los tratamientos al nivel del 5 % en rendimientos; pero el tratamiento conformado por la lámina 155 % ETc + sustrato (15 %arena) obtuvo el mejor rendimiento con 8.2 kg/planta.

Major y Rondón (2010), estudiaron en el cultivo del maíz durante cuatro años de aplicación de biocarbón en un oxisol de sabana en Colombia, donde concluyen que al aplicar de 0.8 t ha^{-1} y 20 t ha^{-1} de biocarbón durante el periodo 2003–2006 en bajo una rotación maíz/soya, donde el rendimiento de maíz no se incrementó significativamente en el primer año, pero posteriores incrementos en la parcela con 20 t ha^{-1} de biocarbón fueron de 28 % (6.4 kg ha^{-1}), 30 % (6.5 kg ha^{-1}) y 140 % (12 kg ha^{-1}) para 2004, 2005 y 2006, respectivamente; la disponibilidad de nutrientes como Ca y Mg fue mayor con el biocarbón y el análisis de tejido mostro que Ca y Mg fueron limitantes en este sistema; el pH se incrementó y la acidez intercambiable mostro una tendencia descendente con la aplicación de biocarbón.

Henreaux (2012), en Turrialba, Costa Rica, evaluó el efecto del biocarbón combinado con fertilizantes orgánicos y microorganismos benéficos sobre la productividad de pepino, su capacidad de desarrollo, resistencia contra la mosca blanca y dos bacterias patógenas en las plantas de tomate; donde concluye que la aplicación de biocarbón combinada con la inoculación de B. subtilis incrementó un 13% la altura de la plantas de tomate fertilizadas con lombricompost a lo largo de siete semanas de evaluación. La inoculación con T. harzianum y su combinación con B. subtilis permitieron, en presencia de biocarbón, aumentaron un 48% y 33% el peso seco de plantas de tomate fertilizadas con lombricompost. La co-inoculación con T. harzianum y B. subtilis en plantas de pepino fertilizadas + gallinaza + biocarbón aumentó significativamente la producción de frutos en un (76.5 t ha^{-1}), alcanzando una productividad estadísticamente igual a la fertilización sintética.

Alcañiz (2012), evaluó el efectos de varios tipos de biochar en suelo y planta de cebada; donde concluyen que el efecto de enmienda orgánica ha permitido obtener una mejora en los parámetros físicos del suelo, como la densidad aparente y la capacidad de retención de agua principalmente; el en primero en el sustrato de (suelo base con doble dosis de fertilizante mineral) paso de 1196 kg/m^3 a 1 387 kg/m^3, en cuanto a capacidad de retención de agua paso de 23.8 % a 28.2 % en el tratamiento de CR (biochar de astillas de chopo por pirolisis rápida) en relación al OL (suelo base con fertilizante mineral (CONTROL).

Altamirano *et al.*, (2013), probaron el uso de biocarbón proveniente de una caldera de biomasa en el cultivo de maíz, variedad ABSOLUT, en un andisol de textura media en el sur de chile a una profundidad de 0-10 cm del suelo, en dosis de 0 t ha^{-1}(T0), 1 t ha^{-1} (T1), 2.5 t ha^{-1} (T2) y 5 t ha^{-1} (T3) tha^{-1}de biocarbón y con una fertilización basal de 153 Kg N, 180 Kg P,180 Kg K, más una parcela sin biocarbón y sin fertilización basal (T0). Obteniendo mejoramiento en la calidad del suelo, aumentando los niveles de materia orgánica en un 44 %, pH en un 5.23, N disponible en 26.5 mg kg^{-1} en el T3 y P disponibles en 42 mg kg^{-1} en el T1. El crecimiento de las plantas aumentó con el incremento de la dosis de biocarbón, existiendo diferencias significativas en relación con los tratamientos sin fertilización basal y sin adición de biocarbón y se alcanzó la madurez fisiológica de las mazorcas en menor tiempo con la mayor dosis de biorcarbón (5 t ha^{-1}). En relación al rendimiento de las mazorcas, no se observaron diferencias significativas en los diferentes tratamientos.

2.7.2. Láminas de Riego y Rendimiento en el cultivo de Fresa

Chaves y Lasso (2013) estudiaron el efecto de dos cobertores plásticas color negro (CN), color plata (CP) y tres láminas de agua de 0.60mm, 0.75mm y 0.90mm (107.04 mm, 89.20 mm y 71.36 mm respectivamente durante el periodo de cuatro meses) medidas a través de un evaporímetro en un cultivo de fresa en la Granja Experimental Botana de la Universidad de Nariño. Los resultados mostraron que la cubierta plata (CP) ejerce una influencia positiva sobre sólidos solubles totales (SST) al aumentar la cantidad de estos en el fruto. En la interacción cobertura x lámina, los valores más altos se presentaron para peso del fruto y longitud del fruto (PF y LF) en presencia de cubierta negra x lámina alta (CN x LA). Resultados similares fueron obtenidos para número de frutos por planta (NFP) con cubierta negra (CN) en las tres láminas de riego con valores que fluctuaron entre 2.59 y 2.30 frutos por plantas; el menor valor se obtuvo en los tratamientos sin cobertura (SC). Con respecto al rendimiento (RTO) se destaca cubierta negra (CN) con lámina alta (LA) donde se obtuvieron los mayores resultados (31.6 t ha^{-1}); los tratamientos sin cobertura

(SC) con las tres láminas de riego se obtuvieron los rendimientos más bajos de 10.63 t ha^{-1} sin haber diferencias estadísticas entre ellos.

Duarte y Ruiz (2010), estudiaron el efecto de tres láminas de riego y tres dosis de aplicación de biofertilizantes en el cultivo orgánico de fresa (Fragaria spp) en el Castillito, Las Sabanas, Madriz, Nicaragua. Las variables a estudiar fueron lámina de 15 min día, 25 min/día y 30 min/día (2.5mm, 3.1 mm y 4.5 mm) y las dosis de biofertilizantes de 200 l ha^{-1}, 400 l ha^{-1}y 600 l ha^{-1}. Donde concluyen que la lámina que mostro el mayor rendimiento fue la de 30 min con 1 509. 24 kg ha^{-1} y la dosis de fertilizante de 400 l ha^{-1} con1 313.45 kg ha^{-1}. En cuanto a interacción riego – biofertilizante, la mejor fue la lámina de 30 min + 400 l ha^{-1} con 1 313. 77 kg ha^{-1}.

Solís (2011), evaluó tres láminas de riego: L1=4.9 mm, 125% de lámina de riego, L2=3.9 mm, 100% de lámina de riego, y L3=2.9 mm, 75% de lámina de riego; y dos frecuencias F1= cada 24 horas y F2= cada 6 horas en el cultivo de Fresa (Fragaria vesca) en la Provincia de Tungurahua, cantón Ambato. Siendo los mejores resultados la lámina L1=4,9 mm 125% y con una frecuencia de F1 cada 24h con un rendimiento promedio semanal de 887 Kg ha^{-1} y con mayor relación beneficio costo que es de 1.88. Y la de menor rendimiento es el de L3 75% y con una frecuencia de F1 cada 24 horas con 465 Kg ha^{-1}.

Chiqui y Lema (2010),evaluaron el rendimiento en el cultivo de fresa (*Fragaria sp*) variedad oso grande, bajo invernadero mediante dos tipos de tratamientos orgánica A (Fertivegetal 10 g/planta a la siembra, biol de hierbas 200 cc lt^{-1}, té de estiércol bovino 200 cc lt^{-1}, humus liquido 100 cc lt^{-1}, purín de cerdo 100 cc lt^{-1}y biol de frutas 200 cc lt^{-1}, aplicado en las diferentes etapas) y química B (Nutrient Express 3 g lt^{-1}, Diamónico (DAP) 1 g/lt, Muriato de potasio 1.5 kg a la siembra, Foliar Plus 2.5 cc lt^{-1}, Vigorizador 0.5 glt^{-1} y Super sol 1 g lt^{-1}), en la parroquia Octavio Cordero Palacios, Cantón Cuenca. La dosis de riego durante la primera semana se realizó tres riegos por día de 3min por golpe, la segunda semana se redujo a dos riegos por día de 2min/golpe, la tercera semana se redujo a un riego por día de 2 min, la cuarta semana se estableció tres riegos por semana en un solo golpe por la mañana durante tres minutos, esta cantidad de agua fue suficiente para tener un desarrollo y producción constante hasta el final. Donde concluye que no existieron diferencias estadísticamente significativas en la altura de planta, numero de hojas, diámetro de hoja, días de floración y fructificación (10.4 cm, 7 hojas, 12.26 cm, 63.4 días y 74.6 días, respectivamente); en el indicador de producción en el primer y quinto mes si existe diferencia significativa, donde el mejor rendimiento total estuvo en el tratamiento orgánico A con 854.76 g.

Espinoza (2008), el efecto de la incorporación de abonos verdes y dos niveles de biofertilizantes sobre el cultivo de fresa (fragaria spp.) variedad britget en las sabanas, madríz, Nicaragua. Donde se estudiaron especies de leguminosas: caupí (*Vigna unguiculata L.*) y mungo (*Vigna radiata L.*), y su incorporación en el suelo (12,24 y 36 dds (días después de la siembra)), y niveles de biofertilizantes (200 y 400 l ha^{-1}) sobre tres réplicas. Los resultados obtenidos indicaron que los abonos verdes y sus momentos de incorporación al suelo, así como los niveles de biofertilizantes foliar tuvieron efecto significativo sobre el rendimiento total, no así en las interacciones conformadas. Los mayores valores promedios en los efectos principales se presentaron en caupí (1 490 kg ha^{-1}) a los 12 dds de incorporados al suelo y 400 l ha^{-1}de biofertilizante foliar (1 318 kg ha^{-1}). Los mejores tratamientos conformados fueron el caupí incorporado al suelo a los 12 y 24 días después de la siembra con 400 l ha^{-1} de biofertilizante, con totales de 2 000 kg ha^{-1} y 2 100 kg ha^{-1}, respectivamente.

Acosta (2013), experimento la aplicación foliar de tres dosis de calcio y tres dosis de boro en el cultivo de fresa (*fragaria x ananassa. duch*) cultivar oso grande, bajo cubierta en la provincia en la Universidad Técnica de Ambato. Donde se observó que al aplicar una dosis de boro de 3 cc l^{-1} potencializadas con Ca contribuyen a disminuir la aparición de frutos deformes; con dosis altas de Ca de 1.5 cc l^{-1}, se obtienen promedios de firmeza de 2.16, 2.29 y 2.24, siendo las mejores en cuanto a manejo poscosecha; en cuanto a rendimiento se observa que ninguna de las fuentes de variación arroja significación estadística, teniendo un promedio de rendimientos de 990 g/parcela. En cuanto al tratamiento que alcanza los costos más elevados es Ca3 B3 con 31 601.67 dólares y el más económico el testigo con 27151.67 dólares por hectárea.

Otuna (2012), evaluó el rendimiento de la fresa (Fragaria chiloensis L. Duch) sometida a diferentes tipos de sustratos dentro de un cultivo semi-hidropónico en la parroquia Salinas provincia de Imbabura. Donde concluye que durante dos meses al realizar nueve cosechas se obtuvo que el tratamiento con Arena de rio + Turba + Bagazo de caña alcanza los promedios más altos de 118.61 g/planta o su equivalente a 6 523.64 kg ha^{-1} siendo muy diferente a los demás tratamientos. El menor promedio lo presentó el testigo con 22.91 g/planta equivalente a 1 260.08 kg ha^{-1}.

Quishpe (2012), evaluó la respuesta de la frutilla (*fragaria dioica.*) al sistema de cultivo semihidropónico en el Quinche – Pichincha .Donde concluye que el rendimiento más alta se produjo en la Variedad Albión con 2 002.22 kg ha^{-1}, y el rendimiento más bajo fue en la Variedad Diamante con 1 384.44 kg ha^{-1}. En los demás parámetros no hubo diferencia estadística significativa.

Verdugo (2011), evaluó cuatro tipos de abonos orgánicos líquidos aplicados mediante fertirriego: té de estiércol, té de frutas, caldo super cuatro, en base a biol de hierbas y el testigo que se lo regó con agua libre de sustancias nutritivas, con dosis para cada riego de un litro de biofertilizante por 100 litros de agua aplicados a dos variedades Diamante y Albión. Donde concluye que los mejores resultas se presentó en la utilizar Caldo Super Cuatro en la variedad Diamante, obteniendo las plantas de mayor crecimiento en altura a los 90 días (24.87 cm) y los frutos de mayor peso (15.40 g), longitud (4.20 cm) y número de frutos cosechados por planta (86.33 frutos en 48 cosechas), por lo que los rendimientos de este tratamiento fueron los mejores (41.40 t ha^{-1}), siendo la de menor rendimiento el testigo aplicado a la variedad Albión con 26.95 tha^{-1}.

III. METODOLOGÍA

3.1. LOCALIZACIÓN DEL ENSAYO

3.1.1. Ubicación Política.

El proyecto de investigación se la llevó a efecto en la Estación Experimental "La Argelia", al sur de la ciudad de Loja, perteneciente a la parroquia de San Sebastián del cantón y provincia de Loja.

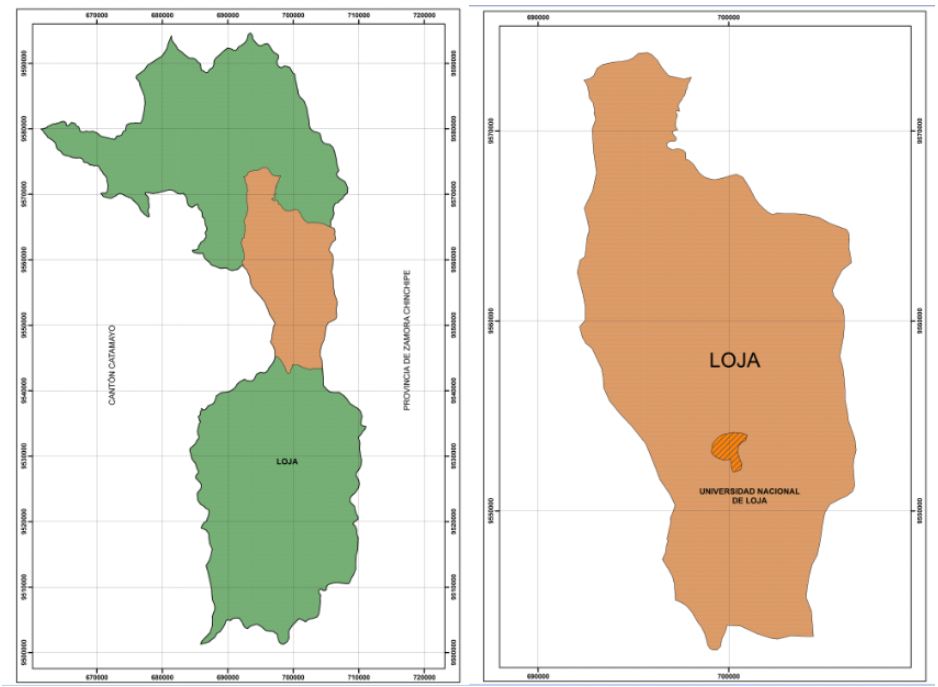


Figura 3. Ubicación del experimento, sector Los Molinos de la Estación Experimental La Argelia.

3.1.2. Ubicación geográfica

Geográficamente la Estación Experimental "La Argelia", se encuentra ubicada en las siguientes coordenadas planas UTM. Zona geográfica: 17

9554365 m
700452 m
Altitud: 2100 msnm.

3.1.3. Clasificación Climática

Según los datos registrados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), para un registro de 42 años (1971 a 2013), las condiciones climáticas son las siguientes:

- Precipitación anual: 906.9 mm/año
- Temperatura media anual: 15.5 °C
- Temperatura máxima: 27.8 °C
- Temperatura mínima: 3 °C
- Humedad relativa máxima: 78 %
- Humedad relativa mínima: 72 %
- Humedad relativa media: 74 %
- Velocidad del viento media: 3.1 m/s

3.1.4. Suelos

El suelo es un Ustifluvent (USDA Soil Taxonomy 2010), profundo formado en una vega pobremente drenada de un paisaje de valle interandino, de textura que van de textura franco a franco – arcillosa, pobres en materia orgánica y medianamente profundos. (Villamagua *et al*, 2013).

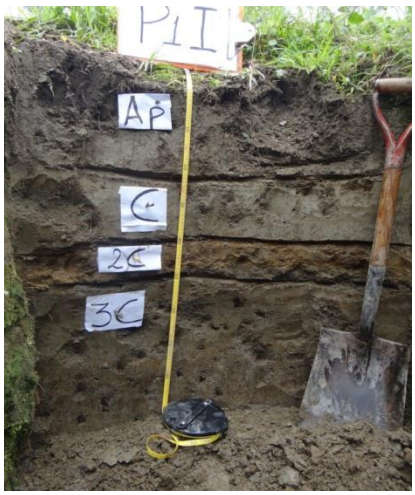


Figura 4. Fotografía Descripción del perfil de suelos en los invernaderos

3.1.5. Carbón vegetal

Se utilizó biocarbón de una sola fuente, elaborado mediante un proceso tradicional local del sector Santa Bárbara, de la parroquia Jimbilla, del cantón y provincia de Loja, a partir del material leñoso de los siguientes árboles: 80 % tábano (*Casearia sp. familia Flacourtaceae*); y, 20 % de cashco (*Weinmania fagaroides*), canelo (*Nectandra laurel Nees*) y capulí (*Prunas opaca (Benth. Walp*.), el mismo que fue molido y clasificado en partículas menores que 2 mm; y, mayores que 2.1 mm y menores que 4.5 mm (Villamagua *et al*, 2013).

3.1.6. Clasificación ecológica

Ecológicamente la Estación Experimental "La Argelia", se define como:

- Según Koopen, pertenece a un clima templado lluvioso, Mesotérmico, frío o isotermal.
- Según Holdridge corresponde a bosque seco montano bajo bs-Mb (Guarnizo 1995, citado por Álvarez, P.).

3.2. MATERIALES

3.2.1. Materiales de campo

- Invernadero tipo cercha de 1526 m^2 (ver anexo 5.)
- Sistema de riego por goteo (ver anexo 6.)
- Semillas de fresa (variedad Albión)
- Balanza de precisión
- barreno tipo Edelman
- Herramientas e instrumentos de labranza
- Tensiómetros
- Insumos y fertilizantes agrícolas
- Higrotermómetro
- Agua destilada
- Motobomba

3.2.2. Material de laboratorio

- Muestras de suelos
- Cilindros Koppecky de 100cc
- Barreno extractor de muestras
- Crisoles
- Estufa
- Balanza analítica
- Ollas de presión (Eijkelcmp)

3.3. METODOLOGÍA

3.3.1. Diseño estadístico

3.3.1.1. Modelo experimental

El diseño experimental fue el de Bloques Completamente al Azar con arreglo bifactorial con tres repeticiones.

