UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA AGROPECUARIA DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

TÍTULO:

EFECTO DE TRES DIFERENTES GRANULOMETRÍAS DE CARBÓN VEGETAL Y TENSIONES DE HUMEDAD EN EL CULTIVO DE FRESA (*Fragaria vesca*), BAJO INVERNADERO EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL LA ARGELIA.

Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Agrícola

AUTORES:

Jimmy Alexander Villalta Vaca

Diana del Cisne Zuezada González

DIRECTOR:

Ing. M. Sc. Miguel Angel Villamagua

LOJA - ECUADOR

2014

EFECTO DE TRES DIFERENTES GRANULOMETRÍAS DE CARBÓN VEGETAL Y TENSIONES DE HUMEDAD EN EL CULTIVO DE FRESA (*Fragaria vesca*), BAJO INVERNADERO EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL LA ARGELIA.

TESIS DE PREGRADO

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

INGENIERO AGRÍCOLA

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
ÁREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

APROBADA:

Ing. Gonzalo Jaramillo González
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Marlon Chamba Morales
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Marco Reinoso Acaro
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

CERTIFICACIÓN

En calidad de Director de la Tesis titulada: **"EFECTO DE TRES DIFERENTES GRANULOMETRÍAS DE CARBÓN VEGETAL Y TENSIONES DE HUMEDAD EN EL CULTIVO DE FRESA (*Fragaria vesca*), BAJO INVERNADERO EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL LA ARGELIA".;** de la autoría de los señores egresados de la Carrera de Ingeniería Agrícola, Jimmy Alexander Villalta Vaca y Diana del Cisne Quezada González, 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, Noviembre de 2014

Ing. M.Sc. Miguel Villamagua

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Gonzalo Jaramillo González

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL CALIFICADOR DE LA TESIS "EFECTO DE TRES DIFERENTES GRANULOMETRÍAS DE CARBÓN VEGETAL Y TENSIONES DE HUMEDAD EN EL CULTIVO DE FRESA (*Fragaria vesca*), BAJO INVERNADERO EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL LA ARGELIA".

CERTIFICA:

Que la tesis de los egresados de la Carrera de Ingeniería Agrícola, Jimmy Alexander Villalta Vaca y Diana del Cisne Quezada González, ha sido revisada y en la misma se han incorporado todas las sugerencias, y luego de una segunda revisión se ha procedido a su calificación y aprobación, por lo que autorizamos su publicación.

Loja, Noviembre de 2014

Ing. Gonzalo Jaramillo González

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL CALIFICADOR

AUTORIA

Jimmy Alexander Villalta Vaca y Diana del Cisne Quezada González, 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.

Jimmy Alexander Villalta Vaca

CI: 1900717982

26 Noviembre del 2014

Diana del Cisne Quezada González

CI: 1104471964

26 Noviembre del 2014

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

Nosotros, Jimmy Alexander Villalta Vaca y Diana del Cisne Quezada González, declaramos ser autores de la tesis titulada : **"EFECTO DE TRES DIFERENTES GRANULOMETRÍAS DE CARBÓN VEGETAL Y TENSIONES DE HUMEDAD EN EL CULTIVO DE FRESA (*Fragaria vesca*), BAJO INVERNADERO EN LA ESTACIÓN 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 del país y del exterior, con las cuales tengan convenio la Universidad.

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

Firma:		Firma:	
Autor	Jimmy A. Villalta V.	Autor	Diana C. Quezada G.
CI	1900717982	CI	1104471964
Dirección	Clodoveo Alto	Dirección	Electricista
Celular	0969900264	Celular	0996640635
E-mail	jimmyjavier2012@hotmail.es	E-mail	dianislindis@hotmail.es

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis:	Ing. Miguel Ángel Villamagua
Tribunal de Grado:	Ing. Gonzalo Jaramillo González
	Ing. Marlon Chamba Morales
	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 carrera de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional de Loja.

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

Desafortunadamente las personas valoran lo que tienen hasta que lo pierden y hoy damos gracias de las atenciones, regaños, paciencia y sabiduría que recibimos de esos maestros que solíamos llamar erróneamente injustos, les podemos decir que todo lo que hemos vivido en esta institución no se volverá a repetir nunca. Formamos parte de una generación que en estos momentos pasa a la historia, donde solo quedaran recuerdos, recuerdos de acciones que nos han formado para personas de bien, recuerdos de arduo trabajo, recuerdos de alegría y relajo, recuerdos de tristezas y desilusiones, recuerdos que nunca olvidaremos; hoy es el día en donde salimos de la etapa de preparación para entrar en una etapa nueva donde nuestros conocimientos se verán reflejados, donde nuestros esfuerzos y sacrificios serán premiados, entraremos en esta etapa de nuestras vidas con la tranquilidad de haber salido de esta excelente institución bien preparados y armados para enfrentar los problemas que se puedan presentar, en estos momentos podemos decir que valió la pena, si analizamos la frase descubrimos que pena significa dolor, tormento, dificultad y trabajo, conociendo el significado me atrevo a repetir que valió la pena.

A nuestros compañeros de clases: Joffre, Cristian, Mauricio, Santiago, Alex, Carlos, Jhon y Luis, agradecemos la oportunidad que nos hemos brindado de conocernos, de tratarnos, de querernos y hasta de pelearnos, agradezco las horas que hemos convivido, agradezco que hayamos sido testigo de más de la mitad de nuestras vidas pasamos 8 horas diarias juntos, agradecemos los lazos de amistad que hemos hecho, agradecemos ser parte de la Universidad Nacional de Loja, del Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables y formar parte de la **Carrera de Ingeniería Agrícola.**

DEDICATORIA

Ser valientes es de héroes, yo me considero un héroe porque a pesar de todas las cosas que me pasaron en mi vida tuve que ser fuerte y levantarme con la frente en alto diciendo que si puedo, que puedo llegar hacia arriba, a pesar de las personas que no confiaron en mí, tuve esa valentía de decidirme por mí, de enfrentar un mundo lleno de muchos obstáculos, de crecer solo sin la compañía de mi madre, ni de mi padre para que me guiaran por el buen camino, de no tener un brazo derecho que me empujara a seguir adelante, de sentirme muchas veces derrotado, pero tuve esa fuerza de voluntad para prosperarme y ser un profesional para la vida; que mi madre y mis hermanos sepan que no los he defraudado nunca y que todo lo que han hecho por mí no ha sido en vano.

Quiero dedicar esta tesis a mi madre Virginia Vaca ya que ha sido, es y será el pilar fundamental para seguir adelante, quien me ha apoyado desde pequeño hasta cumplir con esta meta grande que me propuse en mi camino; a Dios ya que con el todo y sin el nada y a la Virgen del Cisne; A todos mis hermanos quienes confiaron en mí desde el primer momento: Víctor, Katty, Maritza, Luis, Emilio, Jenny, Robinsón, Jefferson y Leonardo; así como a todos mis cuñados y cuñadas desde luego a todos mis sobrinos que vean en mí un espejo para que sigan adelante prosperándose en sus estudios.

A todos mis tíos y primos por parte de la familia Conde, así como por parte de la familia Vaca, gracias por sus consejos y sabidurías que me han brindado día tras días.

Para mis primos que son como mis hermanos gracias por todo: Fernando, Adrian, Juridia, Miche, Johana, Katty, Cruscaya, Jovana. María, Erica, Shirley y Janina, y a los primos Parra; A mis compañeros de clases quienes estuvieron hay en los momentos más difíciles, los cuales nos apoyábamos uno a uno para seguir adelante hasta culminar nuestros estudios;Decirles a todos mis amigos que hice durante mi etapa universitaria gracias por todo, por compartir tantas alegrías y tristezas que hicieron de mí una persona de gran nobleza de manera especial a Mishel, Alex, Jessenia, Santiago, Yonder, Diana, Jorge, Dario, Carmen, Jessenia Torres, Andrea, Karen, Fernando y a mi mejor amigo Joffre Mora.

Jimmy Villalta Vaca

DEDICATORIA

El presente trabajo es el fruto de una ardua tarea en donde han brillado personas maravillosas y a ellas vayan mis profundos agradecimientos de gratitud: a Dios por la vida, la capacidad y lo que soy; a mi madre que sola supo duplicarme su cariño, esfuerzo y dedicación; a mis hermanas Betty, Emperatriz, Paola, Jenny, que me han alentado con su cariño y palabras de aliento en los momentos difíciles, a Vinicio, una persona especial en mi corazón, que me ha demostrado siempre su fe en mi persona; a todos mis sobrinos en especial a Katita por ser mi amiga incondicional y supo estar siempre cuando la he necesitado; a todos y cada uno de mis familiares por creer en mi capacidad. Mi agradecimiento especial a mi compañero de tesis y amigo Jimmy por estar siempre ahí brindándome su amistad y paciencia. Así mismo mi imperecedera gratitud para todos y cada uno de los docentes que supieron alentarme con sus conocimientos y don de gentes, a quienes les estaré profundamente agradecida por siempre.

Diana del Cisne Quezada

CONTENIDO GENERAL

PORTADA ..... **I**

CERTIFICACIÓN ..... **III**

AUTORIA ..... ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

CARTA DE AUTORIZACIÓN. ..... **VI**

AGRADECIMIENTO ..... **VII**

DEDICATORIA ..... **VIII**

CONTENIDO GENERAL ..... **X**

ÍNDICE DE FIGURAS ..... **XIV**

ÍNDICE DE CUADROS ..... **XV**

ÍNDICE DE ANEXOS ..... **XVII**

RESUMEN ..... **XIX**

1. INTRODUCCIÓN **1**

2. REVISIÓN DE LITERATURA **4**

2.1. GENERALIDADES DEL CULTIVO DE FRESA **4**

2.1.1. Origen y distribución geográfica 4
2.1.2. Clasificación Científica. 5
2.1.3. Descripción botánica 5
2.1.4. Requerimientos nutricionales 8
2.1.5. Requerimientos hídricos 18
2.1.6. Labores preculturales 21
2.1.7. Labores culturales ..... **¡Error! Marcador no definido.**
2.1.8. Plagas y enfermedades 23
2.1.9. Cosecha 26

2.2. INVERNADERO **27**

2.2.1. Factores climáticos importantes dentro de un invernadero en el cultivo de fresa. 29

2.3. BIOCARBÓN 30
2.3.1. Generalidades 30
2.3.2. Propiedades químicas y físicas del biocarbón 30
2.3.3. El biocarbón como material de mejoramiento del suelo 32
2.3.4. Equilibrio de nutrientes y lixiviación 33
2.3.5. Beneficios agrícolas del biocarbón 33
2.3.6. Propiedades agrícolas del biocarbón 34

2.4. PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO 35
2.4.1. Potencial del agua en el suelo 36
2.4.2. La curva de retención del agua del suelo 40
2.4.3. Factores que determinan la forma de la curva de retención del agua del suelo. 41
2.4.4. Potencial de energía libre (pF) 41
2.4.5. Puntos importantes de la curva de retención del agua en el suelo 42

2.5. TENSIÓMETRO 46
2.5.1. Principios 46
2.5.2. Funcionamiento 46
2.5.3. Componentes 47
2.5.4. Principio de Funcionamiento 47
2.5.5. Rangos de uso 47
2.5.6. Aplicaciones 48

2.6. ESTUDIO DE RENTABILIDAD 48
2.6.1. Elaboración del presupuesto parcial 49
2.6.2. Beneficios Netos 49
2.6.3. Análisis marginal 50
2.6.4. Análisis de dominancia 50
2.6.5. Tasa Marginal de Retorno 51

2.7. INVESTIGACIONES REALIZADAS 51
2.7.1. Biocarbón 51
2.7.2. Láminas de Riego y Rendimiento en el cultivo de Fresa 54

3. METODOLOGÍA 58

3.1. LOCALIZACIÓN DEL ENSAYO 58
3.1.1. Ubicación Política 58
3.1.2. Ubicación geográfica 58

3.1.3. Clasificación Climática 59
3.1.4. Suelos 59
3.1.5. Biocarbón ..... **¡Error! Marcador no definido.**
3.1.6. Clasificación ecológica..... 60

3.2. MATERIALES 60
3.2.1. Materiales de campo..... 60
3.2.2. Material de laboratorio 60

3.3. METODOLOGÍA 61
3.3.1. Diseño estadístico..... 61
3.3.2. Agrotécnia del cultivo 65
3.3.3. Metodología del primer objetivo..... 69
3.3.4. Metodología para el segundo objetivo 71
3.3.5. Metodología para el tercer objetivo..... 73

4. RESULTADOS Y DISCUCIÓN 76

4.1. "Determinar la granulometría de biocarbón más óptima en los rangos < 2.0 mm; 2.1 – 4.5 mm, que permita mejorar las condiciones físicas y químicas del suelo". 76
4.1.1. Propiedades químicas del suelo..... 76
4.1.2. Propiedades físicas del suelo 78

4.2. "Establecer el rango de tensión de humedad óptima, 10 kPa - 15 kPa, 10 kPa - 25 kPa y 10 kPa - 35 kPa, que permita una mejor relación de agua y aire en el cultivo de fresa". 80
4.2.1. Láminas de riego 80

4.3. "Evaluar la rentabilidad económica de las combinaciones de biocarbón y tensión de humedad, sobre el rendimiento del cultivo de fresa"..... 81
4.3.1. Rendimiento en kg/planta/tratamiento 81
4.3.2. Costos de producción 82
4.3.3. Costos Variables..... 83
4.3.4. Ingreso bruto por tratamiento..... 84
4.3.5. Beneficio neto y análisis de dominancia 84
4.3.6. Tasa Marginal de Retorno 85

5. CONCLUSIONES 85

6. RECOMENDACIONES 86

7. BIBLIOGRAFÍA 87

8. ANEXOS 93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama triangular para evaluación de las condiciones físicas del suelo, (Tomado de ILACO, B.V. 1981) *36*
Figura 2. Curva de retención de humedad (Valararezo et. al, 1998) *38*
Figura 3. Ubicación del experimento, sector Los Molinos de la Estación Experimental La Argelia. *58*
Figura 4. Fotografía Descripción del perfil de suelos en los invernaderos *59*
Figura 5. Control de malezas, Loja 2014 ..... *65*
Figura 6. Poda de hojas y estolones, Loja, 2014. ..... *66*
Figura 7. Control fitosanitario Loja, 2014 ..... *66*
Figura 8. Comercialización de fresa Loja, 2014 ..... *69*
Figura 9. Curva de calibración del tratamiento 1 ..... *100*
Figura 10. Curva de calibración del tratamiento 2 ..... *100*
Figura 11. Curva de calibración del tratamiento 3 ..... *101*
Figura 12. Curva de calibración del tratamiento 4 ..... *101*
Figura 13. Curva de calibración del tratamiento 5 ..... *102*
Figura 14. Curva de calibración del tratamiento 6 ..... *102*
Figura 15. Curva de calibración del tratamiento 7 ..... *103*
Figura 16. Curva de calibración del tratamiento 8 ..... *103*
Figura 17. Curva de calibración del tratamiento 9 ..... *104*
Figura 18. Exposición de los resultados al público presente, docentes y estudiantes de la carrera de Ingeniería Agrícola *108*

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Demanda de nutrientes en el cultivo de fresa. 12

Cuadro 2. Recomendaciones de fertilización para los cultivares frambuesa, fresa, frutilla y uvilla. 14

Cuadro 3. Directrices para la evaluación de la calidad del agua de riego (FAO, 1985). 19

Cuadro 4. Propiedades químicas del biocarbón 32

Cuadro 5. Valores de succión: atmósfera/bares y cm de columna de agua; y, su equivalencia a valores de pF. 41

Cuadro 6. Puntos más importantes de la curva de pF. 43

Cuadro 7. Tratamientos con diferentes granulometrías de biocarbón y tensiones de humedad en el cultivo de fresa, Loja – Estación Experimental "La Argelia", 2014. 62

Cuadro 8. Productos químicos empleados para el control de las enfermedades en el cultivo fresa. 67

Cuadro 9. Variación de temperatura en el invernadero 67

Cuadro 10. Variación de humedad relativa en el invernadero 68

Cuadro 11. Análisis químico del suelo antes y después del ensayo 76

Cuadro 12. Análisis físico del suelo antes del ensayo 78

Cuadro 13. Análisis físico del suelo después del ensayo 79

Cuadro 14. 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, Enero – Mayo 2014. 80

Cuadro 15. Análisis de varianza para el rendimiento de 22 cosechas de fresa, en la Estación Experimental la Argelia. Loja, 2014. 81

Cuadro 16. Promedio y Prueba de Tukey al 5 % para rendimientos kg planta-1 en el cultivo de fresa. 81

Cuadro 17. Cuadro resumen de los costos de producción en el cultivo de fresa, Estación experimental la Argelia. 2013 83

Cuadro 18. Costos variables por tratamiento en el cultivo de fresa, Estación Experimental la Argelia. 2014. 83

Cuadro 19. Ingreso bruto / tratamiento en el cultivo de fresa, Estación Experimental la Argelia. 2014 ..... *84*
Cuadro 20. Beneficio neto/tratamiento y análisis de dominancia en el cultivo de fresa, Estación experimental la Argelia. 2014. ..... *84*
Cuadro 21. Tasa Marginal de Retorno en el cultivo de fresa, Estación experimental la Argelia. 2014. ..... *85*
Cuadro 22. Cálculo de la fertilización base para el cultivo de fresa..... *99*
Cuadro 23. Cantidad a aplicar de fertilizante *99*

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Análisis químicos de suelos *93*
Anexo 2. Análisis de conductividad eléctrica *94*
Anexo 3. Análisis foliar *94*
Anexo 4. Análisis de constantes hidrofísicas *96*
Anexo 5. Invernadero de la Universidad Nacional de Loja. *98*
Anexo 6. Croquis del sistema de riego instalado en el lugar del ensayo *99*
Anexo 7. Cálculos de fertilización base para el cultivo de fresa, en el invernadero de la Universidad Nacional de Loja, La Argelia enero 2013. ..... *99*
Anexo 8. Curvas de calibración en base a masa, en el lugar de ensayo *100*
Anexo 9. Costo de producción sin carbón, bajo invernadero, Loja 2013 ..... *104*
Anexo 10. Tríptico diseñado para el día de campo, La Argelia, Junio 2014 ..... *106*
Anexo 11. Fotografías del día de campo *107*
Anexo 12. Gráfica del Rendimiento en g/ planta/ tratamiento, Enero 2014 - Mayo 2014, La Argelia. *108*
Anexo 13. Gráfica sobre el Rendimiento en kg/planta/tensión, Enero 2014 – Mayo 2014, La Argelia. *108*
Anexo 14. Gráfica del promedio de variación de temperatura para las 07H00 en el invernadero y la estación Meteorológica La Argelia, Enero – Mayo 2014. ..... *109*
Anexo 15. Gráfica del promedio de variación de temperatura para las 10H00 en el invernadero y la estación Meteorológica La Argelia, Enero – Mayo 2014. ..... *110*
Anexo 16. Gráfica del promedio de variación de temperatura para las 13H00 en el invernadero y la estación Meteorológica La Argelia, Enero – Mayo 2014. ..... *110*
Anexo 17. Gráfica del promedio de variación de temperatura para las 16H00 en el invernadero y la estación Meteorológica La Argelia, Enero – Mayo 2014. ..... *111*
Anexo 18. Gráfica del promedio de variación de temperatura para las 18H00 en el invernadero y la estación Meteorológica La Argelia, Enero – Mayo 2014. ..... *111*

Anexo 19. Gráfica del promedio de variación de la humedad relativa para las 07H00 en el invernadero y la estación Meteorológica La Argelia, Enero – Mayo 2014. 112
Anexo 20. Gráfica del promedio de variación de la humedad relativa para las 10H00 en el invernadero y la estación Meteorológica La Argelia, Enero – Mayo 2014. 112
Anexo 21. Gráfica del promedio de variación de la humedad relativa para las 13H00 en el invernadero y la estación Meteorológica La Argelia, Enero – Mayo 2014. 113
Anexo 22. Gráfica del promedio de variación de la humedad relativa para las 16H00 en el invernadero y la estación Meteorológica La Argelia, Enero – Mayo 2014. 113
Anexo 23. Gráfica del promedio de variación de la humedad relativa para las 18H00 en el invernadero y la estación Meteorológica La Argelia, Enero – Mayo 2014. 114
Anexo 24. Gráfica del promedio de variación de humedad relativa en el invernadero y la estación Meteorológica La Argelia, Enero – Mayo 2014. 114
Anexo 25. Datos de temperatura bajo condiciones de invernadero, Enero – Mayo 2014, Loja. 115
Anexo 26. Datos de humedad relativa bajo condiciones de invernadero, Enero – Mayo 2014, Loja. 115

RESUMEN

La investigación se realizó en la Estación Experimental La Argelia de la Universidad Nacional de Loja, cuyo objetivo fue de generar alternativas para el mejoramiento de las condiciones físicas de los suelos de la hoya de Loja, en la producción de fresa (*Fragaria vesca*) bajo invernadero. El diseño fue de bloques completamente al azar con arreglo bifactorial (3x3) para los factores a) Biocarbón: 2 kg m^{-2}< 2.0 y 2.1 – 4.5 mm de diámetro y un testigo sin biocarbón; y b) rangos de tensión humedad 10 – 15, 10 – 25 y 10 – 35 kPa. La aplicación de biocarbón con granulometrías de < 2 mm y de 2.1 a 4.5 mm, modificaron las propiedades físicas de los suelos en el rango de pobre a bueno.La la conductividad eléctrica paso de 0.68 mmhos cm^{-1} a 2.67 mmhos cm^{-1}; mientras que el pH del suelo subió de ligeramente ácido a prácticamente neutro; el contenido de materia orgánica pasó de medio a alto; la capacidad de intercambio catiónico se mantuvo en el rango medio y los contenidos de nitrógeno, fosforo y potasio en el rango alto. El rango de tensión de 10 kPa a 15 kPa presento un mayor consumo de agua con 162.8 mm y el de menor con 114 mm correspondió para en el rango de 10 kPa a 35 kPa. El mayor rendimiento corresponde a la tensión de humedad de 10 kPa a 15 kPa con 1.13 kg $planta^{-1}$, mientras que el valor más bajo fue el de 10 kPa a 35 kPa con 0.83 kg $planta^{-1}$, existiendo un incremento de 0.30 kg equivalente al 36.14 %. En el tratamiento T4 (4,5 mm de biocarbón) y tensión de humedad de 10 kPa a 15 kPala Tasa Marginal de Retorno es del 40 %.