3.3.1.2. Modelo matemático

$$\boldsymbol{Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \delta_j + (\alpha\delta)_{ik} + \beta_k + E_{ijk}}$$

Donde:

$\boldsymbol{Y_{ijk}}$ = Rendimiento de la unidad experimental

$\boldsymbol{\mu}$ = Es la media general del ensayo

$\boldsymbol{\alpha_i}$ = Efecto de sustratos

$\boldsymbol{\delta_j}$ = Efecto de las tensiones de humedad

$(\boldsymbol{\alpha\delta})_{ij}$= Interacción de los sustratos y tensiones de humedad

$\boldsymbol{\beta_k}$ = Efecto de las repeticiones.

$\boldsymbol{E_{ijk}}$ = Error experimental

3.3.1.3. Variables

➢ **Variables Independientes**

Variable 1: Sustratos (A)

✓ S_1: Menores que 2 mm de granulometría de carbón vegetal.

✓ S_2: Mayores que 2 mm y menores que 4.5mm de granulometría de carbón vegetal.

✓ S0: 0 mm de granulometría de carbón vegetal (Testigo).

La dosis de carbón vegetal para todos los tratamientos fue de 2.0 Kg/m^2, a una profundidad de 0.25 m.

Variable 2: Tensiones de Humedad (B)

✓ $T_{1:}$ 15 cb a 20 cb

✓ $T_{2:}$15 cb a 30 cb

✓ T_3: 15 cb a 40 cb

Cuadro 6. Tratamientos con diferentes granulometrías de carbón vegetal y tensiones de humedad en el cultivo de fresa, Loja – Estación Experimental "La Argelia", 2013.

Tratamientos	Factor A Granulometría Carbón vegetal	Factor B Tensión de Humedad (Cb)	Descripción
T1	Menores que 2 mm	15 cb a 20 cb	S1t1
T2		15 cb a 30 cb	S1t2
T3		15 cb a 40 cb	S1t3
T4	Mayores que 2 mm y menores que 4.5 mm	15 cb a 20 cb	S2t1
T5		15 cb a 30 cb	S2t2
T6		15 cb a 40 cb	S2t3
T7	Testigo	15 cb a 20 cb	S0t1
T8		15 cb a 30 cb	S0t2
T9		15 cb a 40 cb	S0t3

Fuente: Los autores, 2013.

- **<u>Variables dependientes</u>.**

Primer objetivo

- ✓ Capacidad de aireación (CA%)
- ✓ Agua aprovechable (AA%)
- ✓ Volumen de poros físicamente inertes (%)

Segundo objetivo

- ✓ Contenido de humedad del suelo (ɵv)
- ✓ Lámina óptima (mm)

Tercer objetivo

- ✓ Rendimiento en kg/planta/tratamiento (kg)
- ✓ Relación beneficio/costo

3.3.1.4. Especificaciones técnicas del diseño

- Área del invernadero: 1526.4 m^2
- Longitud de la cama: 26.8 m
- Ancho de la cama: 0.80 m
- Altura de la cama: 0.40 m
- Área de la unidad experimental: 26.80 m^2
- Área total del ensayo: 777,2 m^2
- Número de camas: 27
- Distancia entre plantas: 0,3 m
- Distancia entre hileras: 0.4 m
- Número de plantas/cama: 179
- Número total de plantas. 4824

3.3.1.5. Hipótesis

Hipótesis de Investigación

- Las aplicaciones de diferentes granulometrías del carbón vegetal permiten mejorar la capacidad de aireación del suelo, lo cual se traduce en una mayor productividad del cultivo de fresa.
- La tensión óptima de agua del suelo que satisfaga los requerimientos del cultivo incrementará los rendimientos del cultivo de fresa

Hipótesis estadísticas

H1 = Carbón vegetal.

H0 = (Cv0 = Cv1 = Cv2). El efecto de las diferentes granulometrías de carbón vegetal en el rendimiento del cultivo de fresa, es estadísticamente igual al nivel de significancia del 5 %.

H1 = (Cv0 = Cv1 = Cv2). El efecto de las diferentes granulometrías de carbón vegetal en el rendimiento del cultivo de fresa, no es estadísticamente igual al nivel de significancia del 5 %.

H2 = Tensiones

H0 = (T1 = T2 = T3) El efecto de cada una de las tensiones de humedad en cuanto a rendimiento de la fresa es estadísticamente igual al nivel de significancia del 5 %.

H1 = (T1 ≠ T2 ≠ T3) El efecto de cada una de las tensiones de humedad en cuanto al rendimiento de la fresa no es estadísticamente igual al nivel de significancia del 5 %.

Interacción carbón vegetal – tensiones.

H0: No hay interacción entre las diferentes granulometrías del carbón vegetal y las diferentes tensiones de humedad

Ha: Si hay interacción entre las diferentes granulometrías del carbón vegetal y las diferentes tensiones de humedad

3.3.2. Agrotecnia del cultivo

3.3.2.1. Preparación del suelo

Para la preparación del suelo se utilizó un motocultor rotativo, un mes antes de la implantación del cultivo. Este procedimiento consistió en pasar el arado una sola vez por las parcelas, y eliminando malezas y objetos que dañen la colocación del acolchado.

Figura 5. Preparación del suelo, Loja 2012

3.3.2.2. Levantamiento de camas

Esta actividad se la realizó manualmente según los anchos de cama previamente establecidos (0,8 m). Para lo cual se utilizó estacas con la finalidad de alinear y definir adecuadamente las parcelas y los caminos; el ancho de los caminos fue de 1 m y el largo de las camas de 26,4 m.

Figura 6. Construcción de camas, Loja, 2012

3.3.2.3. Aplicación del fertilización base

La aplicación de la fertilización base se la efectuó de cuerdo al balance realizado entre el análisis de los sustratos y el requerimiento de los cultivos (Anexo 7). Las dosis aplicadas se detallan en el cuadro 7; la cantidad que se aplicó para cada tratamiento y su réplica fue de 4,02 kg, una vez terminado esta labor, se procedió a la mezcla mediante el motocultor rotativo.

Cuadro 7. Cantidad de fertilizantes aplicado en el cultivo de fresa, Loja – Estación Experimental "La Argelia", 2013.

Fertilizante	Cantidad
Sulfato de amonio	54.0 kg
Sulfomag	50.0 kg
Bórax	10.6 kg
Sulfato de cobre	2.0 kg

Fuente: Los autores, 2013.

Figura 7. Aplicación de Fertilización Base, Loja, 2012

3.3.2.4. Colocación y ahoyado del cobertor

La colocación del acolchado se realizó en las primeras horas de la mañana con la finalidad de evitar que el plástico se dilate con las altas temperaturas dentro del invernadero, y posteriormente se procedió al ahoyado en una distancia de 30 cm en tres bolillo.

Figura 8. Colocación de Acolchado y hoyado Base, Loja, 2012

3.3.2.5. Trasplante

El tipo de variedad implantada fue "Albión"; la cual, para su implantación se procedió a la preparación de una mezcla para la desinfección de la plántula, misma que se detalla en el siguiente cuadro.

Cuadro 8. Solución base para trasplante de fresa, Loja – Quinta Experimental "La Argelia", 2013.

Descripción	Cantidad
Indicate	0.5 ml l^{-1}
Phyton	2.5 ml l^{-1}
Seaweed Extract	2.5 ml l^{-1}
Lorsban	2.0 ml l^{-1}
Daconil	12.0 ml l^{-1}

Fuente: Los autores, 2013.

Figura 9. Trasplante de plántulas de fresa, Loja, 2012

3.3.2.6. Control fitosanitario

Esta actividad se la realizó periódicamente con el fin de evitar pérdidas de plantas y mejorar las condiciones sanitarias de las mismas. Los productos utilizados se anotan en el cuadro 9.

Figura 10. Control fitosanitario Loja, 2013

Cuadro 9. Productos químicos empleados para el control de las enfermedades en el cultivo fresa.

Descripción	Dosis para 20 l de agua	Plagas y enfermedades
Phyton + kasumin	25 ml + 40 ml	Pudrición de corona
Newmectin + azufre	10 ml + 25 g	Ácaros y gusano cogollero
Score + daconil	10 ml + 40 ml	Botrítis del fruto
Fegadazim	20 ml	Fusarium y antracnosis

Fuente: Los autores, 2013.

3.3.2.7. Podas

A los 20 días de implantado el cultivo, se procedió a la poda de las primeras flores y látigos o estolones, con la finalidad de no perder el potencial de crecimiento de la planta y evitando una disminución en rendimiento final de cosecha.

Figura 11. Poda de flor, Loja, 2013

3.3.2.8. Manejo de temperatura y humedad relativa

Se reguló la apertura y cierre de cortinas para un control adecuado del microclima, principalmente la temperatura entre los rangos de 15 °C – 20°C y humedad relativa entre los rangos de 60 % – 65%. Para el registro de temperatura y humedad relativa, se instaló un Higrotermómetro ubicado en el centro del invernadero. Los registros se realizaron a las 07H00; 10H00, 13H00; 16H00 Y 18H00.

También se llevó el registro de temperatura y humedad relativa de la Estación Meteorológica "La Argelia", con el fin de relacionar los datos climáticos con los registrados dentro del invernadero (ver anexo 27.)

3.3.2.9. Fertirrigación

Se realizó los cálculos en base a la cantidad faltante de su requerimiento, ya que el 30 % fue aplicado en la fertilización base, y además se tomó en cuenta las cantidades que el cultivo demandaba durante toda su fase fenológica. La lámina que se utilizó para el cálculo de riego fue en base a la menor, ya que se trabajó con diferentes rangos de tensiones (15 cb a 20 cb; 15 cb a 30 cb y de 15cb a 40 cb); mientras que, para las láminas de las tensiones de humedad que sobrepasaron la lámina de riego con fertilizante, se aplicó adicionalmente agua para que cumpla con la lámina total de riego. Los cálculos para el fertirriego se adjuntan en el anexo 8.

Cuadro 10. Variación de temperatura en invernadero

hora	Temperatura exterior (°C)	Temperatura invernadero (°C)	Diferencia
07:00	14	16	2
10:00	17	22	5
13:00	19	25	6
16:00	19	22	3
19:00	16	18	2

Fuente: Los autores, 2013.

Como indica el cuadro 10, la temperatura al interior del invernadero fue en promedio de 20.6 °C lo cual es un valor aceptable para la fresa, ya que su tolerancia va de 20 °C - 25 °C; cuando existió altas temperaturas especialmente al medio día, se procedió a la apertura de las cortinas; demostrando a lo largo de la investigación que hubo aproximadamente una disminución de 5 °C al momento de la apertura total de las cortinas.

Cuadro 11. Variación de humedad relativa en invernadero

Hora	Humedad relativa Exterior (%)	Humedad relativa Invernadero (%)	Diferencia
7:00	86	80	6
10:00	73	50	24
13:00	68	40	28
16:00	70	46	24
19:00	81	62	19

Fuente: Los autores, 2013.

Debido a que la humedad relativa Influye sobre el crecimiento, transpiración, fecundación de las flores y desarrollo de las enfermedades es preferibles humedades medias no superiores al 50% y suelos no encharcados. En un ambiente saturado de humedad las plantas disminuyen su transpiración, con lo que la absorción de sales minerales de la solución del suelo es menor y la fotosíntesis queda enormemente reducida, en el caso del invernadero el exceso de humedad solo se presentó a inicios del día y al final del mismo, siendo el acochado un factor importante para el control de la humedad relativa. Pero cuando la humedad relativa descendió hasta valores inferiores

como se indica en el cuadro 11 se procedió a pulverizar agua en el ambiente, apertura de cortinas y riego en los caminos.

3.3.2.10. Comercialización

El inicio de la cosecha de la producción de fresa se realizó a partir de los 151 días, cuando los frutos presentaron madurez fisiológica, para luego ser embolsados en fundas plásticas de capacidad de una, dos y cinco libras para su posterior comercialización.

Figura 12. Comercialización de fresa Loja, 2013

3.3.3. Metodología del primer objetivo

"Determinar la granulometría de carbón vegetal óptima en los rango ≤ 2mm, ≥ 2.1 y ≤ 4.5 mm, para mejorar las condiciones físicas del suelo de los invernaderos de la Estación experimental La Argelia".

3.3.3.1. Análisis de suelos

La aplicación del carbón vegetal se efectuó en otras investigaciones en el año 2010, y por ende en el presente proyecto de tesis no fue necesario su colocación en los tratamientos correspondientes.

Para el análisis de fertilidad se tomó tres submuestras alteradas correspondientes a las tres repeticiones de los nueve tratamientos con un barreno tipo Edelman, que se introdujo hasta 20 cm de profundidad en puntos distribuidos al azar, las submuestras se mezclaron para conformar la muestra del sitio; de la cuales, en el laboratorio se obtuvo textura, pH, CE, CIC, MO, C/N, fósforo y potasio aprovechables, así como también ciertos micronutrientes.

Se tomaron muestras del suelo no disturbadas con ayuda de los anillos Koppecky de 100 cm^3 de capacidad, las mismas que fueron enviadas al laboratorio de suelos del AARNR, para determinar, el contenido de humedad a 0 atm, 1/10 atm, y 15 atm. y densidad aparente. Determinándose: porosidad total, capacidad de aireación, agua aprovechable y el volumen físicamente inerte. Finalmente, se evaluó las condiciones físicas del suelo con ayuda del diagrama triangular y se obtuvo las necesidades de mejorar la aireación y la retención de agua aprovechable (Valarezo *et al.*, 1998).

Para el cálculo de las propiedades físicas se utilizaron las siguientes fórmulas:

a. Volumen Total de Poros:

$$\boldsymbol{VTP = PS * Da}$$

Donde:

VTP = Volumen de poros (%)

Ps = Peso de saturación (%)

Da = Densidad aparente (gr/cm^3)

b. Agua aprovechable

$$\boldsymbol{AA = CC - PMP}$$

Donde:

AA = Agua aprovechable (%)

CC = Capacidad de campo (%)

PMP = Punto de marchites permanente (%)

c. Capacidad de Aireación

$$\boldsymbol{CA = S - CC}$$

Donde:

CA = Capacidad de aireación (%)

S = Saturación (%)

d. Volumen Físicamente Inerte

$$\boldsymbol{VFI = [100 - (VTP - PMP)]}$$

Donde:

VFI **=** Volumen de poros físicamente inerte (%)

3.3.4. Metodología para el segundo objetivo

"Establecer el rango de tensión de humedad óptima, 15 cb – 20 cb, 15 cb – 30 cb y 15 cb – 40 cb que permita una mejor relación de agua y aire en el cultivo de fresa bajo invernadero.".

En primer lugar se instaló un tensiómetro en el horizonte de 00 a 20 cm en cada una de los tratamientos. Posteriormente, se construyó las curva características de humedad del suelo, en base a la tensión de humedad con una frecuencia de 5 cb (0 a 45 cb) y el contenido de humedad en términos de masa (Anexo 9). Seguidamente, con la ecuación de regresión de cada curva se ajustaron los valores del contenido de humedad.

Se empezó a regar cuando los tensiómetros marcaron 20 cb, 30 cb y 40 cb, determinando la lámina de agua aprovechable existente en el suelo para cada una de dichas tensiones. La referida lámina, se la calculó de la manera siguiente:

$$LAA = \left(\frac{CH}{100}\right) \times Da \times Pr$$

Donde:

LAA = Lámina de agua aprovechable (mm)

CH := Contenido de húmeda (%)

Da = Densidad aparente (g/cm^3)

Pr = Profundidad radicular (mm)

Por otro lado, utilizando la misma ecuación anterior, se determinó la lámina a capacidad de campo para cada tratamiento, la misma que se convirtió en lámina bruta al ser ésta dividida por la eficiencia de aplicación del agua en la parcela (0,95).

La lámina neta de riego, se la obtuvo de la diferencia entre lámina bruta y la lámina de

agua aprovechable. La lámina neta final de riego, fue determinada en base al producto de la lámina neta de riego por el porcentaje de humedecimiento del suelo (0,20)

De acuerdo, al caudal del gotero (l/h), el marco de sistema de riego; y, la densidad de siembra, se obtuvo la intensidad de precipitación del sistema de riego por goteo (mm/h).

La fórmula utilizada fue:

$$IP = \frac{Q \times L}{e \times (a + c)}$$

Donde:

IP = Intensidad de precipitación (mm/h)

Q = Caudal del gotero (l/h)

L = Número de laterales/cama

e = Espaciamiento entre goteros (m)

a = Ancho de cama (m)

c = Ancho de camino (m)

El tiempo de riego, se lo calculó, utilizando la siguiente ecuación:

$$T = \frac{LAA_{neta\ nfinal} \times 60}{IP}$$

Donde:

T = Tiempo de riego (min)

$LAA_{netafinal}$ = Lámina neta (mm)

IP = Intensidad de precipitación (mm/h)

El riego se lo realizó cuando los tensiómetros registraron 20 cb, 30 cb y 40 cb y se detuvo, cuando los mismos marcaron 15 cb o su equivalente a la capacidad de campo del suelo. Se registró diariamente la lámina de riego aplicada en cada oportunidad, de manera de establecer el consumo por fase y total del agua en el cultivo.

El mantenimiento de los tensiómetros, se realizó dos veces por semana, con nla finalidad de evitar la presencia de burbujas de aire, mismas que fueron extraídas con bomba manual de succión.

3.3.5. Metodología para el tercer objetivo

"Evaluar la rentabilidad económica de las combinaciones de Carbón vegetal V y tensión de humedad, sobre el rendimiento del cultivo de fresa bajo invernadero".

3.3.5.1. Mediciones experimentales

Para la medición de las variables dependientes se seleccionaron 20 plantas al azar en cada una de las unidades experimentales; las variables evaluadas fueron las siguientes:

- **Rendimiento en Kg/planta**

La cosecha se la inició a los 151 días después del trasplante y se la realizó cada semana. El periodo de cosecha fue de cuatro meses, con la finalidad de obtener datos representativos.

Los rendimientos de los diferentes tratamientos fueron procesados utilizando el software estadístico Info Stat (Di Rienzo *et al.*, 2008), tanto para el análisis de la varianza, como para la prueba de significación de Tukey.

3.3.5.2. Rentabilidad económica

3.3.5.2.1. Costos variables.

Se realizó los cálculos tomando en cuenta los rubros, granulometría de carbón vegetal y láminas de riego, según corresponda a cada tratamiento

3.3.5.2.2. Ingresos.

Los ingresos fueron calculados de acuerdo al número de plantas seleccionadas en cada unidad experimental. Los ingresos totales fueron inferidos de cada unidad experimental para el tratamiento correspondiente.

3.3.5.2.3. Costos de producción.

Se estableció como costos de producción: costos directos: labores con maquinaria, productos fitosanitarios, fertilizantes, mano de obra, transporte. Costos de depreciación: equipos y herramientas con depreciación. Costos indirectos: Siendo estos iguales para cada tratamiento.

3.3.5.2.4. Relación beneficio/costo.

Se calculó dividiendo el ingreso neto para los costos actualizados que comprenden los costos variables y los costos de producción. Este es un indicativo de lo que el productor puede recuperar de su inversión y el beneficio adicional. Por lo tanto, una relación beneficio-costo de 1.5 nos indica que por cada dólar invertido en el proyecto, se obtendrá un rendimiento de 1.5 dólares, es decir que recupera su inversión y además obtiene un beneficio del 50%.