Palabras claves: Biocarbón, Tensiones de humedad.

ABSTRACT

This research was conducted at the National University of Loja's "Argelia Experimental Station", its aim was to generate alternatives for the improvement of Loja's physical soil conditions in relation to strawberry production (*Fragariavesca)* within greenhouses. The design consisted of completely randomized blocks with a bifactorial arrangement (3x3) for the factors a) Biochar: 2 kg m^{-2}< 2.0 and 2.1 – 4.5 mm in diameter and a control without biochar; b) moisture voltage ranges of 10 – 15, 10 – 25 and 10 – 35 kPa. The application of biochar with particle sizes of < 2 mm and 2.1 to 4.5 mm, modified the soil's physical properties ranging from poor to good. The electrical conductivity from 0.68 mmhos cm^{-1} to 2.67 mmhos cm^{-1}; while the soils' pH increased from slightly acidic to near neutral; the organic matter content increased from medium to high; the cation exchange capacity remained average and the content of nitrogen, phosphorous and potassium were high. The moisture voltage range from 10 kPa to 15 kPa had a larger consumption of water with 162.8 mm and the lowest with 114 mm corresponded to a range of 10 kPa to 35 kPa. The highest yield corresponds to the moisture voltage range of 10 kPa to 15 kPa with 1.13 kg plant-1, while the lowest value was 10 kPa to 35 kPa with 0.83 kg plant-1, having an increase of 0.30 kg equivalent to 36.14%. In the T4 treatment (4.5 mm biochar) and moisture tension of 10 kPa to 15 kPa the marginal rate of return is 40%.

Keywords: Biochar, Moisture Voltage

1. INTRODUCCIÓN

En la provincia de Loja situada en la zona temperada andina, comprendida en un rango de altitud de 1600 a 2800 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 ello se suma 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.

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.

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.

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 el 69.74 %, superficies de 10 ha a 50 ha comprenden 25.46 % y mayores a 50 ha comprenden el 4.8 %.

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.

En este contexto se ubicó la presente investigación, el cual brinda información técnica a los productores de fresa del cantón en cuanto al mejoramiento de las propiedades físicas del suelo y la aplicación de la lámina óptima de riego, a fin de incrementar los rendimientos del cultivo. Los objetivos planteados fueron:

- **Objetivo General**

Generar conocimientos para mejorar las condiciones físicas del suelo y manejar adecuadamente la humedad del suelo, en la producción del cultivo de fresa (*Fragaria vesca)* bajo invernadero, a fin de incrementar los rendimientos del cultivo y mejorar las condiciones de vida de los pequeños y medianos productores de la zona temperada de la provincia de Loja.

- **Objetivos Específicos**

- Determinar la granulometría de biocarbón más óptima en los rangos < 2.0 mm; 2.1 – 4.5 mm, que permita mejorar las condiciones físicas y químicas del suelo de los invernaderos de la Estación Experimental «La Argelia».

- Establecer el rango de tensión de humedad para la producción del cultivo de fresa que permita optimizar el uso de agua de riego bajo invernadero.
- Evaluar la rentabilidad económica de las combinaciones de biocarbón y tensiones de humedad, que generen los más altos beneficios económicos.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. GENERALIDADES DEL CULTIVO DE FRESA

2.1.1. Origen y distribución geográfica

Según González (2010), Las fresas son varias especies de plantas rastreras del género Fragaria nombre que se relaciona con la fragancia que posee (fraga, en latín), cultivadas por su fruto comestible.

Así mismo González (2010) manifiesta que las fresas son originarias de los Alpes, las cuales fueron descubiertas por los romanos, para quienes era un alimento privilegiado y exclusivo de la clase noble. Actualmente, su cultivo se encuentra por muchos países, siendo España uno de los primeros productores mundiales.

Según Marcelo (1999), la producción de fresa a nivel mundial en las últimas décadas ha sido variable, disminuyendo en algunos países y aumentado en otros. Los principales países productores de fresa mundial son Estados Unidos, alcanzando 29.17 % del total producido, con 22 mil hectáreas cultivadas y a la vez posee el rendimiento más alto, 50.682 kg ha^{-1}. En segundo lugar, la Federación Rusa (8.84 %). España (6.90 %), Turquía (6.25 %), República de Corea (5.23 %), Japón (5.05 %), Polonia (4.40 %) y México (4.19 %). En Sudamérica sobresalen Chile (0.68 %), Colombia (0.60 %), Perú (0,46 %) y Venezuela (0,31 %).

Según CORPEI (2010), en cuatro años, la superficie cultivada de fresa en el Ecuador se incrementó. Pasando de 125 ha en el 2003 a 250 ha en el 2007. La producción en este último año fue de 5000 TM, correspondiendo a una productividad de 20 TM ha^{-1}. Pichincha es uno de los referentes de la producción nacional con el 50 % de superficie, que abastece a las industrias de Tungurahua y al país. Luego está en Tungurahua con el 20 % y el 30 % restante se reparten entre Chimborazo, Cotopaxi, Azuay y parte de Imbabura. La exportación de fruta fresca en el 2002 fue hacia Holanda y Colombia con 122 t. En el 2003 se registraron los volúmenes más altos: 143 t hacia EE.UU. No

obstante, la fresa al vapor (en almíbar) es la que más acogida tiene en el mercado. En el 2006 se vendieron 1 460,56 t a EE.UU.

2.1.2. 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.

2.1.3. Descripción botánica

La descripción que se hace a continuación, se refiere a la función evolutiva de sus órganos.

2.1.3.1. 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. Las raíces secundarias salen de las primarias y forman la masa radicular cuya función principal es la absorción de los nutrientes y el almacenamiento de materiales o sustancias de reserva. Solo se puede obtener una buena producción con un sistema radicular abundante y sano.

2.1.3.2. 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.

2.1.3.3. Hojas

Vera (1993), manifiesta que las hojas se hallan insertas en peciolos de longitud variable, son pinadas o palmeadas, subdivididas en tres foliolos, pero es común que en algunas variedades existan 4 ó 5, característica ésta que parece derivarse de la *F.chiloensis*, tiene estípulas en su base y su espesor varía según la variedad, son de color verde más o menos intenso. 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.

2.1.3.4. Estolones o guías

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.

Además Brazanti (1989) indica que si todos los estolones se desarrollan libremente en forma radial, se obtienen hijas que después de su primer desarrollo emiten raíces, sin embargo, en una plantación comercial no es aconsejable dejar crecer estos estolones ya que debilitan las plantas, bajando la producción de frutas; Los estolones constituyen el método más fácil de propagación de plantas.

2.1.3.5. Flores

Echeverría (1989), cita que la flor de la frutilla es de simetría actimorfa (radial) pedunculada con un grueso receptáculo que se hipertrofía 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). Cada flor perfecta está constituida por un cáliz compuesto normalmente por 5 sépalos, o más frecuentemente por un número variable; una corola compuesta generalmente por 5 pétalos que a menudo pueden ser más de 12, generalmente blancos de forma variable, desde elípticos a redondeados u ovalados; por numerosos órganos masculinos (estambres) compuestos cada uno por filamento, de longitud variable que sostiene las anteras que contienen el polen. Están dispuestas en tres verticilos, fundamentalmente en número múltiplo de 5, desde 5 hasta 40, insertos en la periferia de un órgano que tiene la forma de copa invertida (receptáculo). Las flores son de color blanco – rosado, van en inflorescencias largas y son polinizadas por insectos, en especial por abejas y por el viento. El verdadero fruto llamado "aquenio" corresponde a las pepitas que van insertas en un receptáculo carnoso, que constituye la parte comestible. Si la polinización no es completa y quedan pistilos sin polinizar, el fruto resultará deformado. Por esta razón es recomendable el uso de colmenas en un frutillar.

2.1.3.6. Inflorescencia

Folquer (1989), escribe que las flores están agrupadas en inflorescencias, de tallos no modificados, en las que una bractea 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.

2.1.3.7. 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.

2.1.3.8. Variedades

Proexant (2004) describe que en todo cultivo la elección de la variedad a cultivar constituye el paso fundamental para conseguir los mejores niveles de productividad. En el caso particular de la fresa o frutilla la renovación de variedades ha caminado muy rápidamente gracias al avance y progreso en el conocimiento de la genética de la especie y a la introducción inmediata de nuevas variedades que han sido sometidas a su adaptación a los diferentes medios ecológicos.

Así mismo señala que en todos los países donde se cultiva frutilla los productores se han preocupado preferentemente en seleccionar las mejores variedades de acuerdo a sus medios ecológicos, técnicas de cultivo, resistencia a plagas y enfermedades, tipos de fruta, color y uso; indica que las variedades de mayor importancia cultivadas en el Ecuador son: Camarosa, Chandler, Oso Grande y Pájaro; y en menor escala Fern, Douglas, Seascape, Irvine, Selva y otras como la variedad Albión.

2.1.4. Requerimientos nutricionales

2.1.4.1. 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.

2.1.4.2. Textura

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

2.1.4.3. 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, P_2O_5, Ca2+ y Mg2+.
- ✓ Disminuye el transporte de estos iones a las partes aéreas.

- ✓ Disminuye la absorción de agua.

2.1.4.4. pH

Para Proexant (2002), la fresa soporta bien valores entre 6.0 y 7.0. Situándose el óptimo en 6.5 e incluso menor. En caso de tener suelos ácidos se debe encalar y si sucede lo contrario, la alternativa más aplicable será la incorporación de materia orgánica y la utilización de fertilizantes de reacción básica o alcalina.

2.1.4.5. Conductividad eléctrica

Brazanti (1989), indica que se debe evitar suelos salinos, con concentraciones de sales que originen conductividad eléctrica en extracto saturado superiores a 1 mmhos cm^{-1} ya que puede empezar a registrarse disminución en la producción de fruta. Caliza activa: el fresón es muy sensible a la presencia de caliza activa, sobre todo a niveles superiores al 5 %. Valores superiores provocan el bloqueo del Hierro y la clorosis consecuente.

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 ℃ y todas las lecturas deben corregirse en función de este parámetro.

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 0.2 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 2.26, el riesgo de salinidad es alto. Cuando la CE de la solución del suelo es mayor a 4.0, los suelos se clasifican como salinos (Hoffman, 1983).

2.1.4.6. 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.

2.1.4.7. Macro y micro nutrientes

Cuadro 1. 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:

- **Nitrógeno**

Maldonado y Hernández (1995) y Alcivar (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. La cantidad que requiere la fresa para su ciclo productivo es de 20 g m^{-2}.

- **Fósforo**

Maldonado, A. y Hernández, T. (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, este elemento se puede encontrar en cualquier fertilizante fosfatado. Además indican que el fósforo es el responsable del desarrollo radical así como de la floración.

- **Potasio**

Maldonado y Hernández (1995) y Alcivar (1994) indican lo siguiente "El cultivo de fresa necesita como mínimo 250 kg de K_2O por ha para su normal desarrollo y producción. A pesar de que se afirma que el potasio sólo es requerido para aumentar el tamaño de los frutos, en 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".