3.3.6. Metodología para el cuarto objetivo

"**Difundir los resultados obtenidos en la presente investigación a campesinos, técnicos, profesores, estudiantes y demás interesados en la temática."**

La socialización de los resultados se realizó el 20 de diciembre del 2013, en los invernaderos de la Estación Experimental La Argelia de la Universidad Nacional de Loja, con la participación de docentes y estudiantes de la carrera de Ingeniería Agrícola. Además se entregó un tríptico divulgativo (anexo 11.) y los resultados también fueron difundidos por el Departamento de Comunicación Institucional De La Universidad Nacional de Loja.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan los resultados obtenidos durante el desarrollo de la investigación

4.1. "Determinar la granulometría de Carbón vegetal óptima en los rango ≤ 2mm, ≥ 2.1 y ≤ 4.5 mm, para mejorar las condiciones físicas del suelo de los invernaderos de la Estación experimental La Argelia".

4.1.1. Propiedades químicas del suelo

En el cuadro 12 se presentan los resultados de los análisis químicos del suelo antes y después del ensayo, tomadas a un rango de profundidad de 0 cm – 20 cm.

Cuadro 12. Análisis químico del suelo antes y después del ensayo

Sustratos	PH		MO %		CIC Cmol(+) Kg^{-1}		N mg Kg^{-1}	
	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
S1	6	6.2	2.4 B	2.1 B	11.5 M	12.76 M	61.5 A	88.7 A
S2	6.1	6.5	2.1 B	2.2 B	10.6 M	12.7 M	58.6 A	80 A
S0	6.1	6.4	2.4 B	1.9 B	10.1 M	11.96 M	65.2 M	148.9 A
	K_20 Cmol(+) Kg^{-1}		CA disp. Cmol (+) Kg^{-1}		Mg disp. Cmol(+) Kg^{-1}		Fe mg Kg^{-1}	
	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
S1	1.1 A	0.367 M	12.6 A	9.28 A	2.6 M	0.91 B	149.8 B	142.9 E
S2	1.0 A	0.945 A	12.1 A	9.52 A	2.3 M	0.94 B	149.9 B	135.9 E
S0	1.1 A	0.860 A	10.6 A	9.66 A	1.9 M	0.89 B	147.8 B	147.2 E
	CE mmhos/cm		P_2O_5 mg Kg^{-1}		Mn mg Kg^{-1}		Cu mg Kg^{-1}	
	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después	Antes	Después
S1	--	1.7	665.3 A	574.3 A	17.8 A	8.1 M	9.1 A	--
S2	--	1.6	734 A	658.7 A	18.9 A	8.06 M	9.4 A	--
S0	--	0.8	696.5 A	622.9 A	17.9 A	11.4 M	8.8 A	--

Fuente: Los autores, 2013.

Donde: B= bajo; M= medio; S= suficiente; A=alto; E=exceso

El pH del suelo pasó de 6.1 a 6.3 en los sustratos con carbón vegetal equivalentes a ligeramente ácido, este aumento aunque no es significativo probablemente se debe al carbón vegetal, que dependiendo de su material de origen y de su pirolisis tiende a

alcalinizar el suelo (Lehmann, 2007). La carbonización por pirolisis tiende a aumentar el pH de los materiales en conclusión (Lehmann 2007, Chan y Xu, 2009) mencionan "al proceso de pirolisis, la temperatura y tiempo de residencia serían los factores que más influenciarían en el pH del suelo, aumentando normalmente el mismo con el aumento de estos parámetros". Sin embargo en suelo con pH alto, la adición de carbón vegetal puede elevar el pH hasta niveles que podrían limitar la disponibilidad de nutrientes, aunque dependerá de la capacidad de amortiguamiento del suelo.

De forma similar ocurrió para la conductividad eléctrica del suelo ya que según investigaciones de Méndez *et al.,* (2013) "La adición del biocarbón provocó aumentos estadísticamente significativos tanto del pH como de la conductividad eléctrica del suelo" Este incremento variará según el tipo de biocarbón aplicado, sea este procedente de un material más lignificado y con un menor contenido de cenizas o procedente de restos de poda". En los sustratos con aplicación de carbón vegetal la conductividad eléctrica fue de 1.7 mmhos cm^{-1}, mientras en el testigos tuvo un valor de 0.8 mmhos/cm, lo que fue favorable para el desarrollo del cultivo de la fresa ya que según Brazanti (1989) señala que para el cultivo de la fresa se debe evitar suelos salinos, con concentraciones de sales que originen conductividad eléctrica en extracto saturado superiores a 1 mmhos/cm, ya que puede empezar a registrarse disminución en la producción de fruta y por ende en el rendimiento final de la fresa.

El contenido de materia orgánica al inicio del ensayo fue de 2.25 % y 2.4 % en los sustratos con carbón vegetal y el testigo, correspondiente al nivel media; y, al final del ensayo fue de 2.2% (media) y 1.9% (bajo), respectivamente; En los sustratos con carbón vegetal el contenido de materia orgánica se mantiene en el rango medio, mientras que en el testigo descendió al límite superior del nivel bajo debido a la no presencia del carbón vegetal ya que según Glaser *et al.,* (2002) manifiesta que a más de los iones metálicos, con las aplicaciones de carbón vegetal al suelo, se retendrían la materia orgánica disuelta y los nutrientes orgánicos disueltos.

El nitrógeno tuvo un ascenso significativo desde 61.7 mg Kg^{-1} equivalente a alto al inicio de la investigación hasta 88.7mg Kg^{-1} (2mm de carbón vegetal), de 58.6 mg Kg^{-1} a 80mg Kg^{-1} (4.5mm de carbón vegetal) y desde 65.2 mg Kg^{-1} a 148.9 (0mm de carbón vegetal), equivalente a alto. Estos resultados proponen que al adicionar nitrógeno en la fertilización base y fertirriego fueron retenidos por la matriz del suelo.

En cambio en los valores de potasio hubo un descenso de 1.1 Cmol (+) Kg^{-1} a 0.724 Cmol (+) Kg^{-1} correspondiente a alto, esto se debe a que el consumo de potasio por

parte del cultivo de fresa es alrededor de 0.90 Cmol (+) Kg^{-1} durante su fase fenológica y su descenso es justificable.

Con respecto al fosforo paso de 698.6 mg Kg^{-1} a 618.63 mg $Kg-^{1}$, correspondiente a exceso, mientras que su demanda nutricional es de 200 mg Kg^{-1} en todo el proceso vegetativo. Este elemento al estar en altos niveles dificulta en su mayor parte, con la absorción de otros elementos, tales como el hierro, el manganeso y el zinc, pero que a su vez no se ve reflejado en el comportamiento de la planta de fresa ya que su requerimiento nutricional son en proporciones bajas.

En cuanto al calcio, al inicio del ensayo presentó un valor de 11.6 Cmol (+) Kg^{-1}, mientras que al final 9.49 Cmol (+) Kg^{-1}, esta disminución obedece a que el cultivo de fresa es exigente en calcio en sus días de floración y fructificación, ya que una disminución podría causar deformaciones en el fruto y una consistencia baja, causando pérdidas en producción; los mismo ocurre con el boro.

En los resultados de los análisis químicos la capacidad de intercambio catiónico (CIC) al inicio del ensayo nos muestra un valor de 10,58 Cmol (+) Kg^{-1} mientras que al final del ensayo existió un valor de 12.35 Cmol (+) Kg^{-1} correspondiente a medio. Este ligero aumento se explica por la adición de potasio, calcio y magnesio en la fertilización a todos los tratamientos.

4.1.2. Propiedades físicas del suelo

Cuadro 13. Análisis físico del suelo antes del ensayo

Sustrato	Densidad aparente	Saturación	Contenido De Humedad %		AA	CA	VTFI	EQUIVALENCIA			
			CC	PMP							
	g/cm³	%	0.1 atm	15 atm		%		AA	CA	ZONA	CLASE
S1	1.17	43.49	30.11	-	-	13.38	-	-	Alto	-	-
S2	1.18	43.57	30.40	-	-	12.54	-	-	Alto	-	-
S0	1.14	44.71	30.02	-	-	14.69	-	-	Alto	-	-

Fuente: Los autores, 2013.
CA: Capacidad de Aireación, AA: Agua aprovechable, VTFI: volumen de poros físicamente inerte

Las propiedades físicas del suelo antes del ensayo presentaron condiciones físicas óptimas para el crecimiento del cultivo de fresa. La capacidad de aireación en los sustratos con carbón vegetal fue de 13 % en promedio, equivalente a alto, mientras que en el testigos fue de 14.69 % en promedio, equivalente a alto (Cuadro 13). Interpretando

este valor como condición física adecuada para el crecimiento y desarrollo de plantas, es decir un adecuado intercambio de CO_2 y O_2 entre el suelo y la atmosfera.

Cuadro 14. Análisis físico del suelo Después del ensayo

Sustrato	Densidad aparente	Saturación	Contenido De Humedad %		AA	CA	VTFI	EQUIVALENCIA			
			CC	PMP							
	g/cm³	%	0.1 atm	15 atm		%		AA	CA	ZONA	CLASE
S1	1.25	42.56	30.06	8.55	21.57	12.51	67.51	Muy alto	Alto	IV	Bueno
S2	1.26	43.85	29.69	8.59	21.51	12.02	66.71	Muy alto	Alto	IV	Bueno
S0	1.26	41.08	30.15	8.59	21.27	10.94	65.97	Muy alto	Alto	IV	Bueno

Fuente: Los autores, 2013.
CC: Capacidad de Campo, CA: Capacidad de Aireación, VTFI; Volumen de poros físicamente inerte.

Luego de la investigación (Cuadro 14) mostraron que las condiciones físicas permaneciendo en el rango de bueno durante todo el proceso investigativo. El promedio agua aprovechable para los sustratos con carbón vegetal fue de 21.54 %, mientras que en el testigo fue de 21.27 % en promedio; la capacidad de aireación los sustratos con carbón vegetal fue de 12.26 % indicando un ligero descenso frente a los resultados antes del ensayo; mientras que, en el testigo fue de 10.94 % disminuyendo considerablemente frente al resultado inicial; además, el volumen físicamente inertes en los sustratos con carbón fue de 67.11 % mientras que en el testigo fue de 65.97 %.

Los resultados obtenidos en cuanto a las propiedades físicas, se deduce que el carbón vegetal permitió la formación de agregados, factor importante que regula la macroporosidad. Donde los poros > 30 µ capturan el aire y facilitan la respiración adecuada del suelo; además el intercambio gaseoso entre el suelo y la atmosfera se establece para prevenir la deficiencia de O_2 y un exceso de CO_2 en las zonas de las raíces.

En los valores de propiedades físicas de los sustrato con diferentes granulometrías aplicadas (2mm y 4.5 mm de carbón vegetal), “Se debió a que los posibles mecanismos mediante los cuales los ácidos húmicos derivados del carbón vegetal mejoran las propiedades físicas (incremento de la porosidad total, macroporosidad y la infiltración del agua) de los suelos que corresponden a la formación de complejos órgano-minerales por parte de los grupos funcionales de los ácidos húmicos”. (Valarezo *et al,* 2010).

En los valores de propiedades físicas en el sustrato testigo se debió a la baja concentración de sales (CE = 0.8 mmhos/cm) lo que hace que no se desagregue la estructura del suelo y por consiguiente haya buenos niveles de porosidad y permeabilidad a el agua.

4.2. "Establecer el rango de tensión de humedad óptima, 15 cb - 20 cb, 15 cb - 30 cb y 15 cb - 40 cb que permita una mejor relación de agua y aire en el cultivo de fresa bajo invernadero".

4.2.1. Láminas de riego

En el siguiente cuadro se presentan los datos de consumo de agua en el cultivo de fresa.

Cuadro 15. Consumo de agua en (mm) y número de riegos en el cultivo de fresa en los diferentes rangos de tensión, en la Estación Experimental la Argelia, Diciembre 2012 – Septiembre 2013.

Mes	SUSTRATOS					
	15 -20 cb		15 -30 cb		15 -40 cb	
	Láminas (mm)	Numero de Riegos	Láminas (mm)	Numero de Riegos	Láminas (mm)	Numero de Riegos
DIC*	5	4	4	4	4	4
ENE	22	20	22	20	22	20
FEB	14	5	16	4	5	2
MAR	23	10	18	5	10	2
ABR	29	13	26	7	18	4
MAY	36	14	30	8	21	4
JUN	35	16	30	13	23	10
JUL	27	15	18	12	18	12
AGO	23	12	18	6	18	5
SEP	24	13	23	7	10	3
TOTAL	**238**	**122**	**206**	**86**	**148**	**67**

Fuente: Los autores, 2013.

*Datos registrados a partir del 23 de Diciembre del 2012.

Dado que el consumo de agua está directamente relacionado con la evapotranspiración del cultivo, provocado por las condiciones climáticas, especialmente temperatura y humedad relativa dentro del invernadero y la fase fenológica del cultivo, en el cuadro 13 se observa que el mayor consumo de agua para el cultivo de fresa durante los 10 meses de investigación constituyen los rangos que corresponden a la tensión de humedad de 15 cb a 20 cb con 238 mm y un número total de riego de 122; mientras que, el menor consumo le corresponde a los rangos tensión de humedad de

15 cb a 40 cb con 148 mm y un número total de riegos de 67. El mes de mayor consumo en promedio de los tres rangos de humedad es junio con 30 mm/mes, debido a que en esta época del cultivo empezó la cosecha; mientras que, el mes de menor consumo para los tres rangos de tensión de humedad es febrero con un promedio de 11.6 mm/mes, que corresponde a la etapa de crecimiento del cultivo.

4.3. "Evaluar la rentabilidad económica de las combinaciones de carbón vegetal y tensión de humedad, sobre el rendimiento del cultivo de fresa bajo invernadero".

4.3.1. Rendimiento en kg/planta/tratamiento

Cuadro 16. Análisis de varianza para el rendimiento de 22 cosechas de fresa, en la Estación Experimental la Argelia. Loja, 2013.

Fuente de variación	Cuadrados medios	Probabilidad
Repetición	1.28 E^{-04}	
Granulometría	2.85	0,0363
Tensión	0.98	
Granulometría *Tensión	0.65	
Error	0.71	
Total		

Fuente: Los autores, 2013.

Los resultados que se presentan fueron obtenidos a partir del promedio de todas las cosechas realizadas desde el 21 de mayo del 2013 hasta el 3 de octubre del 2013 en la Estación Experimental de la Argelia.

El análisis de varianza para el rendimiento del cultivo de fresa indica que no existe diferencia estadística para los factores tensión de humedad ($p = 0.2765$) e interacción tensión de humedad – carbón vegetal ($p = 0.4734$); pero presenta diferencia significativa en el factor granulometría de carbón vegetal ($p = 0.0363$). El coeficiente de variación fue de 12.76% considerado como aceptable. (Cuadro 16)

Cuadro 17. Promedio y Prueba de Tukey al 5% para rendimientos kg/planta en el cultivo de fresa

Promedio de Sustrato	Granulometría Carbón vegetal	Rendimiento Kg/planta
S0	0 mm	0.719 A
S2	Menores que 4.5 mm y mayores que 2 mm	0.655 AB
S1	Menores que 2 mm	0.607 B

Fuente: Los autores, 2013.

Según la prueba de significancia de Tukey al 5% existió diferencia estadística significativa entre el sustrato S0 (0 mm de carbón vegetal) y el S1 (2 mm de carbón vegetal). El mayor rendimiento corresponde al sustrato S0 con 0.710 kg/planta equivalente a 27 t ha^{-1}, mientras que el valor más bajo fue el S1 con 0,607 Kg/planta, existiendo un incremento de 0.112 kg equivalente al 18.45 %. (Cuadro 17)

Esta diferencia se debe a que en las propiedades químicas de los tratamientos testigos existió una alta cantidad de nitrógeno y a su vez un buen nivel de conductividad eléctrica (0.8 mmhos cm^{-1}) para el desarrollo del cultivo de la fresa, frente a los tratamientos con carbón vegetal (1.7 mmhos cm^{-1}) que sobrepaso los niveles de tolerancia para el cultivo de la fresa que según Brazanti (1989) que es de 1 mmhos cm^{-1}, provocando un incremento en el potencial osmótico del suelo, reduciéndose de esta forma el agua disponible para las plantas. Descartando la influencia de las propiedades físicas, las cuales se mantuvieron en condiciones buenas en todos los tratamientos.

4.3.2. Costos de producción

El costo de producción por tratamiento se evaluó en 104.90 dólares, para un área de 21.1 m^2. Para una población de 180 plantas de fresa, durante nueve meses de duración del ensayo. (Cuadro 18). Los costos de producción detallados se adjuntan en el anexo 10.

Cuadro 18. Cuadro resumen de los costos de producción en el cultivo de fresa, Estación experimental la Argelia. 2013

COSTOS DE PRODUCCIÓN	
Rubro	**USD/invernadero**
Costos despreciables	776.97
Preparación de la cama	30.00
Control Fitosanitario	209.40
Fertilización	691.60
Cosecha	33.00
Mano de obra	788.00
Total costos directos	2528.95
Costos indirectos (12%)	303.47
TOTAL COSTOS	2832.43
Costo por cama	**104.90**

Fuente: Los autores, 2013.

4.3.3. Costos Variables

Cuadro 19. Costos variables por tratamiento en el cultivo de fresa, Estación Experimental la Argelia. 2013.

COSTOS VARIABLES								
	Carbón Vegetal			Láminas				
Tra	Costo carbón USD	Costo de aplicación USD	Subtotal USD	Láminas mm	Volumen m^3	Costo/m^3 USD	Subtotal USD	TOTAL USD
T1	10.3	3	13.3	227.83	6.01	0.16	0.96	14.26
T2	10.3	3	13.3	197.76	5.22	0,16	0.84	14.14
T3	10.3	3	13.3	140.75	3.72	0,16	0.59	13.89
T4	8.1	3	11.1	238.27	6.29	0,16	1.01	12.11
T5	8.1	3	11.1	201.67	5.32	0,16	0.85	11.95
T6	8.1	3	11.1	156.42	4.13	0,16	0.66	11.76
T7	0	0	0	246.37	6.50	0,16	1.04	1.04
T8	0	0	0	221.64	5.85	0,16	0.94	0.94
T9	0	0	0	146.55	3.87	0,16	0.62	0.62

Fuente: Los autores, 2013.

Adicional a los costos de producción se tomó en cuenta las variables carbón vegetal y láminas para cada tratamiento, es decir que en los testigos no hubo costo de carbón vegetal por ende el costo variable fue menor, mientras que en los que se adiciono carbón vegetal sus costos incrementaron. (Cuadro 19).