Cuadro 2. Recomendaciones de fertilización para los cultivares frambuesa, fresa, frutilla y uvilla.

Interpretación de análisis de suelo	**N**	**P_2O_5**	**K_2O**
		Kg ha^{-1}	
Muy bajo	120	240	120
Bajo	95	190	95
Medio	70	140	70
Alto	45	90	45
Muy alto	20	40	20

Fuente: Iñiguez M, (2005). Fertilidad, fertilizantes y fertilización del suelo.

El 50 % del N, todo el P_2O_5 y todo el K_2O, aplicar a chorro continuo, al fondo del surco. Cubrir con suelo el fertilizante, a una distancia de 8.0 a 10 cm trasplantar o sembrar; El restante 50 % de N, aplicar después de 30 a 40 días del trasplante o siembra, a 10 cm de las plantas a chorro continuo, al fondo del surco. Cubrir con suelo el fertilizante.

- **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.

Por otro lado, 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 del campo de la producción de la fresa.

- **Magnesio**

Los requerimientos de magnesio en el cultivo de fresa, de acuerdo a lo que Maldonado y Hernández (1995) y Alcivar (1994), son alrededor de 200 kg ha^{-1}, cantidad relativamente alta, debido a que este elemento interviene en el proceso de fotosíntesis. Cuando el magnesio es deficiente, la planta presenta serios problemas en su desarrollo, lo que afecta directamente en la productividad.

- **Azufre**

Maldonado y Hernández (1995) y Alcivar (1994) señalan que este elemento no es de vital importancia para los cultivos en general, sin embargo en zonas donde no llegan las emanaciones de ácido sulfhídrico es necesario aportarlo en cantidades limitadas.

- **Hierro**

López (2004), indica que el hierro es el responsable de muchos procesos fisiológicos, pero la función más específica es la intervención en la fotosíntesis. Cuando es deficiente, existe un síntoma característico en la planta que se manifiesta en las hojas

jóvenes, las mismas que se tornan de un color rojizo. Además recomienda aplicarlo vía fertirriego 8.0mg kg^{-1} promedio, en base a un análisis foliar.

- **Zinc**

Alcivar (1994), indica que este elemento es necesario para la estimulación de auxinas y otras hormonas del crecimiento, cuando no existe un aporte adecuado de zinc, la planta presenta una serie de dificultades en su tamaño; en su relato sólo indica que se debe hacer aplicaciones foliares.

Por otro lado, López (2004), afirma que el cultivo de fresa requiere alrededor de 0.18 mg kg^{-1}de zinc por pulso de riego, en caso de utilizar fertirrigación, además afirma que con esta dosis no se observará problemas de plantas pequeñas.

- **Manganeso**

Maldonado y Hernández (1995) relatan que el cultivo de fresa no es muy exigente en este elemento, sin embargo es necesario realizar aportes vía foliar.

Además Alcivar (1994) y López (2004) expresan que los requerimientos de manganeso por parte de la fresa son relativamente bajos, siendo alrededor de 0.82 mg kg^{-1} por pulso de riego.

- **Cobre**

La fresa no es muy susceptible a carencias de cobre, manganeso y cinc. Si éstas se presentan, lo más fácil es aportarlos por vía foliar, aprovechando cualquier tratamiento fitosanitario (Maldonado y Hernández, 1995).

Orellana (2002), no coincide con Maldonado y Hernández (1995) en su relato, más bien afirma que este elemento tiene un efecto fungistático en la mayoría de los vegetales y cuando es deficiente, el ataque de enfermedades fungosas es muy severa. “El cultivo de

fresa requiere alrededor de 0.8 mg kg^{-1} en cada pulso de riego cuando se aplica la fertirrigación".

- **Molibdeno**

Alcivar (1994) y López (2004), indican que se desconoce en la actualidad los verdaderos requerimientos de este elemento por parte de la fresa; sin embargo es necesario llevar a cabo fertilizaciones foliares para corregir deficiencias en caso de presentarse.

- **Cloro**

Maldonado y Hernández (1995), dicen "El cultivo de fresa al igual que los demás frutales de importancia económica no han registrado un consumo exacto de cloro durante su desarrollo productivo. Además indica que cuando el agua de riego tiene un alto contenido de cloro no es necesario aplicar fertilizaciones cloradas al suelo, pues el riesgo de contaminar el suelo sería alto".

Por otro lado, López (2004) indica que la fresa requiere 25.0mg kg^{-1} de cloro por pulso de riego. Esto debe ser controlado de igual forma de acuerdo a la concentración de cloro de contenga el agua de riego.

- **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 30.0mg kg^{-1} se aporta una sola vez 2-3 g de bórax m^{-2} al suelo o por vía foliar (100 g l^{-1})".

Orellana (2002), afirma que el cultivo de Fresa requiere por lo menos 2.0mg kg^{-1} de boro por riego, considerando que debe aplicarse dos veces por semana como mínimo.

2.1.5. Requerimientos hídricos

2.1.5.1. Lamina de riego

Alsina (1990), manifiesta que los riegos deberán ser moderados y aplicados sólo cuando las plantas tengan verdadera necesidad de agua. Es conveniente regar con mayor frecuencia en la época previa a la floración, siempre que se suspenda cuando los frutos comiencen a desarrollarse, pues el exceso de agua en esta época da como resultado frutos poco fragantes e insípidos.

Montes (1996), señala que la cantidad y frecuencia de riego depende de varios factores como clima, suelo, variedad y edad de la plantación. En general se debe regar luego de la plantación y desde ese momento se debe controlar el riego de tal manera que el suelo siempre permanezca en capacidad de campo, para lograr esto se recomienda la implementación de un tensiómetro para mantener un buen nivel de humedad en los primeros 10 a 15 cm del suelo. Branzatti (1989) expresa que investigaciones han revelado que la absorción del fósforo y potasio se reduce con el aumento de las deficiencias hídricas del suelo.

2.1.5.2. Frecuencia

Folquer (1986), manifiesta que es exigente en humedad, en más de 80% de la capacidad de campo. Además es sensible al contenido de sales en el agua y se indica que cuando la cantidad de cloruro de sodio sobrepasa a los 100 mg kg^{-1}, se produce reducción de los rendimientos. Indica que en períodos de alta temperatura, se riega cada 4 a 5 días y en períodos húmedos cada 7 - 10 días. Dado que los distintos suelos requieren diferentes frecuencias de riego, recomienda colocar en el campo tensiómetros.

2.1.5.3. Calidad de agua

Orellana (2002), indica que la fresa es un cultivo muy exigente tanto en las cantidades de agua, muy repartidas 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 $mmhoscm^{-1}$. Por tal razón recomienda realizar análisis constantes de aguas para detectar problemas y corregirlos a tiempo a través de neutralización de carbonatos o bicarbonatos en caso de ser necesario.

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 3.

Cuadro 3. 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 (dsm^{-1})	< 0.75	0.75 – 3.0	> 3.0
2. Permeabilidad			
RAS = 0,3	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 ($meql^{-1}$)	<3	>3	
Cloruro (Cl)			
Riego superficial (meq l^{-1})	<4	4 – 10	>10
Riego por aspersión (meq l^{-1})	<3	>3	
Boro (B) (meq l^{-1})	<0.75	0.75 – 3.0	>3.0
4. Efectos diversos:			
Nitrógeno (NO_3–N NH_4–N)(mg l^{-1})	<5	5 – 30	>30
Bicarbonato (CO_3H) con Aspersores (meq l^{-1})	<1.5	1.5 – 8.5	>8.5
	Rango normal		
pH	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 3, 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 Na, Cl y B, 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 l^{-1}.

b. Conductividad eléctrica del agua (ECw)

Mide la salinidad expresada en decisiemen por metro a 25 ℃ (dS m^{-1}), o en milimhos por centímetro a 25 ℃ (mmhos cm^{-1}).

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. Labores preculturales

2.1.6.1. Limpieza

Orellana (2002), recomienda hacerlo de forma mecánica, es decir mediante la utilización de una rastra o aradora, bajo ningún concepto se aconseja la aplicación de herbicidas, en especial Glifosato debido a que provoca serios daños en la composición química y física del suelo.

2.1.6.2. Nivelado

Biblioteca de la Agricultura (1992), recomienda que previo al cultivo de la fresa, es necesario proceder a nivelar el terreno con el objetivo de facilitar sobre todo el manejo adecuado del riego, en vista de que la fresa requiere láminas y frecuencias de riego que demandan de gran precisión, lo más usual es la utilización de una rastra para economizar tiempo y mano de obra.

2.1.6.3. Levantamiento de camas

Orellana (2002), indica que el levantamiento de camas es una técnica muy necesaria dentro del manejo de este cultivo por cuanto su sistema radical es muy susceptible a la humedad, por esta razón la construcción de camas sobre nivel debe ser lo imprescindible. La altura de cama se recomienda hacer a unos 30 cm del nivel del suelo y el ancho de cama puede variar según el manejo que se pretenda realizar, sin embargo en la actualidad lo más aconsejable es realizarlo de 50 cm para facilitar el manejo en los cuidados culturales y la recolección de los fruto.

2.1.6.4. Abonado

Juscafresa (1983), cita que. “La fresa es una planta exigente en materia orgánica, por lo que es conveniente el aporte de estiércol de alrededor de 3 kg m^{-2}, que además debe estar muy bien descompuesto para evitar favorecer el desarrollo de enfermedades y se enterrará con las labores de preparación del suelo. Se deben evitar los abonos orgánicos muy fuertes como la gallinaza, la palomina, etc”.

La Enciclopedia Práctica de la Agricultura y Ganadería (1999), manifiesta que el abonado de fondo consiste en unas 15 $TMha^{-1}$ de estiércol muy bien descompuesto, 90

kg ha^{-1} de N, 120 kg ha^{-1} de P_2O_5y 180 kg ha^{-1} de K_2O. Estas aportaciones se complementarán con coberteras que, en conjunto, suministren otros 100 kg ha^{-1}de N y 50 kg ha^{-1} de K_2O.

Juscafresa (1983), cita que la fertilización puede realizarse de la siguiente forma:

En riego por gravedad, el abonado de cobertera puede realizarse de la siguiente forma: al comienzo de la floración, cada tercer riego se abona con una mezcla de 15 g m^{-2} de sulfato amónico y 10 g m^{-2} de sulfato potásico, o bien, con 15 g m^{-2} de nitrato potásico, añadiendo en cada una de estas aplicaciones 5 cc m^{-2} de ácido fosfórico. De este modo, las aplicaciones de N – P - K serán las siguientes:

- ✓ 20 g m^{-2} de nitrógeno (N).
- ✓ 10 g m^{-2} de anhídrido fosfórico (P_2O_5).
- ✓ 15 g m^{-2} de óxido de potasa (K_2O).