4.3.4. Ingreso bruto por tratamiento

Cuadro 20. Ingreso bruto / tratamiento en el cultivo de fresa, Estación Experimental la Argelia. 2013

		Ingresos			
Tratamiento	**# plantas**	**Rendimiento Kg**	**Rendimiento/T Kg**	**Precio/Kg $**	**Total $**
T1	160	0.597	95.5	1.32	126.07
T2	160	0.609	97.4	1.32	128.79
T3	160	0.614	98.2	1.32	129.66
T4	160	0.690	110.4	1.32	145.79
T5	160	0.673	107.7	1.32	142.04
T6	160	0.605	96.8	1.32	127.77
T7	160	0.681	109.0	1.32	143.82
T8	160	0.805	128.8	1.32	169.99
T9	160	0.672	107.5	1.32	141.83

Fuente: Los autores, 2013.

Se lo realizo de acuerdo al rendimiento de cada tratamiento durante cuatro meses de cosecha, tomando en cuenta una misma mortalidad para todos los tratamientos. El mayor ingreso se registró en el tratamiento T8 (0 mm de carbón vegetal y 15 -30 cb) con $ 169,99 y el de menor ingreso fue el T1 (2 mm de carbón vegetal y 15 – 20 cb) con $ 126,07. (Cuadro 20).

4.3.5. Relación Beneficio-Costo

Cuadro 21. Beneficio-Costo / tratamiento en el cultivo de fresa, Estación experimental la Argelia. 2013.

RELACIÓN BENEFICIO-COSTO					
	Costos Variables	**Costos de producción**	**Total Costos**	**Ingresos**	**B/C**
T1	14.26	104.90	119.16	126.07	1.1
T2	14.14	104.90	119.04	128.79	1.1
T3	13.89	104.90	118.79	129.66	1.1
T4	14.31	104.90	119.21	145.79	1.2
T5	14.15	104.90	119.05	142.04	1.2
T6	13.96	104.90	118.86	127.77	1.1
T7	1.04	104.90	105.94	143.82	1.4
T8	0.94	104.90	105.84	169.99	1.6
T9	0.62	104.90	105.52	141.83	1.3

Fuente: Los autores, 2013.

El mejor tratamiento fue el T8 con una relación B/C de 1,6; es decir que por cada dólar invertido se recuperó el dólar y se obtuvo una ganancia del 60 %. (Cuadro 21).

4.4. Difundir los resultados obtenidos en la presente investigación a campesinos, técnicos, profesores, estudiantes y demás interesados en la temática."

La socialización de los resultados finales se realizó a través de un día de campo, el 20 de diciembre del 2013 a las 10:00 en el invernadero de la Estación Experimental La Argelia, que contó con la participación del director del proyecto, autoridades, profesores, egresados y estudiantes de la carrera de Ingeniería Agrícola, además se difundió a través de la televisión, en el programa que mantiene el Departamento de Comunicación Institucional de la Universidad Nacional de Loja. (Anexo 11 y 12)

V. CONCLUSIONES

- La aplicación de carbón vegetal en una dosis de 2 kg m^{-2} con granulometrías de < 2 mm y de 2.1 a 4.5 mm, no modificaron las propiedades físicas de los suelos permaneciendo en el rango de bueno.

- La aplicación del carbón vegetal modificó la conductividad eléctrica pasando de 0.8 mmhos/cm a 1.65 mmhos/cm; mientras que el pH del suelo no se afectó manteniéndose en el rango de ligeramente ácido; el contenido de materia orgánica se encontró en el rango bajo; la capacidad de intercambio catiónico en el rango medio; y, los contenidos de nitrógeno, fosforo y potasio en el rango alto.

- Estadísticamente no existió diferencia significativa en los rendimientos de los diferentes rangos de tensión de humedad, sin embargo el rango óptimo de la tensión de humedad fue de 15 a 30 cb con una lámina de 207 mm.

- El mayor rendimiento de fresa fue de 0.72 kg/ planta en el sustrato S0 (testigo) que es estadísticamente diferente al rendimiento del sustrato S1 (2 mm de carbón vegetal) con un valor de 0,6 kg/planta, evidenciándose un incremento del 18.45 %.

- El mayor beneficio costo fue de 1.6 en el tratamiento testigo con el rango de tensión de 15 cb a 30 cb.

VI. RECOMENDACIONES

- Continuar con el monitoreo de las condiciones físicas del suelo bajo la influencia del carbón vegetal en el cultivo de la fresa.
- Probar nuevos rangos de tensión de humedad, considerando el rango de tensión de humedad de 15 cb a 30 cb, a fin de incrementar el rendimiento del cultivo.

VII. BIBLIOGRAFIA

1. Alsina, L. 1990. *Cultivo de fresas y fresones*. Ed. Síntesis S.A. Barcelona, España. 52 p.

2. Brazanti, C. 1989. *La Fresa*. Madrid. Mundiprensa. 377p.

3. Cisneros, R. 2003. Riego y drenaje. Apuntes de la materia de riego y drenaje (San Luis Potosí) Vol. 1, 117-118p.

4. Corwin, D. y Lesch, S. 2005. Characterizing soil spatial variability with apparent soil electrical conductivity I. *Survey protocols Computers Electronics Agric*. 46: 103-133p.

5. Cheng, C.H., Lehmann, J., Thies., J.E & Burton SD. 2008: Stability of black carbon in soils across a climatic gradient. *Journal of Geophysical Research.* 113p.

6. De Laat, P. 2001. Sail-water-plant relations. Lecture noters MSc course in Land and Water Development. IHE. Delft, *the Netherlands* 150 p.

7. DeLuca TH, Derek M, Mac Kenzie, Gundale M. 2009. Biochar Effects on Soil Nutrient Transformation In: Biochar for environmental management - science and technology, Lehmann J, Joseph S (Eds). earthscan, London 251-265p.

8. Di Rienzo, J, Casanovez F, Balsarini M, Gonzalez L, Tablada M y Robledo C. 2008. Infostat, versión 2008, Grupo Infostat, FCA, Universidad Nacional de Cordova, Argentina.

9. Echeverría, P. 1989. *La Fresa*. Madrid. Mundiprensa. 386p.

10. Farahani H. y Flynn R. 2007. Map quality & zone delineation as affected by width of parallel swaths of mobile agricultural sensors. Precision Agric. 96: 151-159p.

11. Felder R y Rosseau R., (1991). *Principios elementales de los procesos químicos.* Segunda Edición. Editorial Addison Wesley Iberoamericana, 729 p.

12. Figueroa N., 1994. Evaluación de un sistema de riego por goteo en el cultivo de fresa (*Fragaria spp.*). Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial de la Universidad de los Andes Mérida - Venezuela Tesis. 200 p.

13. Folquer, 1986. *La frutilla o fresa*. Buenos Aires. Editorial Sur. 150p.

14. Gavande, S. 1972. Física de suelos; principios y aplicaciones. Limusa. Mexico. 162-163p.

15. Glaser B., Haumaier L., Guggenberger G., Zech W. 2002: The 'terra preta' phenomenon: A model for sustainable agriculture in the humid tropics. *Naturwissenschaften* 88, 37-41.

16. Hoffman G. 1983. Desing and operation of farm Irrigation Systems. Salinity in Irrigates Agriculture. *ASAE Monograph*. Michigan, USA.

17. Joseph S.D., Camps-Arbestain M, Lin Y., Munroe P., Chia C.H., Hook J., van Zwieten L., Kimber S., Cowie A., Singh B.P., Lehmann J., Foidl N., Smemik R.J. y Amonette J.E. 2010. An investigation into the reaction of biochar in soil, In: *Australian Journal of Soil Research.* Volume 48, S. 501 – 516.

18. Jury, W. y Horton, R. 2004. *Soil Physics*. Sixth Edition. New Yersey, USA.

19. Kadish, A., Rholades, J.D., 1989. Saline Water: sourses, usages, problems Prospect.

20. Kuzyakov Y, Subbotina I, Chen H, Bogomolova I, Xu X (2009): Black carbon decomposition and incorporation into soil microbial biomass estimated by 14c labeling. Soil Biology & Biochemistry 41, 210-219p.

21. Lal R. 2004. Soil carbon sequestration impacts on global change & food security. Science 304: 1623-1627p.

22. Lehmann J, Joseph S. 2009. What is Biochar In: Biochar for environmental management - science and technology, Lehmann J, Joseph S (Eds). earthscan, London 183-205.

23. Lehmann J. 2007. Bio-energy in the black. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5(7), 381-387p.

24. López, R. 2004. *La función de los micros elementos en la nutrición*. El hierro. Cali, Colombia. 112 p.

25. Martínez J. 1996. *Drenaje Agrícola.* Apuntes Master Internacional en Ingeniería de Regadíos. CEDEX. Madrid, España.

26. Martínez G., Verlinden K., Giráldez J., Espejo A., Rodríguez E., Ordóñez R. y Muriel J. 2009. Use of apparent electrical conductivity as secondary information

for soil organic carbon spatial characterization. Estudios en la Zona no Saturada del Suelo. Vol IX.

27. Martínez, J. 2005. Evaluación de un paquete nutrihormonal en tres dosis cultivo fresa (Fragaria vesca) variedad Oso Grande. Tesis Ing. Agr. Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Agronómica. 98 p.

28. Maldonado, A; Hernández, T. 1995. *La fertilización en el cultivo de fresa*. Madrid, España. 40-48 p.

29. Méndez, J., Calero Rodríguez J., Barrón López de la torre, V., Torrent Castellet J., Campillo García M., Gallardo Correa A., y Villar Montero R. 2013. El biocarbón como una herramienta para limitar las emisiones de CO2 y mejorar las propiedades del suelo en el ámbito Mediterráneo. *Sexto Congreso Forestal Español*. 10p.

30. Montes, L. 1986. Las fresas .Buenos Aires. Albatros. 93p

31. Orellana, H. 2002. Los macro elementos secundarios. La importancia del calcio en los frutales. Universidad de Chile, Facultad de Agronomía. 50-56 p.

32. Ortiz R. 2008. Hidroponía en el suelo. Editorial Abya – Yala. Quito, Ecuador. 165 p.

33. Parra, J.; Quishpe, C. 2006. Evaluación de cuatro niveles de un paquete nutrihormonal en el cultivo de fresa (Fragaria x ananassa Duch) cultivar Oso Grande. Tesis Ing. Agr. Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Agronómica.89 p.

34. Peralta N., Costa J., Balzarini M. y Angelini H. 2013. Delineation of management zones with measurements of soil apparent electrical conductivity in the Southeastern Pampas. Canadian Journal of Soil. Science.

35. Peralta N., Castro M., Herber L. y Costa J. 2012. La conductividad eléctrica aparente: una herramienta para reducir la escala del mapa de suelos y delimitar zonas de manejo sitio-específico. XXIIl Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina.

36. Pichler B. 2010: Biokohle in Weinbergböden, Ithaka-Journal für Biodiversität, ISSN 1663- 0521

37. Proceedings of Water, Soil and Crop Management relating to the use of saline water. 9 – 13 October. FAO Roma (Italia). 9 -18 p.

38. Proexant. 2004. Manual de la frutilla. Consultado 5 de mayo. 2009. Disponible en: http://www.proexant.com/frutas/frutas_tradicionales/fresa.htm.

39. Rhoades J., Manteghi N., Shouse P y Alves W. 1989. Soil electrical conductivity and soil salinity: New formulations and calibrations Soil Sci. Soc. Am. J. 53: 433-439.

40. Serrano J., Marques da Silva J. y Shaidian S. 2010. Mapping soil and pasture variability with an electromagnetic induction sensor. Computers Electronics Agric. 73: 7-16.

41. Shaner D., Brodahl M. y Buchleiter G. 2008. How well does zone sampling based on soil electrical conductivity maps represent soil variability? Agron. J. 100: 1472-1480.

42. Steinbeiss S, Gleixner G, Antonietti M (2009): Effect of biochar amendment on soil carbon balance and soil microbial activity. Soil Biology and Biochemistry 41(6), 1301-1310 p.

43. Sudduth K., Kitchen N., Wiebold W., Batchelor W., Bollero G., Bullock D., Clay D., Palm H., Pierce F., Schuler R. y Thelen K. 2005. Relating apparent electrical conductivity to soil properties across the north-central USA. Computers Electronics Agric. 46: 263-283p.

44. Terrón J., Marques da Silva J., Moral F. y García-Ferrer A. 2011. Soil apparent electrical conductivity and geographically weighted regression for mapping soil. Precision Agric. 12: 750-761.

45. Thies Je, RilligMc (2009): Characteristics of biochar: Biological properties. In: Biochar for environmental management: Science and technology, Lehmann J, Joseph S (Eds). Earthscan, London, U.K. 85-105.

46. Valarezo C. 2011. Física de suelos, el Tensiómetro. Revista en especialización del manejo del cultivo de palma africana 10 (1): 1-10.

47. Valarezo C, Valarezo L, Guaya P, Iñiguez M, 1998. Condiciones físicas de los suelos de la región sur del Ecuador: guía para proyectos de riego, drenaje, manejo y conservación de suelos. Loja. Ec. 227p.

48. Van Zwieten L, Singh B, Joseph S, Kimber S, Cowie A, Chan Ky (2009): Biochar and emissions of non-CO2 greenhouse gases from soil. In: Biochar for

environmental management - science and technology, Lehmann J, Joseph S (Eds). earthscan, London 227-249.

49. Vera J. 1993. Manual del cultivo de frutilla. Estación Experimental Tropical Pichilingue, INIAP. 2ed, quito, INIAP 17-37p.

50. Villamagua A., Valarezo., Tandazo C. y Ramón M. 2013. Efecto de granulometrías de biocarbón sobre las condiciones físicas del suelo y tensiones de humedad en el cultivo del tomate (solanum lycopersicum l.) bajo invernadero. Revista CEDAMAZ (03). pp. 93 – 103.

51. Yin Chan K., HiuXu Z (2009): Biochar: Nutrient Properties and Their Enhancement. In: Biochar for environmental management - science and technology, Lehmann J, Joseph S(Eds). earthscan, London 227-249

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Análisis químico antes del ensayo

LABORATORIO DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE SUELOS, AGUAS Y BROMATOLOGIA
ÁREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

LASAB

Provincia:	Loja	**FECHA DE INGRESO:**	13 de noviembre de 2012
Cantón:	Loja	**FECHA DE EGRESO:**	05 de abril de 2013
Parroquia:		**RESPONSABLE:**	Jorge González – Walter Trelles
Sector o Proyecto:	Invernadero de la Estación Experimental "La Argelia"		

1. RESULTADOS DE ANÁLISIS

Cód. Lab.	Cód. Campo.	pH	C.E.	N	P_2O_5	K_2O	Ca disp.	Mg disp.	CIC	Mg camb.	K camb.
			mmhos/cm	ppm	ppm	ppm	meq/100 ml	meq/100 ml	meq/100 ml	meq/100 ml	meq/100 ml
675	S1B1	5,9	5,04	61,93	602,75	565,11	16,73	2,21	12,04	2,76	1,13
676	S2B1	6,1	3,62	63,72	671,44	570,34	12,90	1,54	11,52	2,37	1,23
677	S3B1	5,9	5,12	58,89	721,79	606,91	14,24	2,11	10,86	2,66	1,23
678	S1B2	5,9	3,92	56,58	760,84	575,56	13,18	1,81	10,24	2,31	1,23
679	S2B2	6,3	3,72	57,84	756,84	554,66	13,66	1,68	10,74	2,54	1,28
680	S3B2	6,1	3,00	61,51	684,21	601,69	12,42	1,43	10,82	2,04	1,33
681	S1B3	6,1	3,15	71,91	680,65	586,01	11,75	1,52	10,08	2,01	1,23
682	S2B3	6,0	2,52	51,75	730,62	549,44	11,84	1,28	10,54	1,84	1,13
683	S3B3	6,3	2,71	71,80	678,36	596,46	11,55	1,41	9,58	1,87	1,05

LABORATORIO DE SUELOS AGUAS Y BROMATOLOGIA U.N.L.

Ing. Omar Ojeda Ochoa Mg. Sc.
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Anexo 2. Análisis químico después del ensayo

LABORATORIO DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE SUELOS, AGUAS Y BROMATOLOGIA
AREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

LASAB

Provincia:	Loja	**FECHA DE INGRESO:**	18 de septiembre de 2013
Cantón:	Loja	**FECHA DE EGRESO:**	18 de octubre de 2013
Parroquia:	El Sagrario	**RESPONSABLE:**	Jorge González – Walter Trelles
Sector o Proyecto:	Invernadero de la Estación Experimental "La Argelia"		

1. **RESULTADOS DE ANÁLISIS**

Cód Lab	Cod. Campo	pH	M.O	C.I.C	N	P_2O_5	K_2O	Ca disp.	Mg disp.	Fe	Mn	CE
			%	meq/ 100 ml	ppm	ppm	ppm	meq/ 100 ml	meq/ 100 ml	ppm	ppm	mmhos/ cm
1155	T1	6.2	2.1	12.76	88.7	574.3	143.4	9.28	0.91	142.9	8.1	1.7
1156	T2	6.5	2.2	12.70	80.0	658.7	368.7	9.52	0.94	135.9	8.06	1.6
1157	T3	6.4	1.9	11.96	148.9	622.9	335.5	9.66	0.89	147.2	11.4	0.8

2. **INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS**

Cód Lab	Cod. Campo	pH	M.O	C.I.C	N	P_2O_5	K_2O	Ca disp.	Mg disp.	Fe	Mn	CE
			%	meq/ 100 ml	ppm	ppm	Ppm	meq/ 100 ml	meq/ 100 ml	ppm	ppm	mmhos/cm
1155	T1	Ligeramente ácido	Bajo	Media	Alto	Alto	Medio	Alto	Bajo	Muy Alto	Medio	No Salino
1156	T2	Ligeramente ácido	Bajo	Media	Alto	Alto	Alto	Alto	Bajo	Muy Alto	Medio	No Salino
1157	T3	Ligeramente ácido	Bajo	Media	Alto	Alto	Alto	Alto	Bajo	Muy Alto	Medio	No Salino

Ing. Omar Ojeda Ochoa Mg. Sc.
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

LABORATORIO DE SUELOS AGUAS Y BROMATOLOGIA U.N.L. A.R.N.R. 1989

Anexo 3. Propiedades físicas antes del ensayo

LABORATORIO DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE SUELOS, AGUAS Y BROMATOLOGIA
AREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

LASAB

Provincia:	Loja	**FECHA DE INGRESO:**	28 de marzo de 2013
Cantón:	Loja	**FECHA DE EGRESO:**	05 de abril de 2013
Parroquia:	El Sagrario	**RESPONSABLE:**	Ing. Miguel Villamagua
Sector o Proyecto:	Invernadero de la Estación Experimental "La Argelia"		

1. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE CONSTANTES HIDROFÍSICAS

Cód. Lab.	Cód. Campo	Saturación	Capacidad de Campo 1/10 atm.	Capacidad de Campo 1/3 atm.	Densidad Aparente (g/cm³)
		(%)			
222	1	44,21	30,68	27,32	1,13
223	2	42,25	30,25	27,00	1,20
224	3	42,25	30,68	26,91	1,17
225	4	46,34	32,48	32,22	1,13
226	5	42,94	30,44	30,19	1,18
227	6	42,72	30,49	27,52	1,11
228	7	45,45	30,09	26,00	1,10
229	8	40,78	30,34	27,41	1,23
230	9	45,69	29,53	24,51	1,11
231	10	43,05	31,02	26,38	1,12
232	11	41,23	29,43	26,72	1,22
233	12	41,41	28,88	25,15	1,21
234	13	46,13	30,46	25,15	1,15
235	14	39,10	27,32	24,28	1,25
236	15	41,16	28,85	25,18	1,23
237	16	43,14	28,43	23,64	1,21
238	17	39,79	27,92	24,79	1,21
239	18	46,61	29,25	26,17	1,14
240	19	44,86	27,88	23,15	1,12
241	20	39,47	28,13	25,72	1,29
242	21	44,71	30,35	26,57	1,16
243	22	48,81	30,33	26,29	1,09
244	23	45,41	29,92	26,33	1,14
245	24	45,48	29,20	25,75	1,16
246	25	39,21	30,73	28,46	1,19

LABORATORIO DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE SUELOS, AGUAS Y BROMATOLOGIA
AREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

LASAB

247	26	45,68	31,80	26,84	1,09
248	27	44,50	31,89	27,39	1,11

Ing. Omar Ojeda Ochoa Mg. Sc.
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Anexo 4. Propiedades físicas después del ensayo

LABORATORIO DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE SUELOS, AGUAS Y BROMATOLOGIA
AREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

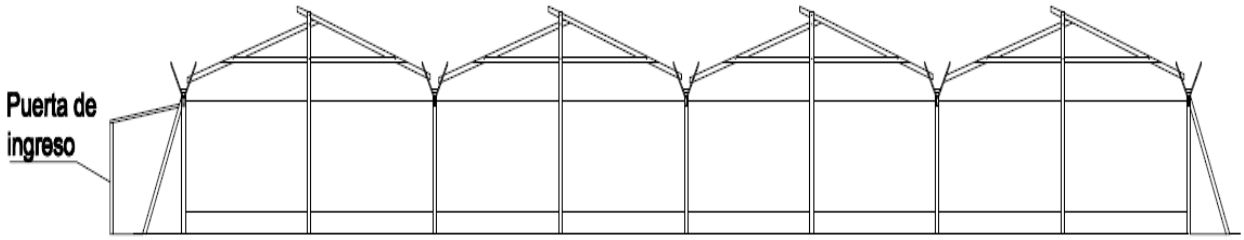
LASAB

Provincia:	Loja	**FECHA DE INGRESO:**	03 de enero de 2014
Cantón:	Loja	**FECHA DE EGRESO:**	16 de enero de 2014
Parroquia:	El Sagrario	**RESPONSABLE:**	Jorge González – Walter Trelles
Sector o Proyecto:	Invernadero de la Estación Experimental "La Argelia"		

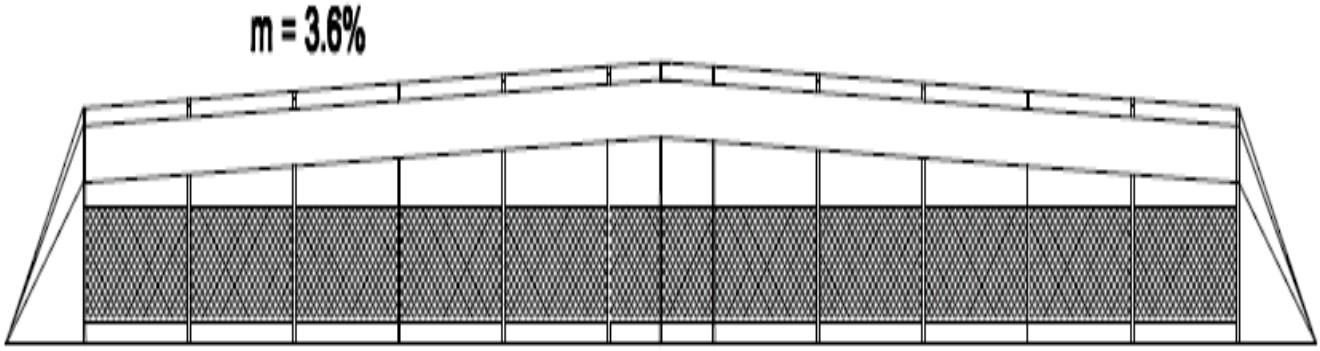
1. **RESULTADOS DE ANÁLISIS**

Cód. Lab.	Cód. Campo	Saturación	Capacidad de Campo 1/10 atm.	Capacidad de Campo 1/3 atm.	Punto de Marchitez Permanente 15 atm.	Densidad Aparente (g/cm³)
		(% peso)				
348	1	44,96	28,33	26,55	8,70	1,24
349	2	44,71	27,85	25,92	8,63	1,19
350	3	43,20	29,91	26,81	8,41	1,29
351	4	44,08	31,17	28,29	8,50	1,22
352	5	39,04	28,24	25,93	8,83	1,30
353	6	46,30	30,56	28,11	8,48	1,19
354	7	44,86	28,22	24,80	8,25	1,23
355	8	43,53	29,57	27,29	8,51	1,27
356	9	43,52	32,79	29,34	9,21	1,22
357	10	45,67	32,13	29,10	8,56	1,19
358	11	39,48	31,98	28,77	8,66	1,28
359	12	42,09	29,96	26,99	8,54	1,25
360	13	36,75	30,47	27,87	8,49	1,31
361	14	38,86	29,76	26,68	8,63	1,30
362	15	37,97	31,93	29,34	8,52	1,31
363	16	42,10	31,06	28,25	8,59	1,28
364	17	41,25	31,51	27,40	8,43	1,26
365	18	40,58	30,61	26,84	8,53	1,27
366	19	45,99	32,30	28,21	8,52	1,20
367	20	39,70	30,62	27,56	8,58	1,28
368	21	41,87	29,14	24,98	8,67	1,27
369	22	40,14	27,98	24,63	8,47	1,28
370	23	41,17	29,10	26,58	8,52	1,27
371	24	39,77	29,08	26,49	8,58	1,31
372	25	40,31	29,57	25,53	8,48	1,29
373	26	40,89	28,27	25,00	8,62	1,25
374	27	42,65	27,47	24,18	8,62	1,26

Anexo 5. Invernadero de la Universidad Nacional de Loja.

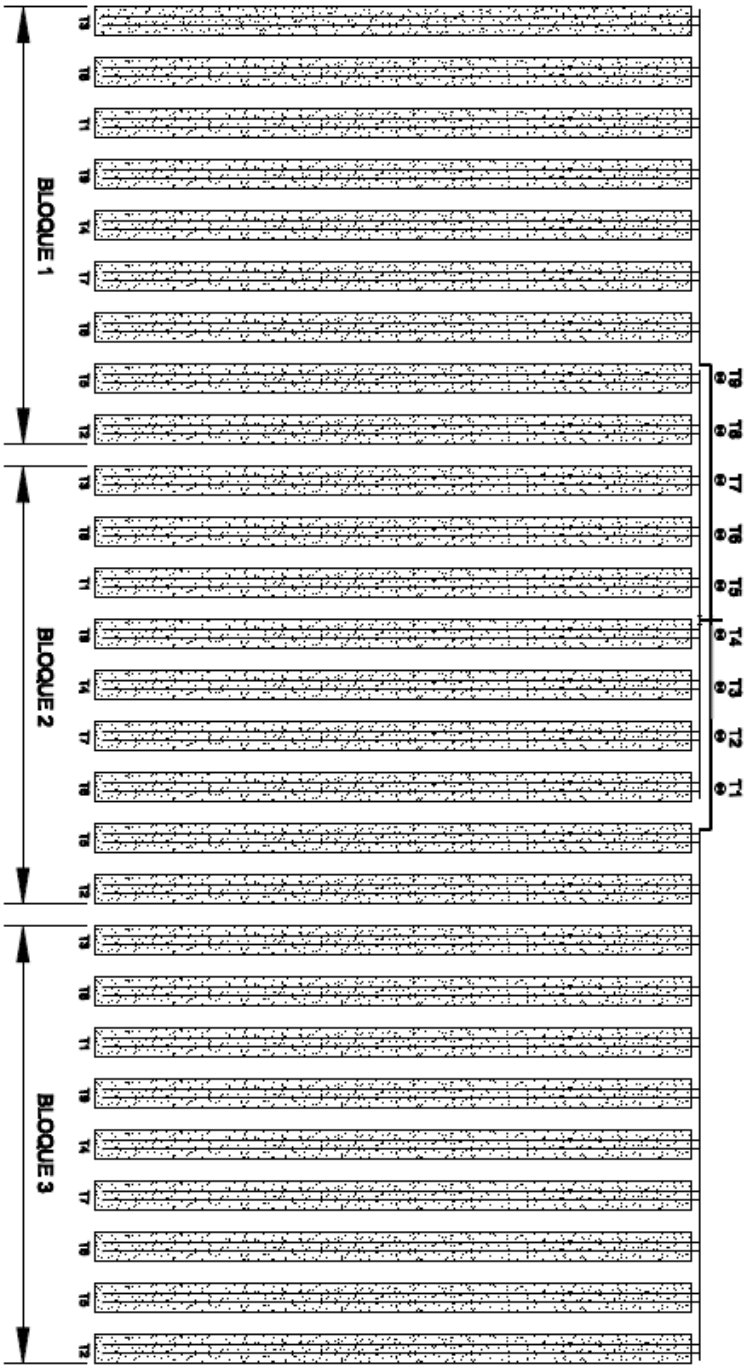


FACHADA FRONTAL



FACHADA LATERAL DERECHA

Anexo 6. Croquis del sistema de riego instalado en el lugar del ensayo



Anexo 7. Cálculos de fertilización base para el cultivo de fresa, en el invernadero de la Universidad Nacional de Loja, La Argelia enero 2013.

FERTILIZACION BASE					
Características del cultivo y del suelo					
Profundidad radicular (dm)=	*2*				
Densidad aparente (kg/cm³)=	*1,375*				
Área de Siembra (m²) =	*777*				
NITROGENO (N)					
1. Cantidad disponible en el suelo (mg Kg-1)	*133,7*				
2. Requerimiento del cultivo (Kg/ha)	*400,00*				
3. Eficiencia del elemento (%)	*0,65*				
4. Demanda requerida (kg/ha) =	*481,7*				
5. Porcentaje para fertilización base (%) =	*30*				
6. Cantidad requerida (kg)=	*11,2*				
7. Fertilizante a aplicar					
Sulfato de amonio					
Contenido de Nutrientes (%)					
N	*P*	*K*	*S*	*Ca*	*Mg*
21	*0*	*0*	*23*	*0*	*0*
8. Cantidad Final aplicar (kg) =	54				

FERTILIZACION BASE					
Características del cultivo y del suelo					
Profundidad radicular (dm)=	*2*				
Densidad aparente (kg/cm³)=	*1,37*				
Área de Siembra (m²) =	*777*				
POTACIO (K)					
1. Cantidad disponible en el suelo (mg Kg-1)	*606,6*				
2. Requerimiento del cultivo (Kg/ha)	*700,00*				
3. Eficiencia del elemento (%)	*0,7*				
4. Demanda requerida (kg/ha) =	*393,4*				
5. Porcentaje para fertilización base (%) =	*30*				

6. Cantidad requerida (kg)=	*11,0*

7. Fertilizante a aplicar

Sulfomag

Contenido de Nutrientes (%)

N	*P*	*K*	*S*	*Ca*	*Mg*
0	*0*	*22*	*0*	*0*	*18*

8. Cantidad Final aplicar (kg) = 50

FERTILIZACION BASE

Características del cultivo y del suelo

Profundidad radicular (dm)=	*2*
Densidad aparente (kg/cm³)=	*1,37*
Area de Siembra (m²) =	*777*

BORO (Mn)

1. Cantidad disponible en el suelo (mg Kg-1)	*0,0*
2. Requerimiento del cultivo (Kg/ha)	*30,00*
3. Eficiencia del elemento (%)	*0,6*
4. Demanda requerida (kg/ha) =	*50,0*
5. Porcentaje para fertilización base (%) =	*30*
6. Cantidad requerida (kg)=	*1,2*

7. Fertilizante a aplicar

Borax

Contenido de Nutrientes (%)

N	*P*	*K*	*S*	*Ca*	*B*
0	*0*	*0*	*0*	*0*	*11*

8. Cantidad Final aplicar (kg) = 10,4

Anexo 8. Cálculos de fertirrigación para el cultivo de fresa, en el invernadero de la Universidad Nacional de Loja, La Argelia enero 2013.

De acuerdo a la campaña de fertirrigación se calculó el porcentaje y cantidad en Kg de cada nutriente para cada etapa de fertirrigación, este a su vez estará dividido para el número de semanas entre cada aplicación.

A esta cantidad se la divide para el volumen de agua que se aplicara con fertilizante en todo el invernadero, obteniendo la concentración en mg Kg^{-1}. A continuación seleccionaremos el fertilizante adecuado para compensar la cantidad de nutrientes, el cual tendrá un porcentaje de pureza de nutriente.

Finalmente calculamos la cantidad de fertilizante en gramos para la solución madre mediante la siguiente fórmula.

$$c = \frac{F \times DF \times n \times 100}{a}$$

Donde:

C= Cantidad de fertilizante gramos en la solución madre

F= concentración de nutrientes en el agua de irrigación

n= Volumen de la solución madre en m3

a= % de pureza del nutriente en el fertilizante

DF= Factor de Dilución; el cual se lo calcula dividiendo el caudal del sistema para el caudal de inyección que tiene el Venturi.

Ejemplo: cálculo de la cantidad de nitrógeno requerida por el cultivo de fresa con el abono químico Hakapos verde (15-10-15)

C=?
F= 519 **g/m^3 (ver cuadro 20.)**
n= 0.2 m^3
a= 15
DF= 7.1
A continuación se detalla el programa de fertilización en el cultivo de fresa.

Cuadro 20. Nitrógeno Hakapos verde (15-10-15)

Semana	%	Kg .	g	Concentración g/m3; mg Kg-1	Kg fertilizante
3	3	0.73	243	519	4.9
5	2	0.49	243	519	4.9
8	5	1.22	406	866	8.2
11	14	3.41	1136	2424	23.1
14	19	4.63	1542	3290	31.3
16	18	4.38	2191	4675	44.5
18	10	2.43	1217	2597	24.7
24	21	5.11	852	1818	17.3
28	8	1.95	487	1039	9.9

Cuadro 21. Magnesio - Sulfato de magnesio (10)

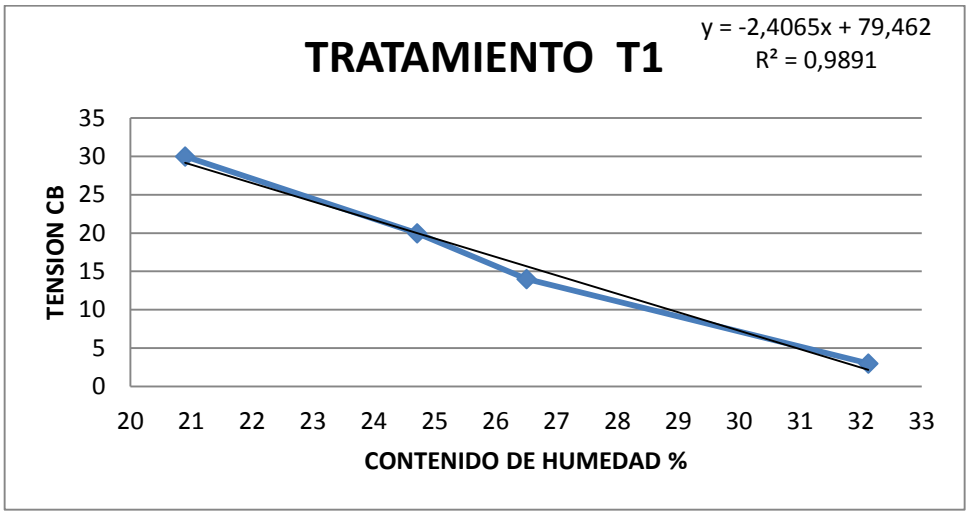
Semana	% de Nutr. Total	Kg de Nutri.	g de Nutri.	Concentración g/m3; mg Kg-1	Kg fertilizante
1	1	0.03	34	72	1.0
3	2	0.06	30	65	0.9
5	1	0.04	20	43	0.6
8	1	0.03	11	24	0.3
11	4	0.14	45	96	1.4
14	10	0.36	119	255	3.6
16	7	0.24	118	252	3.6
18	13	0.46	230	490	7.0
22	10	0.36	91	195	2.8
24	10	0.36	182	389	5.6
26	11	0.41	206	440	6.3
28	20	0.70	351	750	10.7
30	11	0.39	193	411	5.9

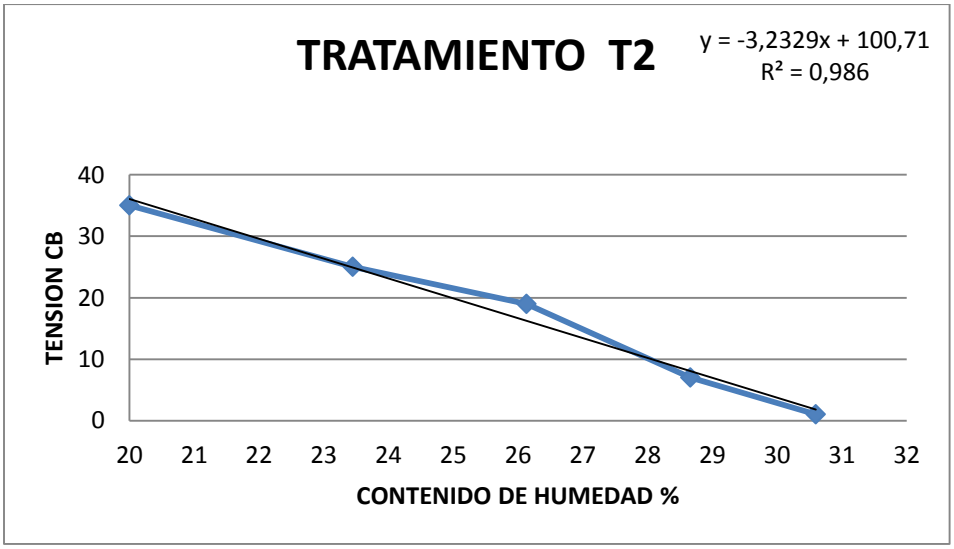
Cuadro 22. Boro – bórax (11)