Juscafresa (1983), cita que la fertilización puede realizarse de la siguiente forma:

2.1.6.5. Fertilización

En fertirrigación, el aporte de abonos puede seguir la siguiente programación: aplicar en abonado de fondo unos 100 g m^{-2} de abono complejo; regar abundantemente en la plantación. A continuación y hasta el inicio de la floración, regar tres veces por semana, aportando las siguientes cantidades de abono en cada riego: 0.25 g m^{-2} de N; 0.20 g m^{-2}de anhídrido fosfórico (P_2O_5); 0.15 g m^{-2}de óxido de potasa (K_2O) y 0.10 g m^{-2} de óxido de magnesio (MgO), en caso necesario. A partir de la floración y hasta el final de la recolección, regar diariamente, abonando tres veces por semana con las siguientes cantidades: 0.30 g m^{-2} de nitrógeno (N); 0.30 g m^{-2}de óxido de potasa (K_2O), dos veces por semana se aportará fósforo, a razón de 0.25 g m^{-2}de anhídrido fosfórico (P_2O_5). En caso de escasez de magnesio en el suelo, aplicar una vez por semana 0.10 g m^{-2}de óxido de magnesio (MgO).

2.1.6.6. Desinfección del suelo

Según Juscafresa (1983), en la actualidad existen una serie de productos a base de Basilus, cada uno recomienda de acuerdo a su eficiencia y grado de concentración. Por otro lado para el control de insectos y larvas de suelo es aconsejable el empleo de un

insecticida moderado y con bajo poder residual, funciona muy bien un Diazinon a dosis de 1 ml l^{-1} de agua; con esto controlamos todo tipo de insectos que afectan en las primeras etapas de desarrollo del cultivo.

2.1.6.7. Cobertura del suelo o acolchado

Alsina (1990), explica que consiste en extender sobre el suelo un material plástico, generalmente polietileno, de forma que la planta va alojada en oquedades realizadas sobre dichas láminas. La impermeabilidad del material evita la evaporación del agua del suelo lo que le convierte en un buen regulador hídrico y economizador de agua. El sistema contribuye a incrementar la precocidad de la cosecha y la temperatura media de la zona donde se sitúan las raíces de la planta. En caso de tratarse de plásticos negros, como son los habitualmente usados en Huelva, el acolchado evita el desarrollo de malas hierbas por la barrera que suponen a la radiación luminosa, pero su influencia sobre la precocidad y rendimiento es escasa.

2.1.7. Plagas y enfermedades

Montes (1986) afirma que en la frutilla cultivada, los numerosos clones o cultivares de diferencias genéticas, varían enormemente en su reacción a los agentes patógenos. A su vez, una enfermedad o alteración en una planta se debe a la interacción entre el huésped (fresa), y el patógeno (hongos, virus, bacterias, nemátodos, etc.), el vector y a las condiciones de desarrollo que favorecen la enfermedad, como: suelos salinos, deficiencias nutricionales, exceso de humedad, sequía, etc.

2.1.7.1. Enfermedades no infecciosas

Proexant (2004), manifiesta que enfermedades infecciosas son aquellas en las que no hay un organismo patógeno como causal, y pueden deberse a factores fisiológicos, físicos o genéticos. Dentro de ellas podemos mencionar:

- Cara de gato o deformidad del fruto.
- Daño por heladas que afecta a flores y frutos.
- Fasciación o deformidad en el fruto que se debe a características varietales acentuadas por condiciones climáticas adversas, durante los periodos secos.

- Fruta deformada por daño de herbicidas, deficiencias de microelementos, exceso de Nitrógeno, ataque de hongos o insectos que dañan físicamente a la flor, no permitiendo su normal fecundación.
- Albinismo, la fruta se presenta moteada rosada y blanca, la causa se cree puede ser un rápido crecimiento anormal por un exceso de Nitrógeno, problemas climáticos.
- Sequía, la pérdida normal de agua a través de las hojas durante la época seca, combinada con vientos secantes o altas temperaturas, pueden producir un stress y debilitamiento total de la planta, disminución del tamaño del fruto o desecamiento de ellos, dejándolos como pasas.
- Daño por exceso de sales, ya sea en el suelo o en el agua de riego, produce fitotoxicidad notoria en los márgenes de hojas y disminución en el crecimiento.
- Deficiencias nutricionales.

2.1.7.2. Plagas comunes

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

a. ***Afidos*****:** Pulgón de la frutilla (*Pentatrichopusfragaefolii*), que 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. Para controlarla existen algunos enemigos naturales y también se puede controlar con productos químicos.

c. ***Thrips*****:** Ataca a las flores y frutos recién formados, no es de gran importancia económica.

d. ***Gusanos Cortadores*:** Sonlarvas de lepidópteros (Copitarsia), que atacan la corona cortándola, a veces daña también los frutos formando galerías.

e. ***Gusano de la Fresa*:** *Otiorhynchus rugosos triayus*, que también ataca a la vid. La forma adulta se alimenta de las hojas y tallos y las larvas causan serios daños en la corona y raíces secundarias.

f. ***Gastropodos*:** Caracoles y babosas de jardín, de hábitos nocturnos que durante el día permanecen inactivos escondiéndose en lugares húmedos bajo la planta, su daño es fácil de identificar por la presencia de secreción brillante.

2.1.7.3. Enfermedades más comunes

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

a. ***Pudrición roja de la raíz*: (***Phytophthoragragariae)* 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.

Dentro de los síntomas destacan las hojas nuevas de un color verde pálido y las hojas adultas amarillo rojizas. Sus raíces se presentan de un color oscuro y al hacer un corte longitudinal en ellas se verá el interior rojo. Su control es muy difícil por lo tanto se debe evitar plantar en terrenos mal drenados, arcillosos o que hayan sido cultivados anteriormente con un huésped susceptible.

b. ***Verticilosis*:** (*Verticilliumalboatrum)***,** hongo que sobrevive en el suelo por 8 - 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. Al igual que en el caso anterior, es mejor prevenir.

c. ***Moho Gris*****:** (*Botrytiscinerea)* 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. Cualquier factor que tienda a producir daños como magulladuras o exceso de manipuleo, en la cosecha favorece la propagación de la enfermedad.

La fruta debe ser enfriada lo antes posible. El uso de plástico sobre la platabanda disminuye la incidencia de la enfermedad al evitar el contacto de la fruta con la tierra y el agua.

d. ***Viruela*****:** (*Ramulariafragariae)* presente 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. ***Oidium*****:** (*Spaherothecamascularis)* 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.

2.1.8. Cosecha

Proexant. 2004 manifiesta que generalmente en el Ecuador, las frutillas están listas para la recolección después de los 30 a 40 días de la floración. La recolección se realiza cuando el fruto ha adquirido el color típico de la variedad, al menos en 2/3 a ¾ de la superficie, dependiendo del destino o mercado, de tal manera que pueda resistir el transporte. La cosecha se efectúa en numerosas pasadas por la plantación. Se arrancan los frutos de acuerdo al mercado, en fresco o en congelado. Para el primer caso se

realiza con cuidados especiales, lo que le hace más costoso. Los frutos tienen que conservar el cáliz y una pequeña parte del pedúnculo; Para el segundo caso, es decir para procesamiento, es menos delicado y la fruta queda sin el cáliz.

Folquer (1986), dice que debido a que la fruta es altamente perecedera, debe cosecharse cada tres días y manejarse con mucho cuidado.

Alsina (1984), manifiesta que debe empezarse a manejar la fruta desde antes de su formación y su desarrollo, para que llegue en buenas condiciones a la cosecha. Una fruta de fresa cosechada en plena maduración y mantenida a temperatura ambiente, se deteriora en un 80% en sólo 8 horas. Por esto debe cosecharse, entre 1/2 y 3/4 partes de maduración y ponerse lo más rápidamente posible en cámaras frías (0 – 20 ℃). La selección de la fruta se hace de acuerdo con el mercado al que se dirige, lo mismo que el empaque.

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

Así mismo Castillo (1996), menciona que un invernadero es una instalación cubierta y abrigada construida con materiales transparentes para defender las plantas de la acción de los metoros exteriores. El volumen interior del recinto permite el desarrollo de los cultivos en todo su ciclo vegetativo.

Estas instalaciones están formadas por una estructura o armazón ligero (metálico, madera, hormigón, etc.), sobre la que se asienta una cubierta de material transparente polietileno, policioruro de vinilo, poliéster, cristal, etc.), con ventanas frontales y cenitales y puertas para el servicio del invernadero.

Cultivo protegido es aquel que se realiza en estructuras productivas (invernaderos) capaces de crear un clima favorable para el desarrollo de las plantas, en donde se puede regular y controlar su nivel higrotérmico (térmico y humedad) así como la radiación solar (luz) a lo largo del día.

Así mismo Castillo (1996), dice que las finalidades básicas del cultivo bajo invernadero son:

- ✓ Proporcionar protección de las bajas temperaturas por debajo del mínimo y óptimo biológico.
- ✓ Protección frente a los vientos fuertes.
- ✓ Mejorar el ambiente protegiendo a la planta de plagas y enfermedades.
- ✓ Se aprovecha de mejor manera la mano de obra, luz, agua, espacio, fertilizantes, productos fitosanitarios, se mejora la calidad y el rendimiento, se sacan las cosechas a destiempo.

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

2.2.1.1. Temperatura

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. BIOCARBÓN

2.3.1. Generalidades

Según Menéndez (2008), el biocarbón 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^{-1}".

2.3.2. Propiedades químicas y físicas del biocarbón

"La información de las propiedades físicas – químicas del biocarbón 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 biocarbón son tres:

- ✓ El tipo de materia orgánica usado.

- ✓ El ambiente de carbonización (temperatura, aireación).
- ✓ Las adiciones durante el proceso de carbonización.

La fuente de origen del biocarbón 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 Sekiguchi, 1983; Glaser*et al.*, 1998) los carbones obtenidos con un calentamiento entre 200 °C a 700 °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 $cmol_cKg^{-1}$; en comparación, los suelos de la Amazonia tienen de 1.0 $cmol_cKg^{-1}$ a 6.0 $cmol_cKg^{-1}$ (Sombroek, 1966), consecuentemente, con la aplicación de carbón vegetal, se puede esperar una mayor retención de iones.

Adicionalmente, el biocarbón 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 biocarbón, 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 Karthideyan, 1997). Por otro lado, el carbón vegetal no contiene cantidades significativas de sustancias nocivas (disponibles) tales como hidrocarburos aromáticos policíclicos (Glaser, 1999).

Cuadro 4. Propiedades químicas del biocarbón

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 biocarbón como material de mejoramiento del suelo

Numerosos estudios de los últimos 10 años han demostrado que el biocarbón, 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).

Así mismo, 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).

2.3.4. Equilibrio de nutrientes y lixiviación

El biocarbón se compone principalmente del carbono mineralizado (> 50%) que permanece en el suelo por un periodo de 1000 a 2000 años, según las condiciones predominantes de este, y ni se degrada ni se erosiona (Cheng, 2008 y Lehmann, 2009). El biocarbón 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 biocarbón, hay que achacarlo a mejoras del suelo de orden físico y bioquímico, antes que al efecto de los abonos minerales.

El biocarbón 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 biocarbón

Sierra (2010), menciona que el uso del biocarbón 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 biocarbón

Sierra (2010), propone algunas propiedades agrícolas en el uso del biocarbón 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.