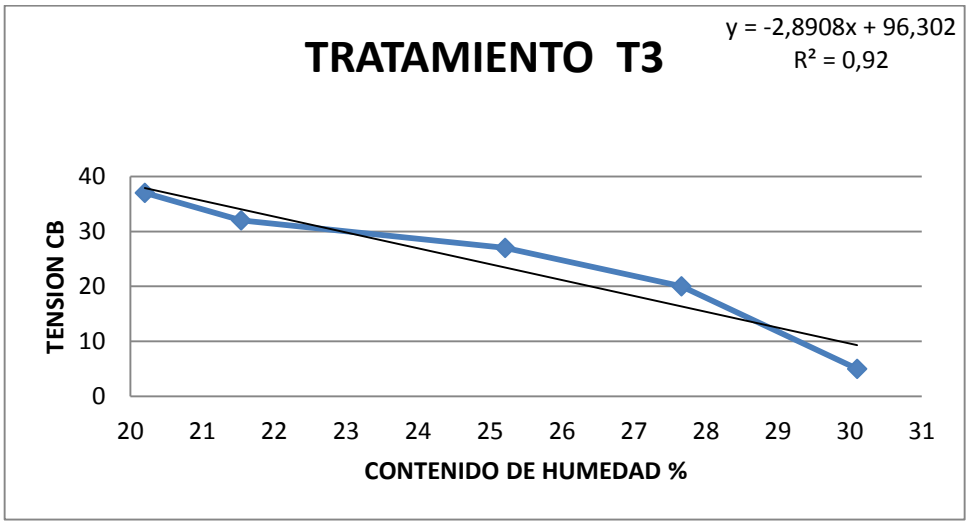
Semana	% de Nutr. Total	Kg de Nutri.	g de Nutri.	Concentración g/m3; mg Kg-1	C gr	C Kg
1	1	0.03	26	55	710	0.7
3	2	0.05	23	49	639	0.6
5	1	0.03	15	33	426	0.4
8	1	0.03	9	18	237	0.2
11	4	0.10	34	73	946	0.9
14	10	0.27	90	193	2508	2.5
16	7	0.18	90	191	2484	2.5
18	13	0.35	174	371	4827	4.8
22	10	0.28	69	147	1917	1.9
24	10	0.28	138	295	3833	3.8

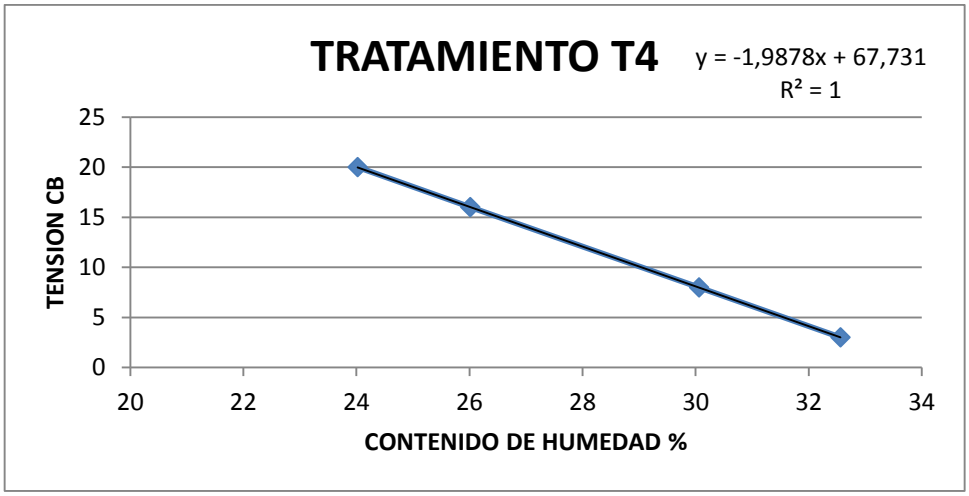
26	11	0.31	156	333	4330	4.3
28	20	0.53	266	568	7382	7.4
30	11	0.29	146	311	4046	4.0

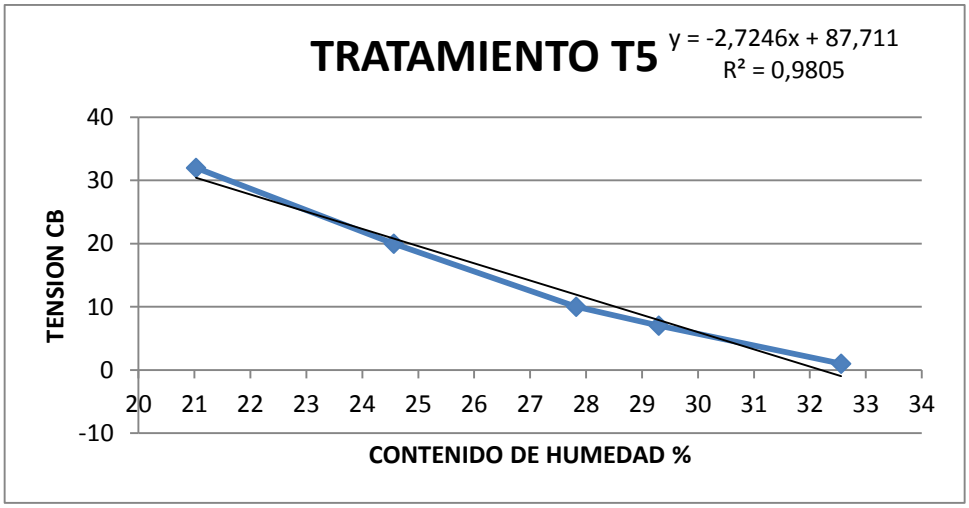
Anexo 9. Curvas de calibración en base a masa, en el lugar de ensayo

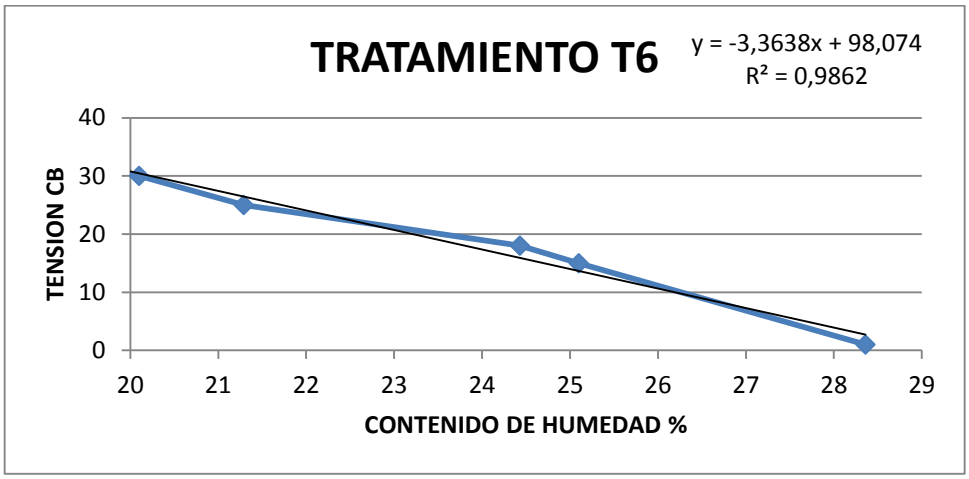


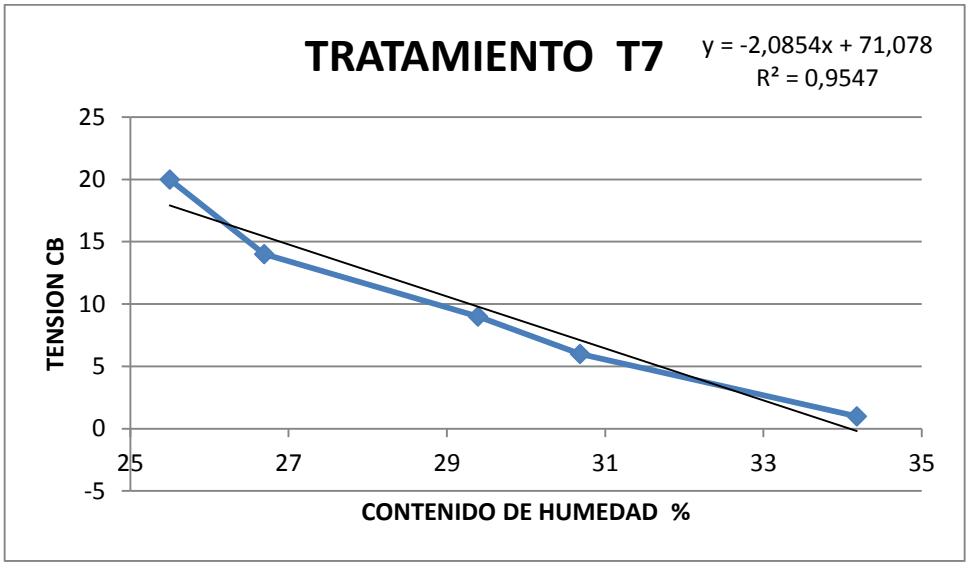


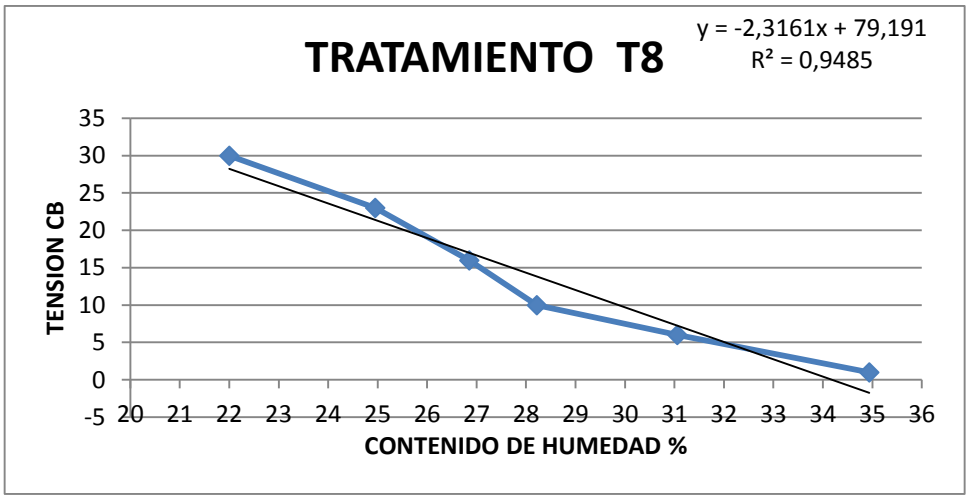

TRATAMIENTO T3
y = -2,8908x + 96,302
R² = 0,92
TENSION CB
40
30
20
10
0
20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31
CONTENIDO DE HUMEDAD %

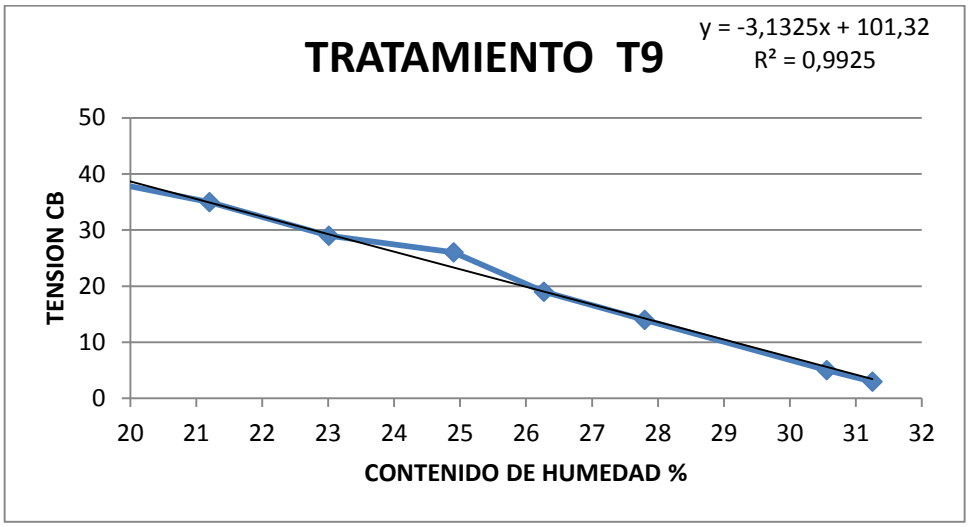

TRATAMIENTO T4
y = -1,9878x + 67,731
R² = 1
TENSION CB
25
20
15
10
5
0
20 22 24 26 28 30 32 34
CONTENIDO DE HUMEDAD %


TRATAMIENTO T5
y = -2,7246x + 87,711
R² = 0,9805
TENSION CB
40
30
20
10
0
-10
20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34
CONTENIDO DE HUMEDAD %


TRATAMIENTO T6
y = -3,3638x + 98,074
R² = 0,9862
TENSION CB
40
30
20
10
0
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
CONTENIDO DE HUMEDAD %


TRATAMIENTO T7
y = -2,0854x + 71,078
R² = 0,9547
TENSION CB
25
20
15
10
5
0
-5
25
27
29
31
33
35
CONTENIDO DE HUMEDAD %


TRATAMIENTO T8
y = -2,3161x + 79,191
R² = 0,9485
TENSION CB
35
30
25
20
15
10
5
0
-5
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
CONTENIDO DE HUMEDAD %



Anexo 10. Costo de producción sin carbón, bajo invernadero, Loja 2013

COSTO DE PRODUCCION DE FRESA BAJO INVERNADERO SIN CARBON						
CONCEPTO	**UNIDAD**	**CANTIDAD**	**VALOR UNITARIO**	**VALOR TOTAL**	**VIDA UTIL**	**DEPRECIACION**
1.DEPRECIACION						
1.1. Instalación del invernadero						
Sistema de riego	m2	1524,6	0,3	518,4	5,0	103,7
1.2. Herramientas						
Bomba de fumigación	u	1	370,0	370,0	10,0	37,0
Lampa	u	2	6,0	12,0	3,0	4,0
Rastrillo	u	2	5,0	10,0	3,0	3,3
Tensiómetros	u	9	150,0	1350,0	15,0	90,0
Acolchado	m	783	0,42	328,86	4,0	82,2
Fresa variedad Albión	plantas	5220	0,35	1827,00	4,0	456,8
DEPRECIACION PARA 1526,4 m2						
Subtotal A						**776,97**
2. PREPACION DE LA CAMA						
Roturación	hora	3	10,00	30,00		
Subtotal B				30,00		
5. CONTROL FITOSANITARIO						

Phiton x 250 ml	frasco	7	11,00	77,00
Kasumin x 500ml	frasco	3	7,20	21,60
BasilusTumigense 500 g	frasco	1	14,00	14,00
Daconi l x 1000ml	frasco	1	14,50	14,50
Score 100ml	frasco	1	10,30	10,30
Lorsban x 1000ml	frasco	1	12,25	12,25
Indicate x 100ml	frasco	3	1,50	4,50
Newmectin x 250 ml	frasco	1	27,00	27,00
Azufre 1 kg	funda	1	3,00	3,00
Tayo x 1000ml	frasco	1	10,40	10,40
Fegadazin x 1000ml	frasco	1	14,85	14,85
Subtotal C				**209,40**
6. FERTILIZACION				
sulfomag x 50kg	saco	1	37,0	37,0
sulfato de amonio x 50kg	saco	1	45,5	45,5
borax x 25kg	saco	1	75,0	75,0
grow combi x 25kg	valde	1	69,5	69,5
nitrato de calcio x 25kg	saco	1	24,9	24,9
nitrato de potacio x 25kg	saco	1	92,8	92,8
sulfato de potacio x 25kg	saco	1	68,9	68,9
hakapos (15-5-30) (25 kg)	saco	1	88,0	88,0
hakapos (7-12-40) (25 kg	saco	1	86,0	86,0
seaweedextract x lt	frasco	16	5,2	83,2
sulfato de magnecio x 25 kg	saco	1	13,2	13,2
cytokin x 250 ml	frasco	1	7,6	7,6
Subtotal F				**691,6**
7. COSECHA				
Transporte	flete	23	1,00	23,00
Fundas	rollo	20	0,50	10,00
Subtotal G				**33,00**
8. MANO DE OBRA				
Preparación de la cama	jornal	7	12,00	84,00
Aplicación de fertilización base	jornal	1	8,00	8,00
ahoyado de camas	jornal	4	12,00	48,00

Fumigación	hora	20	3,00	60,00
Poda	jornal	15	12,00	180,00
Cosecha	jornal	12	12,00	144,00
Riego	jornal	20	12,00	240,00
Limpieza	jornal	2	12,00	24,00
Subtotal H				**788,00**
SUBTOTAL B+C+D+F+G+H	USD			1751,98
SUBTOTAL DEPRECIACION	USD			776,97
TOTAL COSTOS DIRECTOS	USD			2528,95
interes del capital 12 %	USD			303,47
SUBTOTAL DE COSTOS INDIRECTOS	USD			303,47
TOTAL COSTOS DIRECTOS E INDIRECTOS	USD			2832,43
Costo por cama	**USD**			**104,90**

Anexo 11. Tríptico diseñado para el día de campo, La Argelia, diciembre 2013

ANÁLISIS ECONÓMICO

T	Costos total	Ingreso total	Relación B/C
	USD/ tratamiento	USD/ tratamiento	
T9	105,52	141,83	1,34
T8	105,84	169,99	1,61
T7	105,94	143,82	1,36

Los valores obtenidos significa que por cada dólar invertido, se obtendrá un rendimiento de 1,34 dólares, es decir que recuperara la inversión y además obtendrá un beneficio del 34 %

5. ACTIVIDADES REALIZADAS

PREPARACIÓN DEL TERRENO

COLOCACIÓN DE ACOLCHADO

COLOCACIÓN DE TENSIOMETROS

TRANSPLANTE

PODAS

CONTROL FITOSANITARIO

COSECHA Y COMERCIALIZACIÓN

6. CONCLUSIÓN

- Las propiedades físicas de los sustratos (diámetro 2mm Carbón Vegetal) y (diámetro 4,5 mm Carbón Vegetal) se mantuvieron en el rango medio desde el inicio hasta el final de la investigación, mientras que el testigo se mantuvo en bajo.
- El rango de tensión de 15 a 30 cb obtuvo el mejor rendimiento (0.695 Kg/planta), mientras que el valor más bajo fue en el rango de 15 a 40 cb (0.630 Kg/planta), pese a no haber significancia estadística

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
ÁREA AGROPECUARIA Y RECURSOS NATURALES RENOVABLES

PROYECTO

RESPUESTA DEL CULTIVO DE FRESA (*Fragaria vesca*) A DIFERENTES GRANULOMETRIAS DE CARBÓN VEGETAL Y RANGOS DE TENSIÓN DE HUMEDAD DEL SUELO BAJO INVERNADERO, EN LA ESTACIÓN ESPERIMENTAL LA ARGELIA

EQUIPO DE INVESTIGACIÓN:

Ing. Miguel Villamagua	Director
Egdo. Jorge González	Tesista
Egdo. Walter Trelles	Tesista

LOJA—ECUADOR
2013

1. PROBLEMA

En el cantón y provincial de Loja están constituidos por terrenos de moderada a fuerte pendiente, dificultando la producción de cultivos limpios. Además la mayoría de las unidades agropecuarias son minifundios. Frente a la escasa posibilidad de ampliar la frontera agrícola, se genera tecnologías para optimizar el uso de la tierra y agua, como es la producción de cultivos bajo invernadero.

Si embargo existen limitaciones físicas, entre las principales capacidad de aireación (baja) y bajo contenido de material orgánica, lo que limita un adecuado intercambio de CO_2 Y O_2 a nivel radicular. Los problemas químicos del suelo son: la media disponibilidad de nutrientes como Nitrógeno, fósforo y potasio y baja capacidad de intercambio catiónico. Por otro lado el inadecuado manejo del agua a los requeridos por los cultivos, produciendo saturación del suelo, causando enfermedades, afectando los rendimientos y a la calidad final del producto.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General.-

Generar alternativas viables para el mejoramiento de las condiciones físicas de los suelos de la hoya de Loja, para la producción de fresa bajo invernadero, utilizando diferentes granulometrías de carbón vegetal y diferentes tensiones de humedad del suelo y, consecuentemente mejorar los ingresos de los productores.

2.2. Objetivos Específicos

- Determinar la granulometría de Carbón Vegetal óptima en los rango ≤ 2mm, ≥ 2.1 y ≤ 4.5 mm, para mejorar las condiciones físicas del suelo de los invernaderos de la Estación experimental La Argelia.
- Establecer el rango de tensión de humedad óptimo, 10 -20, 15-30 y 15-40 centibares que permita una mejor relación de agua y aire en el cultivo de fresa bajo invernadero.
- Evaluar la rentabilidad económica de las combinaciones de Carbón Vegetal V y tensión de humedad, sobre el rendimiento del cultivo de fresa bajo invernadero.
- Difundir los resultados obtenidos hacia diferentes sectores involucrados e interesados en el tema (campesinos, técnicos, profesores, estudiantes y demás interesados)

3. METODOLOGÍA

Diseño experimental: Bloques completamente al azar con tres repeticiones

Factor 1: DIAMETRO DEL CARBÓN VEGETAL

- S1 = 2 mm
- S2 = 4.5 mm
- S3 = (Testigo)

Factor 2: TENSIONES DE HUMEDAD

- T1 = 15—20 centibares
- T2 = 15—30 centibares
- T3 = 15—40 centibares

4. RESULTADOS

PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO (Después del ensayo)

T	Densidad aparente	Saturación	Contenido de Humedad %	CA	Vs	
	g/cm³	%	0.1 atm	%	%	Clase
T1	1,25	52,08	37,70	14 M	48	Medio
T2	1,27	53,16	38,49	15 M	47	Medio
T3	1,19	51,57	35,34	16 M	48	Medio
T4	1,30	54,80	37,08	18 M	45	Medio
T5	1,26	54,92	39,22	16 M	45	Medio
T6	1,28	51,81	37,92	14 M	48	Medio
T7	1,31	49,74	41,83	8 B	50	Pobre
T8	1,28	50,91	41,97	9 B	49	Pobre
T9	1,31	48,14	39,92	8 B	52	Pobre

- Las condiciones físicas de suelo se mantuvieron en el rango medio durante toda la fase del ensayo

PROPIEDADES QUIMICAS DEL SUELO

S	PH	MO	CIC	N	P2O5	CE
		%	meq/100ml	ppm	ppm	mmhos/ cm
1	6,2	2,1 B	12,76 M	88,7 A	574,9 A	1,7
2	6,5	2,2 B	12,7 M	80 A	658,7 A	1,6
0	6,4	1,9 B	11,96 M	148,9 A	622,9 A	0,8
	K2O meq/100ml	Ca meq/100ml	Mg meq/100ml	Fe ppm	Mn ppm	
1	0,967 M	9,28 A	0,91 B	142,9 E	8,1 M	
2	0,945 A	9,52 A	0,94 B	135,9 E	8,06 M	
0	0,860 A	9,66 A	0,80 B	147,2 E	11,4 M	

- Ph: ligeramente acido
- Alto: nitrógeno, fosforo, potasio y calcio
- Bajo: materia orgánica y magnesio

ANALISIS ESTADISTICO

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Relación F	Probabilidad
Repeticion	1,0 E-05	8	1,28 E-04	1,81	0,1414
Granulometria	0,57	2	2,85	4,01	0,0363
Tensión	0,19	2	0,98	1,38	0,2765
Granulometria *Tensión	0,26	4	0,65	0,92	0,4734
Error	1,27	18	0,71		
Total	2,30	26			

Existió diferencia estadística en granulometría, mas no en tensión y granulometría * tensión.

RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE FRESA

Sistema	Granulometría Carbón Vegetal	Rendimiento Kg/planta	Diferencias Significativas
S0	0 mm	0,719	A
S2	4,5 mm	0,655	AB
S1	2 mm	0,607	B

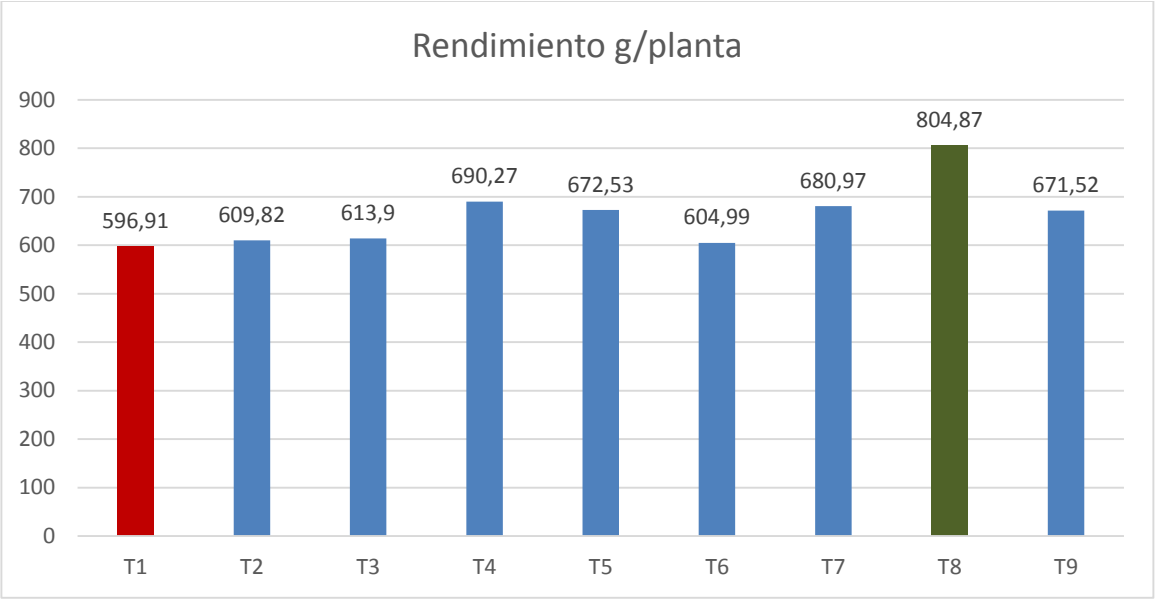
- El período de cosecha fue de 21 de mayo al 20 de septiembre del 2013
- El sustrato S0 presento los mejores resultados con 0.719 Kg/planta, equivalente a 26,97 t/ha

CONSUMO MENSUAL DE AGUA EN EL CULTIVO DE FRESA

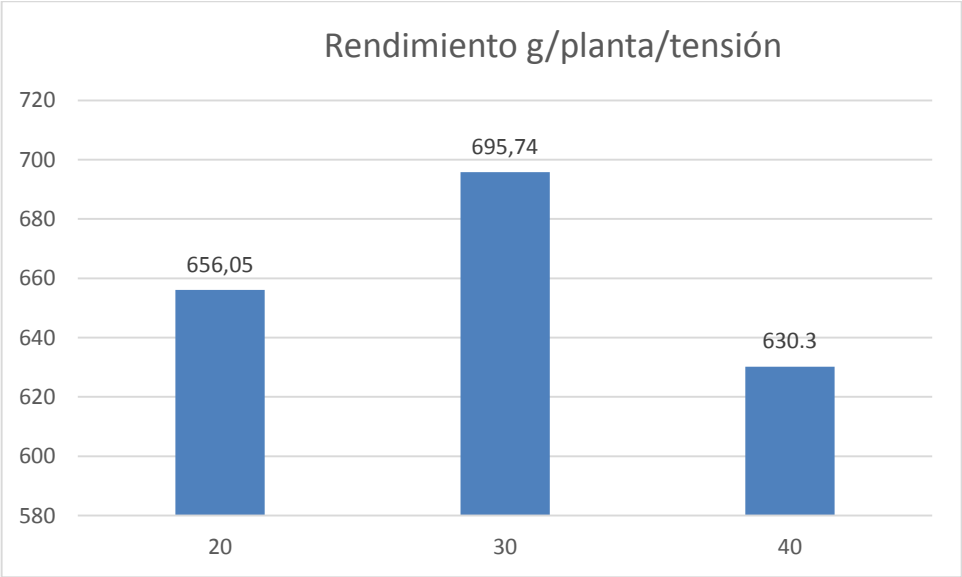
PROMEDIO MENSUAL DE LAMINAS EN RANGOS DE HUMEDAD.			
	15 - 20 Cb	15 - 30 Cb	15 - 40 Cb
Diciembre	5	4	4
Enero	22	22	22
Febrero	14	16	5
Marzo	23	18	10
Abril	29	26	18
Mayo	36	30	21
Junio	35	30	23
Julio	27	18	18
Agosto	23	18	18
Septiembre	24	23	10
TOTAL	237	206	148

Anexo 12. Gigantografía diseñada para el día de campo, La Argelia, Diciembre 2013.

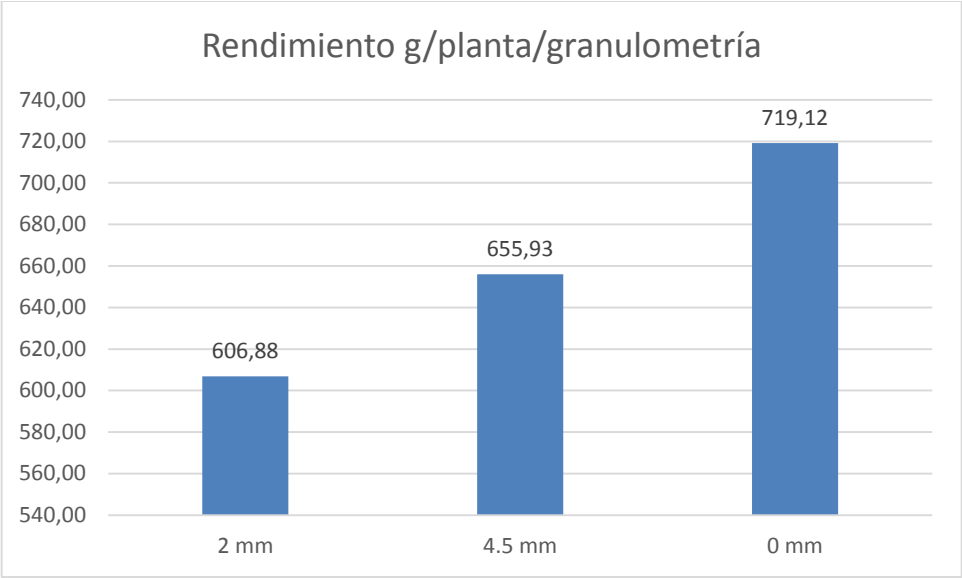
Anexo 13. Gráfica del Rendimiento en g/ planta/ tratamiento, Mayo 2013 - Septiembre 2013, La Argelia.



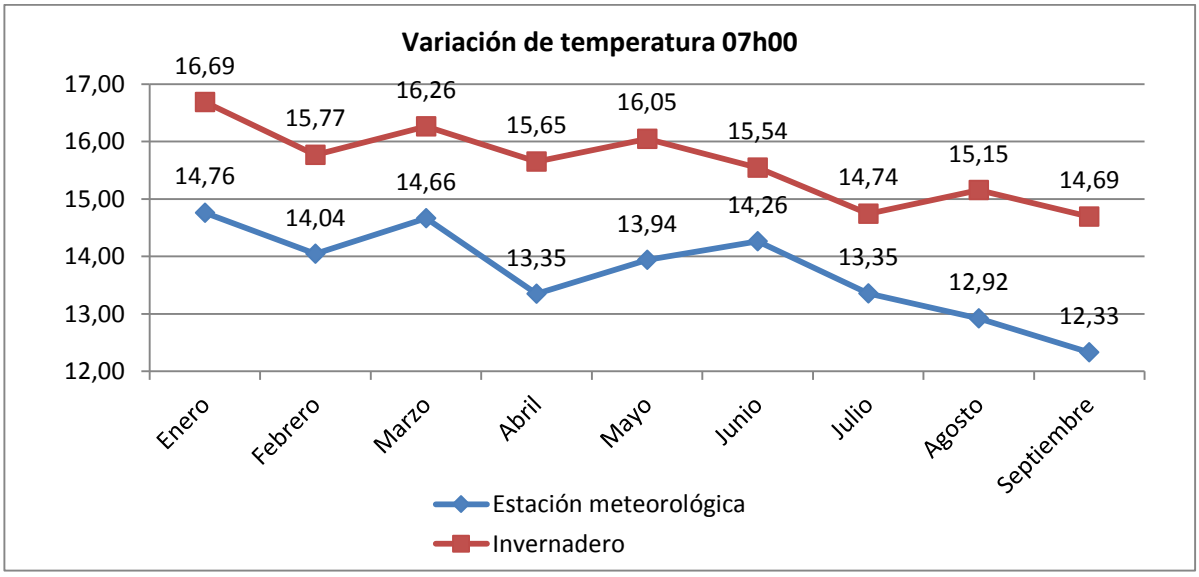
Anexo 14. Gráfica sobre el Rendimiento en kg/planta/tensión, Mayo 2013 – Septiembre 2013, La Argelia.



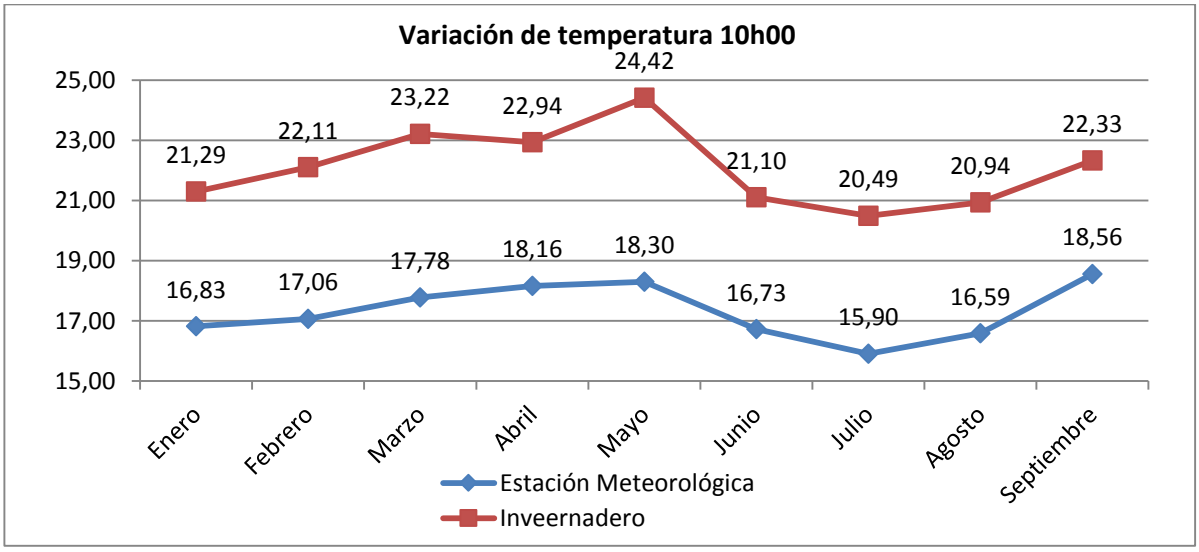
Anexo 15. Gráfica sobre Rendimiento en kg/planta/granulometría, Mayo 2013 – Septiembre 2013, La Argelia.



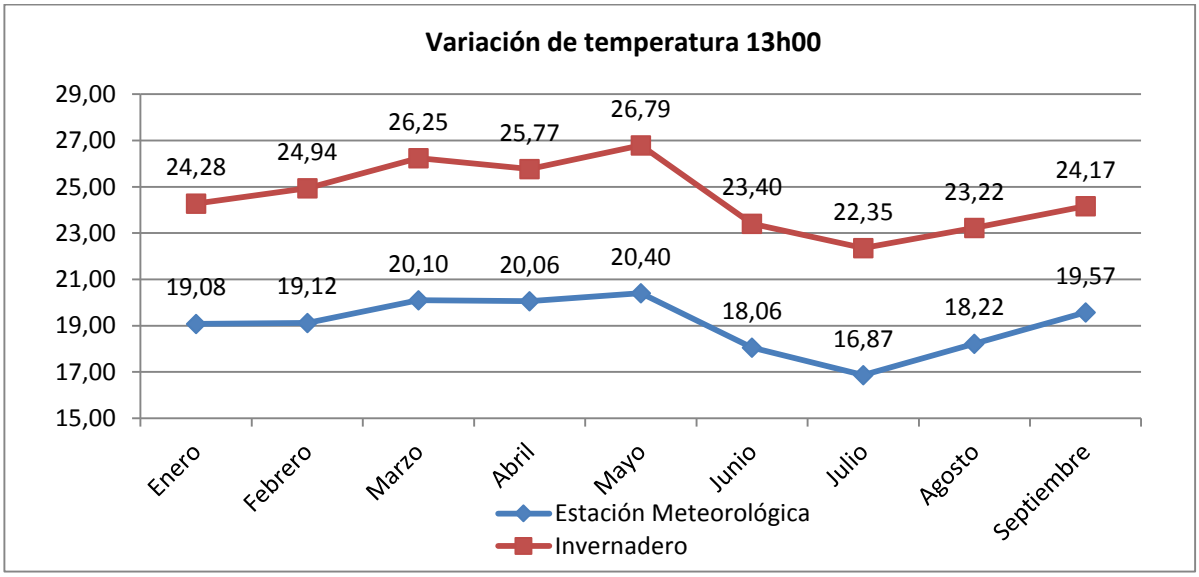
Anexo 16. Gráfica del promedio de variación de temperatura, para la 07H00 am, en el invernadero y la estación Meteorológica, Enero 2013 – septiembre 2013.