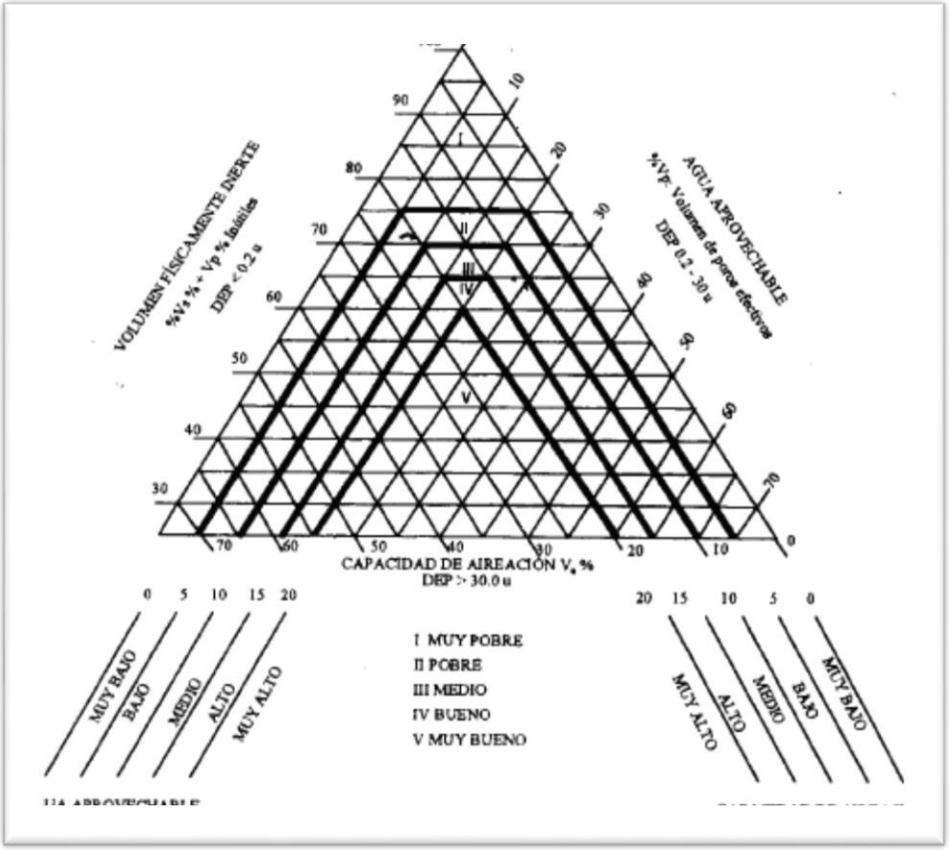


Figura 1. Diagrama triangular para evaluación de las condiciones físicas del suelo, (Tomado de ILACO, B.V. 1981)

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.

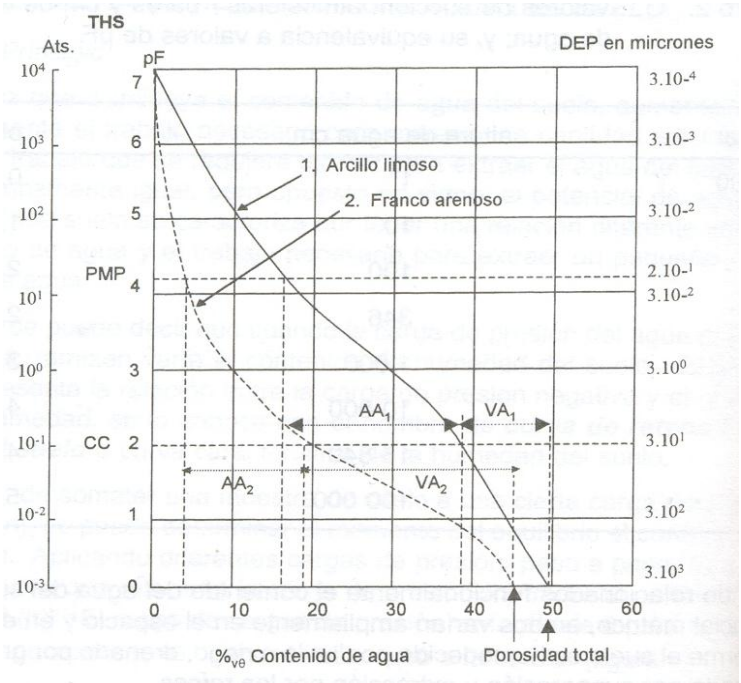


Figura 2. Curva de retención de humedad (Valararezo et. al, 1998)

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.

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

Donde:

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

dφ = diferencial de la tensión de humedad

dθ = 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)

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.

Cuadro 5. 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

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 6:

Cuadro 6. 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

Según Ortiz (2008), expresa que el punto de saturación corresponde al contenido de humedad del suelo cuando la tensión es de 00 kPa (pF = 0) en esta condición la porosidad se encuentra ocupada por el agua. La porosidad total del suelo es igual al contenido de humedad en términos de volumen para el punto de saturación.

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)".

Desde el punto de vista agronómico la capacidad de campo representa la condición de humedad adecuada para el desarrollo de los cultivos y es el punto superior del agua aprovechable para la plantas (Ortiz, 2008).

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

Es aquella parte del volumen total de suelo ocupada por la parte gaseosa y liquida (Ortiz, 2008). Se expresa como un porcentaje del volumen total del suelo, por lo tanto no tiene dimensiones (Pizarro, 1990).

La porosidad de los suelos minerales varía entre el 25 % y el 60 %, aunque normalmente está comprendida entre el 40 % y el 50 %. En suelos con alto contenido de materia orgánica puede superar el 90 % (Pizarro, 1990).

$$\boldsymbol{\varepsilon = \frac{V_p}{V_t}}$$

Donde:

$\boldsymbol{\varepsilon}$ = Porosidad (%)

$\boldsymbol{V_p}$ = volumen de poros (cm^3)

$\boldsymbol{V_t}$ = volumen total del suelo (cm^3)

$$\boldsymbol{V_p = V_a + V_w}$$

$$\boldsymbol{V_t = V_s + V_a + V_w}$$

Si dispongo de valores de la Da y Dr, el valor de la porosidad viene dado por la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{\varepsilon = 100\left[1 - \frac{\delta a}{\delta r}\right]}$$

Donde:

$\boldsymbol{\varepsilon}$ = Porosidad (%)

$\boldsymbol{\delta r}$ = Densidad real ($g\ cm^{-3}$)

$\boldsymbol{\delta a}$ = Densidad aparente ($g\ cm^{-3}$)

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

El valor de la porosidad total no revela nada acerca de la distribución del tamaño de poros. La distribución del tamaño de poros se estima a partir de los volúmenes de agua extraídos a diferentes rangos de succión, para lo cual es indispensable disponer de la curva de pF del suelo (Valarezo*et al.*, 1998).

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. TENSIÓMETRO

2.5.1. Principios

Según Goyal (2007), el tensiómetro es un instrumento que indica la tensión con que el agua está adherida a las partículas del suelo. Es uno de los métodos usados para indicar, en forma relativa, si en el suelo existe suficiente humedad disponible para el crecimiento de las plantas. Los cambios que ocurren en el espesor de la capa (película) de agua que rodea las partículas del suelo alteran la tensión del agua en el suelo. Estos cambios se expresan en fluctuaciones de tensión de la humedad en el suelo. En la práctica, el tensiómetro mide los rangos de humedad de suelo bajo las cuales las raíces de las plantas absorben activamente el agua.

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 (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.

2.6.2. Beneficios Netos

Para determinar los "beneficios netos" de las diferentes tecnologías, el investigador debe primero calcular el "beneficio bruto en campo" y los "costos totales que varan" al cambiar de tecnologías. El beneficio bruto en campo para cada tecnología se obtiene multiplicando el "rendimiento ajustado" por el "precio a la entrada de la finca". El rendimiento ajustado representa una fracción (por ejemplo, 0.90) del rendimiento promedio que el investigador obtiene bajo condiciones experimentales (una razón para hacer ajuste en el rendimiento es que el productor, al cambiar de tecnología, no usa la misma precisión y puntualidad del investigador; por lo tanto, una estimación conservadora es justificada). El precio a la entrada de la finca es el precio que el productor recibe menos cualquier costo por comercialización y cosecha.

Los costos totales que varían (costos totales) para cada tecnología son la suma de solamente esos costos que se espera que cambien debido al uso de otra tecnología. Si el uso de una tecnología en particular resulta en un ahorro en los costos, entonces este ahorro debe ser sustraído del costo total. En ciertas situaciones, cuando no haya precios de mercado para algunos insumos, el investigador podría consultar con un economista que sea capaz de estimar el costo económico (de oportunidad) del recurso.

El beneficio neto de una tecnología determinada es obtenido sustrayendo los costos totales de los beneficios brutos en campo. Debe señalarse que el beneficio neto no es lo mismo que la ganancia neta ya que este sólo toma en consideración esos costos que varían cuando se cambia de una tecnología a otra (Perrin, 1979).

2.6.3. Análisis marginal

El análisis marginal, usado dentro de este contexto, es un procedimiento para calcular las tasas marginales de retorno entre tecnologías, procediendo paso a paso, de una tecnología de bajo costo a la siguiente tecnología de costo mayor, y comparando las tasas de retorno contra una tasa de retorno mínima aceptable (Perrin, 1979).

El procedimiento es útil para hacer recomendaciones a productores y para seleccionar tecnológicas alternativas. El principio económico que soporta el análisis es que es beneficioso para el productor continuar invirtiendo hasta el punto donde el retorno de cada unidad extra invertida sea igual a su costo. Cuando se aplica a una situación en la cual el productor se enfrenta a un conjunto de alternativas tecnológicas, el productor debe invertir en la tecnología más costosa mientras que la tasa marginal de retorno (al cambiar de una tecnología de bajo costo a una tecnología de costo mayor) sea más grande que la tasa de retorno mínima aceptable (CYMMYT, 1988).

2.6.4. Análisis de dominancia

Este se hace clasificando las tecnologías, incluyendo la tecnología que el productor usa normalmente, ordenándolas de menor a mayor, en base a los costos, conjuntamente con sus respectivos beneficios netos. Moviéndose de la tecnología de menor a la de mayor costo, la tecnología que cueste más que la anterior pero rinda un menor beneficio neto se dice que es "dominada" y es excluida del análisis (CYMMYT, 1988).

2.6.5. Tasa Marginal de Retorno

Una vez eliminadas todas las tecnologías dominadas, la tasa marginal de retorno entre tecnologías es calculada procediendo paso a paso, comenzando con la tecnología de menor costo y siguiendo con la próxima tecnología más alta, la tasa marginal de retorno es calculada expresando la diferencia entre los beneficios netos de ambas como un porcentaje del costo total adicional. La tasa marginal de retorno calculada es una indicación de lo que el productor puede esperar recibir en promedio al cambiar de tecnología. Por lo tanto, una tasa marginal de retorno del 150%, al cambiar de una Tecnología 1 a una Tecnología 2 implica que por cada dólar invertido en la nueva tecnología, el productor puede esperar recobrar el dólar invertido más un retorno adicional de $1.50 (Perrin, 1979).

2.7. INVESTIGACIONES REALIZADAS

2.7.1. Biocarbón

Valarezo y Villamagua (2003), en un trabajo realizado en arena silícica en la hoya de Loja, han obtenido resultados que demuestran que la incorporación de arena silícea en dosis de 30 %, 40 % y 50 %, mejoraron la capacidad de aireación, pasando las condiciones físicas del suelo de pobre a muy buenas, y logrando un aumento de 45 % en la productividad del cultivo de tomate riñón, 117 % en cebolla de bulbo y 59 % en pepino.