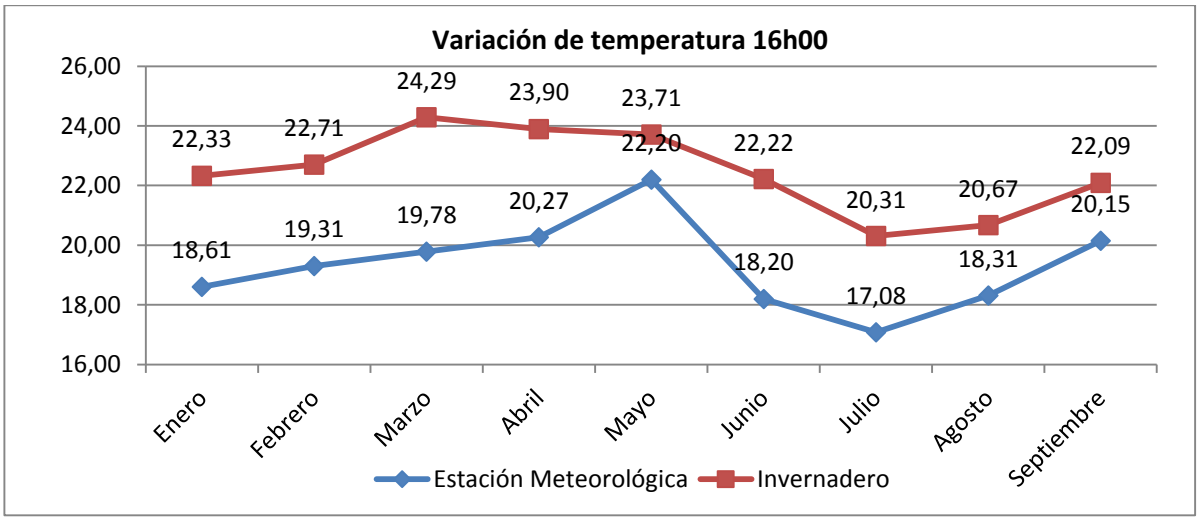
Anexo 17. **Gráfica del promedio de variación de temperatura, para la 10H00 am, en el invernadero y la estación Meteorológica, Enero 2013 – septiembre 2013.**



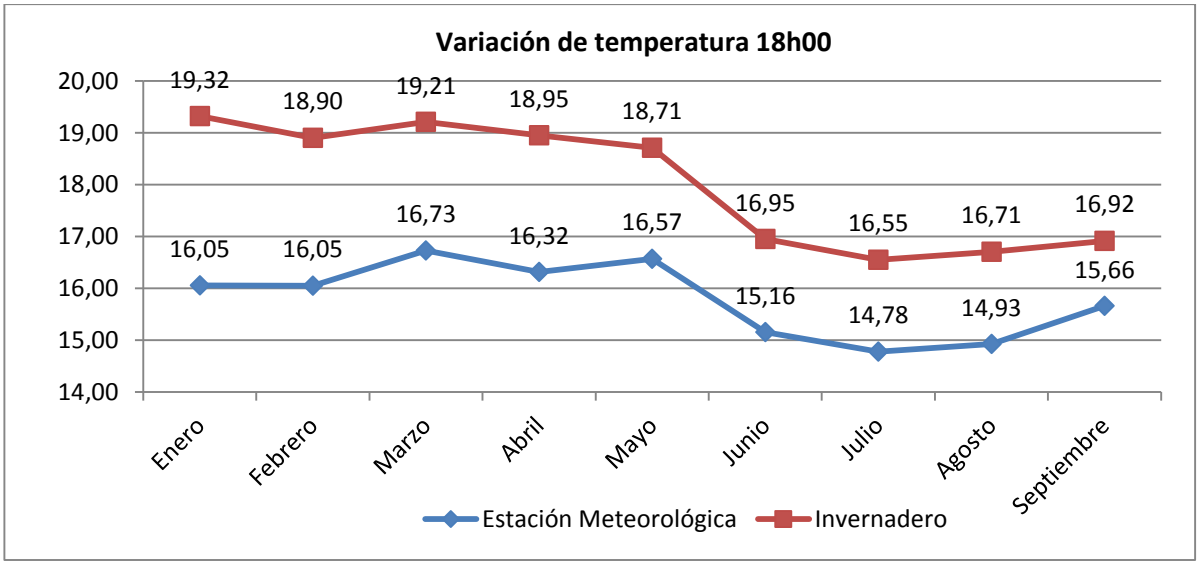
Anexo 18. **Gráfica del promedio de variación de temperatura, para la 13H00 am, en el invernadero y la estación Meteorológica, Enero 2013 – septiembre 2013.**



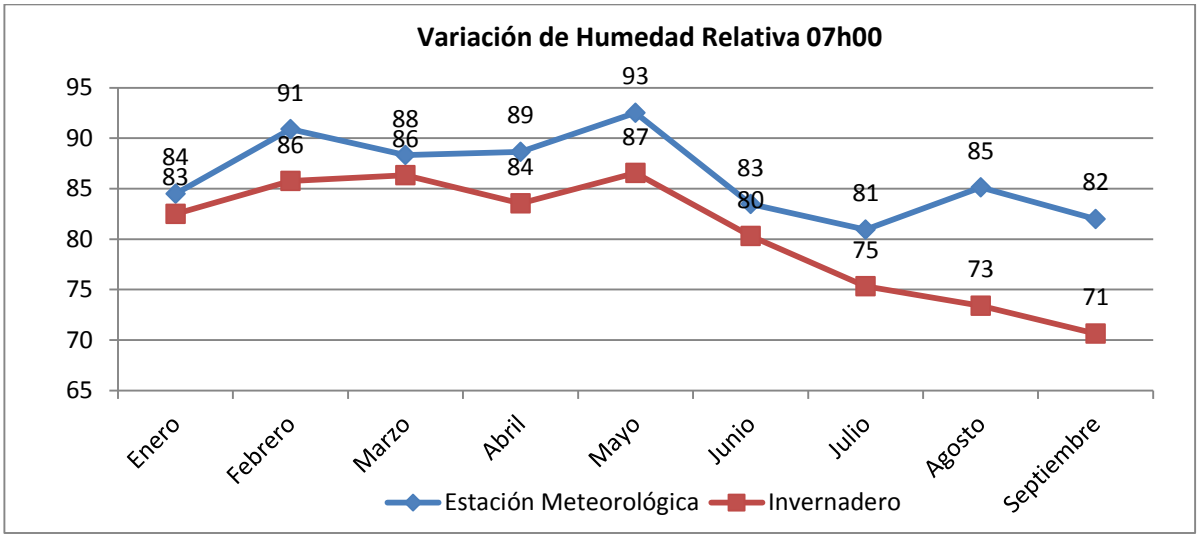
Anexo 19. **Gráfica del promedio de variación de temperatura, para la 16H00 am, en el invernadero y la estación Meteorológica, Enero 2013 – septiembre 2013.**



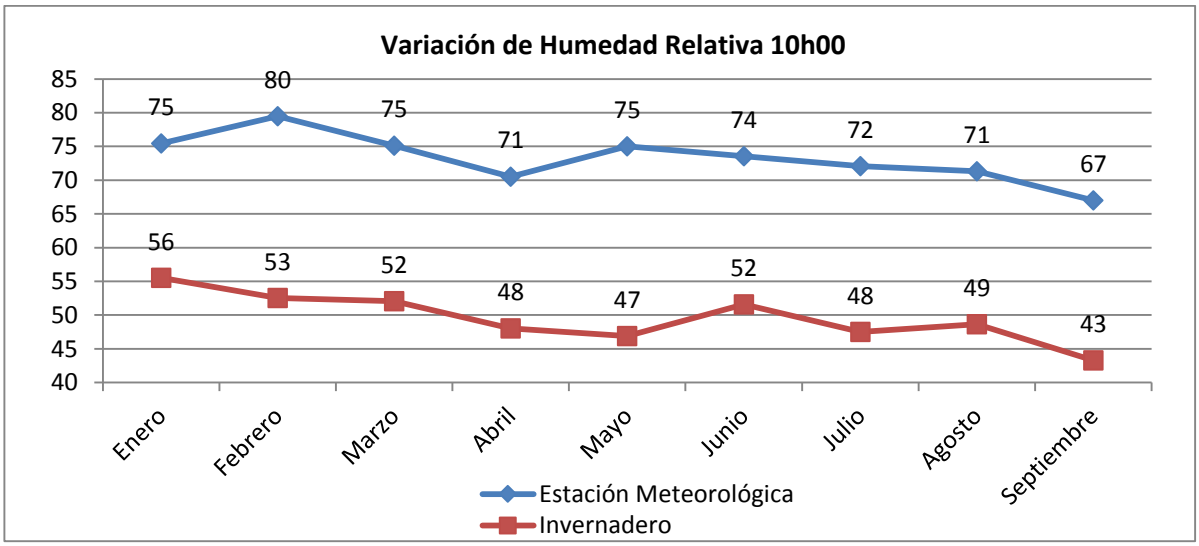
Anexo 20. **Gráfica del promedio de variación de temperatura, para la 18H00 am, en el invernadero y la estación Meteorológica, Enero 2013 – septiembre 2013.**



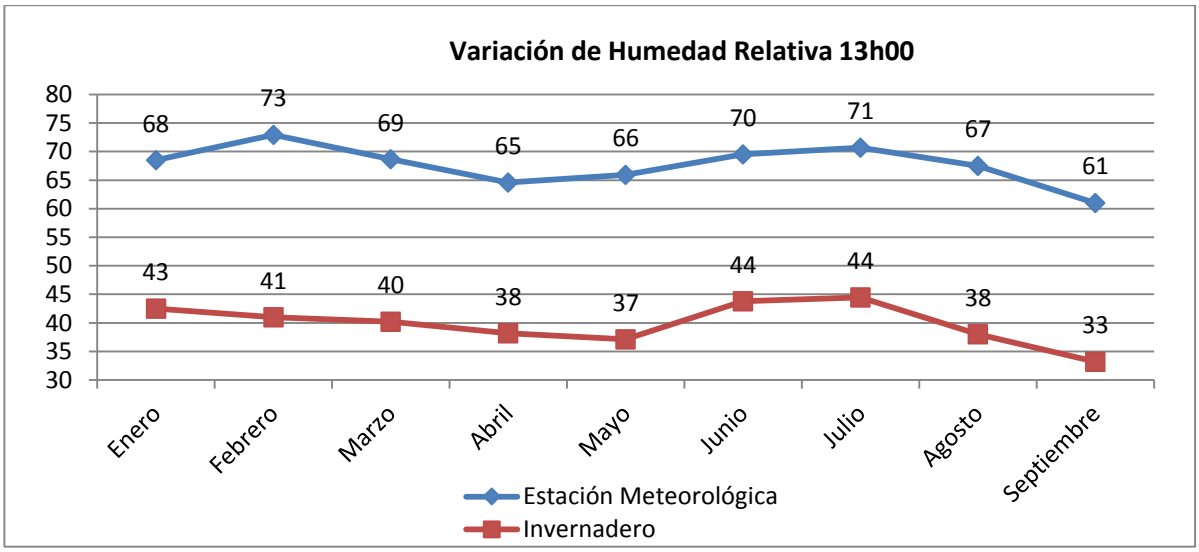
Anexo 21. **Gráfica del promedio de variación de humedad relativa, para la 07H00 am, en el invernadero y la estación Meteorológica, Enero 2013 – septiembre 2013.**



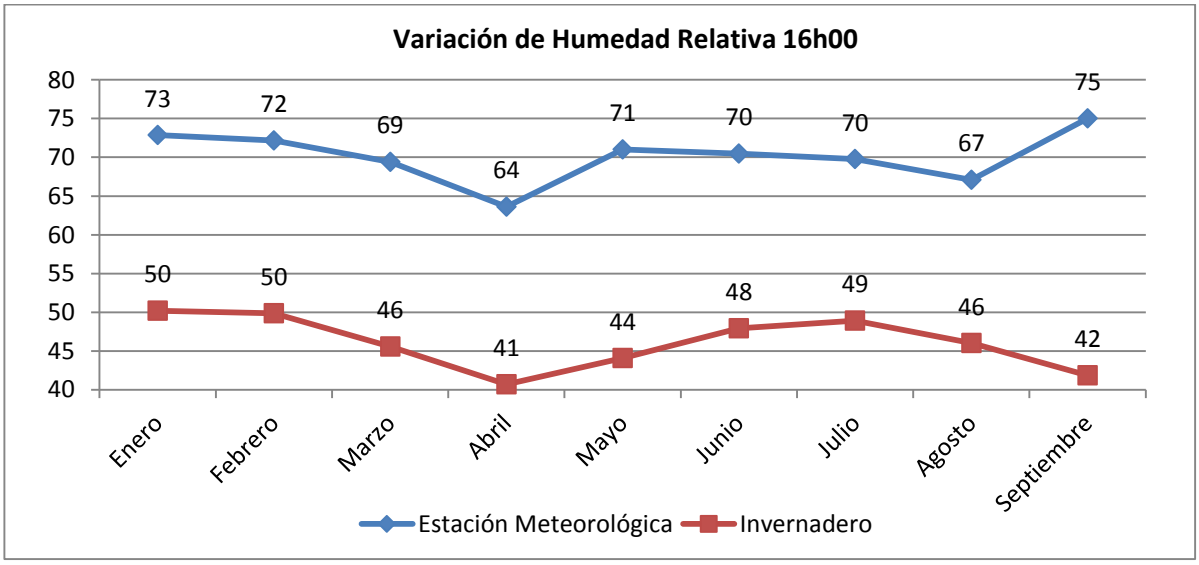
Anexo 22. **Gráfica del promedio de variación de humedad relativa, para la 10H00 am, en el invernadero y la estación Meteorológica, Enero 2013 – septiembre 2013.**



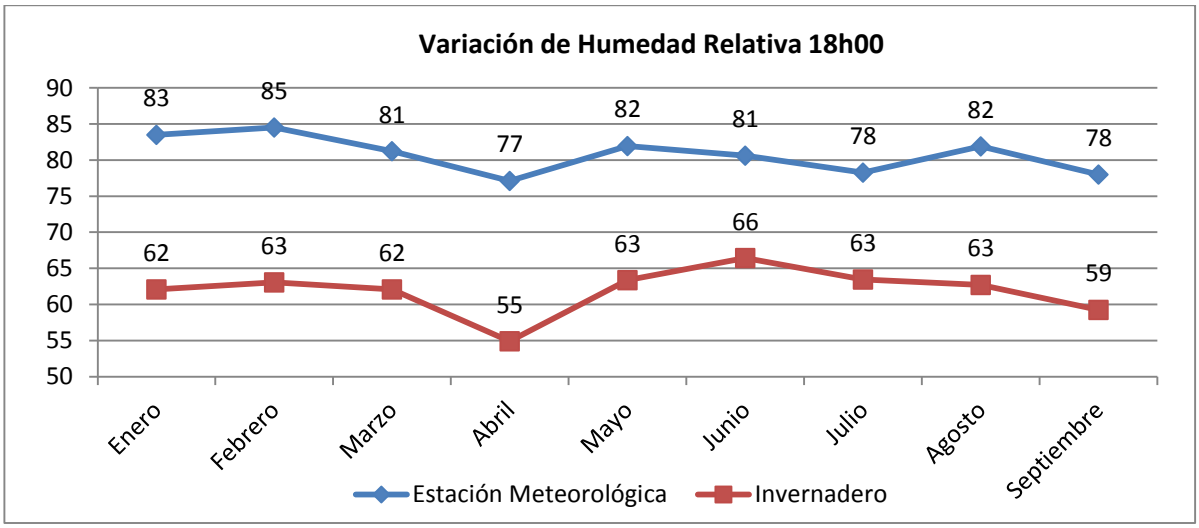
Anexo 23. **Gráfica del promedio de variación de humedad relativa, para la 13H00 am, en el invernadero y la estación Meteorológica, Enero 2013 – septiembre 2013.**



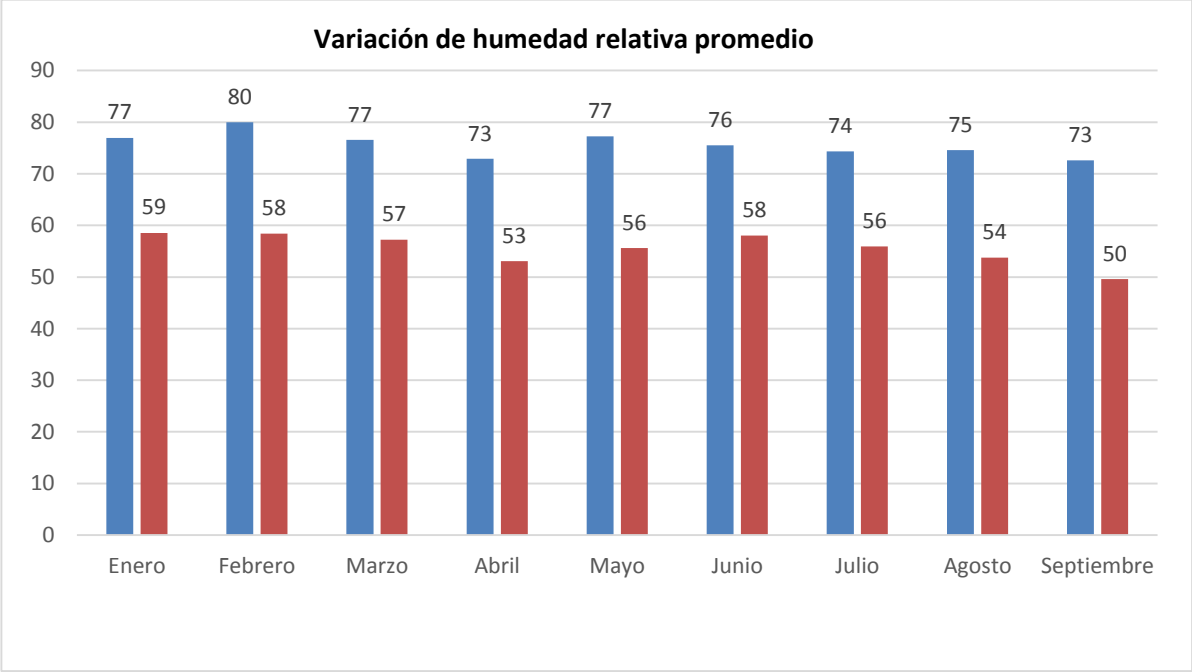
Anexo 24. **Gráfica del promedio de variación de humedad relativa, para la 16H00 am, en el invernadero y la estación Meteorológica, Enero 2013 – septiembre 2013.**



Anexo 25. Gráfica del promedio de variación de humedad relativa, para la 18H00 am, en el invernadero y la estación Meteorológica, Enero 2013 – septiembre 2013.



Anexo 26. Gráfica del promedio de variación de humedad relativa en el invernadero y la estación Meteorológica, Enero 2013 – septiembre 2013.



Anexo 27. Datos de temperatura bajo condiciones de invernadero, Enero 2013 – septiembre 2013, Loja.

TEMPERATURA INVERNADERO									
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
07:00	16.69	15.77	16.26	15.65	16.05	15.54	14.74	15.15	14.69
10:00	21.29	22.11	23.22	22.94	24.42	21.10	20.49	20.94	22.33
13:00	24.28	24.94	26.25	25.77	26.79	23.40	22.35	23.22	24.17
16:00	22.33	22.71	24.29	23.90	23.71	22.22	20.31	20.67	22.09
19:00	19.32	18.90	19.21	18.95	18.71	16.95	16.55	16.71	16.92

Anexo 28. Datos de humedad relativa bajo condiciones de invernadero, Enero 2013 – septiembre 2013, Loja.

HUMEDAD INVERNADERO									
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
07:00	83	86	86	84	87	80	75	73	71
10:00	56	53	52	48	47	52	48	49	43
13:00	43	41	40	38	37	44	44	38	33
16:00	50	50	46	41	44	48	49	46	42
19:00	62	63	62	55	63	66	63	63	59