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 = 2.0kg 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 $planta^{-1}$; mientras que el menor rendimiento obtuvo en el testigo con 9.95 kg $planta^{-1}$. El incremento de la productividad de 1.6 kg $planta^{-1}$ equivalente al 16 %.

Álvarez y Guaillas (2009), probaron diferentes dosis de arena silícea, combinada con carbón vegetal en el cultivo de tomate riñón: los factores a evaluarse fueron, los sustratos y dentro de este los siguientes niveles: a_1. Bocashi, a_2. 15 % de arena, a_3. 20 % de arena, a_4. 25 % de arena; y las láminas de riego con los niveles: b_1. 125 % Etc, b_2 140 % Etc, b_3 155 % Etc; los cuales al combinarse se obtuvo como resultado 12 tratamientos. Tomando en cuenta que los porcentajes de arena fueron mezclados con 1.5 kg m^{-2} de carbón vegetal con una granulometría< 4.5 mm y 8 % de abono orgánico bocashi. Los mejores sustratos en lo que se refiere a capacidad de aireación son el S_2 (20 % de arena+ 1.5 kg m^{-2} de carbón vegetal y 8 % bocashi) y el S_3 (25 % de arena + 1.5 kg m^{-2} de carbón vegetal y 8 % bocashi) ambos con el 16 % Capacidad de aireación equivalente a alta. En lo referente a las láminas de riego, determinó que el T_{10} (155% ETc y el sustrato S_1: 15% arena + 1.5 kg m^{-2} de carbón vegetal y 8 % bocashi) 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 b_3. 155 % ETc + S_1: 15% arena + 1.5 kg m^{-2} de carbón vegetal y 8 % bocashi obtuvo el mejor rendimiento con 8.2 kg $planta^{-1}$.

Ortega y Chapa (2006), evaluaron diferentes sustratos utilizando abono orgánico en el cultivo de *Zucchini*en donde los tratamiento fueron; T0= suelo agrícola; T1= suelo agrícola + 6% de abono orgánico (bocashi); T2= suelo agrícola + 8% de abono orgánico (bocashi); T3= suelo agrícola + 10% de abono orgánico (bocashi). Los resultados indican queel suelo original de características físicas pobres pasó a bueno en T1 y T2 y muy bueno en T3. El mejor rendimiento se obtiene con el T3 con 18,43 kg $planta^{-1}$y el menor rendimiento resultó el del testigo con 4,27 kg $planta^{-1}$; por lo tanto el incremento de la producción fue de 331.6 %.

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 bajo una rotación maíz/soya, donde el rendimiento de maíz no se incrementó significativamente en el primer año, pero se incrementó posteriormente para los siguientes años en la parcela con 20 t ha^{-1} de biocarbón los cuales fueron de 28 % (6.4 t ha^{-1}), 30 % (6.5 t ha^{-1}) y 140 % (12 t 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.

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

Segarra y Lozano (1998), evaluaron la producción de tomate de árbol con el efecto de tres tensiones de humedad y tres niveles de fertilización en la estación experimental La Argelia. Los resultados demostraron que el cultivo de tomate de árbol aprovecha de mejor manera el agua del suelo a una tensión de – 40 kPa y que el rendimiento está sujeto a la optimización de la humedad del suelo antes que de un alto porcentaje de fertilización.

Chaves y Lasso (2013) estudiaron el efecto de dos cobertores plásticas color negro (CN), color plata (CP) y tres láminas de agua de 0.60 mm, 0.75 mm y 0.90 mm (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 $planta^{-1}$ a la siembra, biol de hierbas 200 cc l^{-1}, té de estiércol bovino 200 cc l^{-1}, humus liquido 100 cc l^{-1}, purín de cerdo 100 cc l^{-1}y biol de frutas 200 cc l^{-1}, aplicado en las diferentes etapas) y química B (Nutrient Express 3 g l^{-1}, Diamónico (DAP) 1 g l^{-1}, Muriato de potasio 1.5 kg a la siembra, Foliar Plus 2.5 cc l^{-1}, Vigorizador 0.5 gl^{-1} y Super sol 1 g l^{-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 2 min $golpe^{-1}$, 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.

Zermeño *et al.*, (2007) investigaron el efecto de diferentes tensiones de humedad del suelo en el rendimiento y tamaño de frutos de limón italiano (*Citrus limón L.*) bajo riegopor microaspersión. La investigación se realizó en un cultivo de siete años de edad, ubicado en Tamaulipas, México. Los tratamientos evaluados fueron: primero se inició el riego a un potencial matricial del suelo de – 30 kPa (T1); - 50 kPa (T2) y -70 kPa (T3), medida a 0,30 m de profundidad; más un testigo que consistió en la programación de

riego utilizada por los productores de la región que se basa en la apreciación visual del requerimiento hídrico del árbol(cuando las hojas empezaban a doblarse). Tras la culminación del estudio concluyeron que la tensión de – 30 kPa (que corresponde a aproximadamente 16 % del abatimiento de la humedad aprovechable) es la más adecuada, ya que permite obtener mayor producción que la obtenida con la forma tradicional del manejo del riego en esta región.

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 $parcela^{-1}$. 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 $ ha^{-1}.

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 $planta^{-1}$ 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 $planta^{-1}$equivalente a 1 260.08 kg ha^{-1}.

Chavez*et al.,* (2013) evaluaron diferentes láminas de riego y diferentes tipos de acolchado plástico en el rendimiento del cultivo de fresa (*Fragaria vesca*), dicha investigación se realizó en el departamento de Nariño, Colombia. Las láminas estudiadas fueron de 107 mm, 89 mm y 71 mm; los tipos de acolchado fueron de color negro, plata y sin acolchado. Tras la investigación no se encontraron diferencias estadísticamente significativas sobre el rendimiento usando los tipos de acolchado plástico, aunque si existió diferencia estadísticamente significativa sobre el rendimiento entre las láminas aplicadas. El mejor rendimiento correspondió a la lámina alta (107

mm). La misma que presento un incremento en el rendimiento del 55 %, con relación a la lámina baja (71.2 mm).

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}.

3. METODOLOGÍA

3.1. LOCALIZACIÓN DEL ENSAYO

3.1.1. Ubicación Política

El proyecto de investigación sellevó a cabo en la Quinta Experimental “La Argelia”, al sur de la ciudad de Loja, cuya jurisprudencia pertenece a la parroquia de San Sebastián del Cantón y Provincia de Loja.

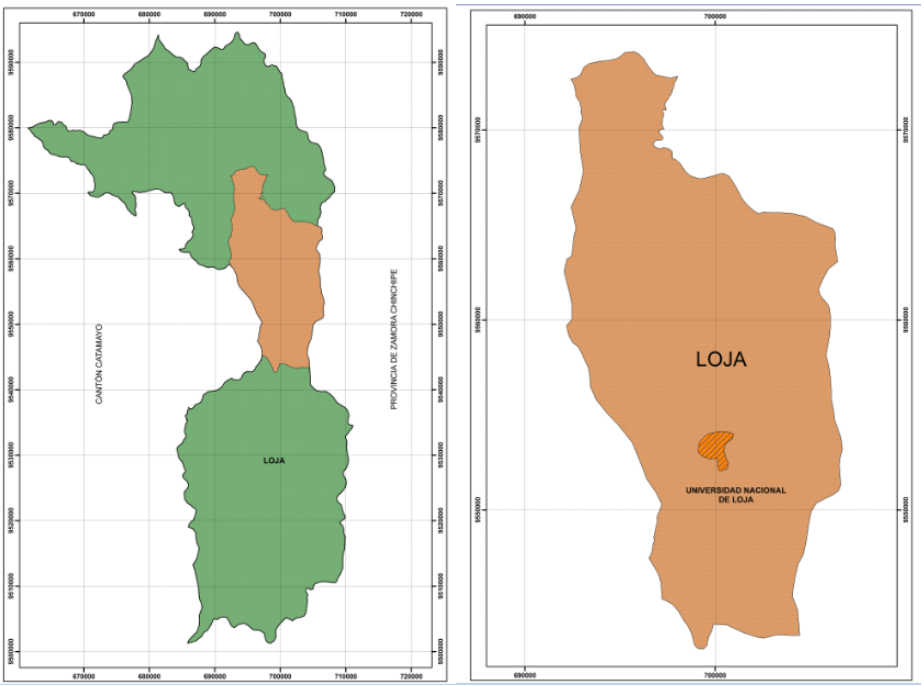


Figura 3. Ubicación del experimento, sector Los Molinos de la Estación Experimental La Argelia.

3.1.2. Ubicación geográfica

El sitio experimental está ubicado en el sector Los Molinos de la Estación experimental “La Argelia”, de la ciudad de Loja, en las siguientes coordenadas planas UTM. Zona geográfica: 17

- Latitud Norte: 9 554 365 m
- Longitud Este: 700 452 m
- Altitud: 2 100 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^{-1}

3.1.4. Suelos

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

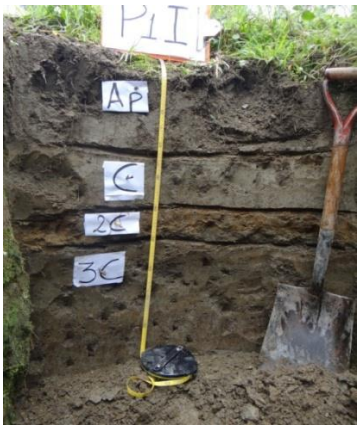


Figura 4. Fotografía Descripción del perfil de suelos en los invernaderos

3.1.5. 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, 2007).

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
- Bombas

3.2.2. Material de laboratorio

- Muestras de suelos
- Cilindros Kopecky 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

$(\boldsymbol{\alpha\delta})_{\boldsymbol{ij}}$= 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: < 2 mm de granulometría de biocarbón.
- ✓ S_2: > 2 mm y < 4.5mm de granulometría de biocarbón.
- ✓ S3: 0 mm de granulometría de biocarbón(Testigo).

La dosis de biocarbónpara 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: 10 – 15 kPa
- ✓ T_2: 10 – 25 kPa
- ✓ T_3: 10 – 35 kPa

Cuadro 7. Tratamientos con diferentes granulometrías de biocarbón y tensiones de humedad en el cultivo de fresa, Loja – Estación Experimental "La Argelia", 2014.

Tratamientos	Factor A Granulometría Biocarbón	Factor B Tensión de Humedad (kPa)	Descripción
T1		10 – 15 kPa	S1t1
T2	**Menores que**	10 – 25 kPa	S1t2
T3	**2 mm**	10 – 35 kPa	S1t3
T4		10 – 15 kPa	S2t1
T5	**Mayores que 2 mm y**	10 – 25 kPa	S2t2
T6	**menores que 4.5 mm**	10 – 35 kPa	S2t3
T7		10 – 15 kPa	S3t1
T8	**Testigo**	10 – 25 kPa	S3t2
T9		10 – 35 kPa	S3t3

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

Del primer objetivo

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

Del segundo objetivo

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

Del tercer objetivo

- ✓ Rendimiento en kg/planta/tratamiento (kg)
- ✓ Tasa marginal de retorno (TMR %)

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: 21.44 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 biocarbónpermiten 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 (Biocarbón).

H0 = (Cv0 = Cv1 = Cv2). El efecto de las diferentes granulometrías de biocarbónen 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 biocarbónen el rendimiento del cultivo de fresa, no es estadísticamente igual al nivel de significancia del 5 %.

Hipótesis estadísticas (Tensiones de Humedad)

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 Biocarbón – Tensiones de Humedad

H0: No hay interacción entre las diferentes granulometrías del biocarbóny las diferentes tensiones de humedad

H1: Si hay interacción entre las diferentes granulometrías del biocarbóny las diferentes tensiones de humedad

3.3.2. Agrotécnia del cultivo

3.3.2.1. Control de malezas

Las deshierbas se realizaron en forma manual y con la ayuda de herramientas de labranza como lampa y rastrillo, dicha actividad se la realizó cada quince días, con la finalidad de evitar la competencia por el agua, luz y nutrientes existentes en el suelo, entre la planta tutor y las malezas.

Figura 5. Control de malezas, Loja 2014

3.3.2.2. Fertilización

La fertilización se efectuó de acuerdo al balance realizado entre el análisis de los sustratos y los requerimientos del cultivo mismo q fue colocado en la primera fase del cultivo. Además 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. Anexo 7.

3.3.2.3. Podas

Esta práctica se realizó constantemente cada quince días desprendiendo hojas, tallos 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 6. Poda de hojas y estolones, Loja, 2014.

3.3.2.4. 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 8.

Figura 7. Control fitosanitario Loja, 2014

Cuadro 8. 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

3.3.2.5. 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 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 (Anexo 26).

Cuadro 9. Variación de temperatura en el invernadero

Hora	Temperatura Exterior (°C)	Temperatura invernadero (°C)	Diferencia
07:00	14	16	2
10:00	18	26	8
13:00	20	29	9
16:00	19	25	6
19:00	16	20	4

Como indica el cuadro 9, la temperatura al interior del invernadero fue en promedio de 23.2 °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 10. Variación de humedad relativa en el invernadero

Hora	Humedad relativa Exterior (%)	Humedad relativa Invernadero (%)	Diferencia
7:00	92	90	2
10:00	77	52	25
13:00	68	41	27
16:00	70	48	22
19:00	83	66	17

Debido a que la humedad relativa influye sobre el crecimiento, transpiración, fecundación de las flores y desarrollo de las enfermedades es preferible 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 acolchado 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 10 se procedió a pulverizar agua en el ambiente, apertura de cortinas y riego en los caminos.

3.3.2.6. Comercialización

La cosecha se realizó cada semana a partir del 04 de Enero hasta el 05 de Junio de 2014, muchas veces se lo realizaba también dos veces por semanacuando los frutos presentaron madurez fisiológica, para luego ser pesados y empacados en fundas plásticas para su posterior comercialización.

Figura 8. Comercialización de fresa Loja, 2014

3.3.3. Metodología del primer objetivo

"Determinar la granulometría de biocarbón más óptima en los rangos < 2.0 mm; 2.1 – 4.5 mm, que permita mejorar las condiciones físicas y químicas del suelo".

3.3.3.1. Análisis de suelos

La aplicación del biocarbón se efectuó en otrainvestigación en el año 2009, 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 (Weinmaniafagaroides), 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).

Tanto del suelo original como del sustrato elaborado, se tomó muestras del suelo alteradas para el análisis de la fertilidad, para lo cual se tomaron tres submuestrashasta 20 cm de profundidad en puntos distribuidos al azar, luego las submuestras se mezclaron para uniformizar y se determinó: textura, pH, CE, CIC, MO, C/N, P, K, Mg, Fe, Mn, Cu.

De igual manera se tomaron muestras de suelo no disturbadas en suelo original y en los sustratos al final del ensayo, con la ayuda de los anillos kopecky 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, 1/3 atm, 15 atm y densidad

aparente. Determinándose: volumen total de poros, agua aprovechable, capacidad de aireación y el volumen físicamente inerte. Finalmente, se evaluó las condiciones físicas del suelo con ayuda del diagrama triangular para las condiciones físicas del suelo 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) Densidad aparente (Da):

$$\boldsymbol{Da = \frac{Ps}{Vt}}$$

De donde:

Da = Densidad aparente (g cm^{-3})

Ps = Peso suelo seco (g)

Vt = Volumen total de la muestra no disturbada (cm^3)

b) Volumen Total de Poros:

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

De donde:

VTP = Volumen de poros (cm^3)

Ps = Peso de saturación. (g)

Da = Densidad aparente (g cm^{-3})

c) Agua Aprovechable:

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

De donde:

AA = Agua aprovechable.

CC = Capacidad de campo.

PMP = Punto de marchitez permanente.

d) Capacidad de Aireación:

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

De donde:

CA = Capacidad de aireación (%)

S = Saturación (%)

CC = Capacidad de Campo (%)

e) Volumen de Poros Físicamente Inerte:

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

De donde:

VPFI = Volumen de poros físicamente inerte (%)

VTP = Volumen de poros (%)

PMP = Punto de marchitez permanente (%)

3.3.4. Metodología para el segundo objetivo

"Establecer el rango de tensión de humedad para la producción del cultivo de fresa que permita optimizar el uso de agua de riego bajo invernadero".

En primer lugar se instaló un tensiómetro en el horizonte 00 – 20 cm en cada una de los tratamientos. Posteriormente, se construyó las curvas características de humedad del suelo, en base a la tensión de humedad con una frecuencia de 5 kPa (0 – 35kPa) y el contenido de humedad en términos de masa. 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 15 kPa, 25 kPa y 35kPa, 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:

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

Dónde:

LAA = Lámina de agua aprovechable (mm)

CH = Contenido de humedad (%)

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)

La intensidad de precipitación se calculó a partir de la siguiente ecuación:

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

Dónde:

IP = Intensidad de precipitación (mm h^{-1})

Q = caudal del gotero (l h^{-1})

L = Número de laterales/cama

e = Espaciamiento entre goteros (m)

a = Ancho de la cama (m)

c = Ancho del camino (m)

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

$$TR = \frac{LAA_{neta\ final} \times 60}{IP}$$

Dónde:

TR = Tiempo de reigo (min)

$\mathbf{LAA_{neta\ final}}$ = Lámina neta (mm)

IP = Intensidad de precipitación (mm h^{-1})

El riego se lo realizó cuando los tensiómetros registraron 15 kPa, 25 kPa y 35 kPa y se detuvo, cuando los mismos marcaron 10 kPa 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 la 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 Biocarbón 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**

Los rendimientos de los diferentes tratamientos fueron procesados utilizando el software estadístico InfoStat (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

a. 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.

b. Costos variables.

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

c. Ingreso bruto.

Los ingresos fueron calculados de acuerdo al número de plantas seleccionadas en cada unidad experimental; para lo cual se realizó multiplicando el precio de venta por la producción para cada tratamiento correspondiente.

d. Beneficio neto y análisis de dominancia

El beneficio neto se determina por la diferencia entre los costos variables y el ingreso bruto; en cuanto al análisis de dominancia se ordenó las tecnologías de menor a mayor en base a los costos variables, conjuntamente con sus respectivos beneficios netos; posteriormente se determinó el tratamiento con mayor costo que el tratamiento procedente, pero que obtuvo el menor beneficio neto (tecnología dominada), excluyéndose del correspondiente análisis marginal.

e. La Tasa Marginal de Retorno

La Tasa Marginal de Retorno, se calculó expresando la diferencia entre los beneficios netos (ordenadas de menor a mayor) entre tratamientos, como porcentaje del costo total adicional. La ecuación es la siguiente:

$$\boldsymbol{BN_p = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} BN_j}$$

Dónde:

$\mathbf{BN_p}$ = Beneficio neto promedio

$\mathbf{BN_j}$ = Benefifo neto unitario

$$\boldsymbol{I_p = \frac{1}{n}\sum_{k=0}^{n} VL_k}$$

Dónde:

$\mathbf{I_p}$ = Inversión o costo promedio

$\mathbf{VL_k}$ = Costos unitarios

$$\boldsymbol{TMR = \frac{BN_p}{I_p}}$$

Dónde:

TMR = Tasa marginal de retorno

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. "Determinación de la granulometría de biocarbón más óptima en los rangos < 2.0 mm; 2.1 – 4.5 mm, que permita mejorar las condiciones físicas y químicas del suelo".

4.1.1. Propiedades químicas del suelo

En el cuadro 11 se presentan los resultados de los análisis químicos del suelo antes y después del ensayo.

Cuadro 11. 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	6.4	6.6	2.1M	2.6 M	12.8 M	12.2 M	61.5 M	148.9 A
S2	6.5	6.8	2.2 M	2.6M	12.7 M	15.1 M	58.6 M	88.7 A
S3	6.2	6.2	1.9 B	1.9B	12.0 M	15.4 M	65.2 M	80.0 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	0.86 A	0.86 A	9.66 A	12.4 A	0.91 B	2.14 A	147.2 A	343.7 A
S2	0.94 A	1.06 A	9.52 A	12.1 A	0.94 B	1.91 A	135.9 A	326.2 A
S3	0.37 M	0.85 A	9.28 A	9.69 A	0.89 B	1.64 A	142.9 A	356.1 A
	CE ds/m		**P_2O_5 mg Kg^{-1}**		**Mn mg Kg^{-1}**		**Cu mg Kg^{-1}**	
	Antes	**Después**	**Antes**	**Después**	**Antes**	**Después**	**Antes**	**Después**
S1	0.902	2.490	622.9 E	246.8 A	11.40 M	19.10 A	9.1 A	11.70 A
S2	0.834	3.400	658.7 E	265.3 A	8.06 M	20.79 A	9.4 A	15.11 A
S3	0.530	2.390	574.3 E	236.2 A	8.10 M	19.84 A	8.8 A	12.71 A

Dónde: B= bajo; M= medio; A=alto; E=Exceso

El pH del suelo pasó de 6.5 a 6.7 en los sustratos con biocarbón equivalentes a prácticamente neutro, este aumento aunque no es significativo probablemente se debe al biocarbón, 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 un suelo con pH alto, la adición de biocarbón 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 biocarbón la conductividad eléctrica fue de 0.9mmhos cm^{-1}, mientras en el testigo tuvo un valor de 0.5mmhos/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 mmhoscm^{-1}, ya que puede empezar a registrarse disminución en la producción de fruta y por ende en el rendimiento final de la fresa, aunque al final de la investigación aumento este valor en los sustratos con aplicación de carbón vegetal la conductividad eléctrica fue de 3.0mmhos cm^{-1}, mientras en el testigo tuvo un valor de 2.4mmhos cm^{-1}, que se lo considera como ligeramente salino, esto es debido a la precipitación de los fertilizantes y con la colocación del plástico hizo que las sales se elevaran.

El contenido de materia orgánicaal inicio del ensayo fue de 2.2 % (media) en los sustratos con biocarbóny 1.9 % (bajo) en el testigo; y al final del ensayo fue de 2.6 % (alto) y 1.9 % (bajo), respectivamente; En los sustratos con biocarbónel contenido de materia orgánica se elevó en el rango medio a alto, mientras que en el testigo se mantuvo al límite bajo debido a la no presencia del biocarbón ya que según Glaser*et al.,* (2002) manifiesta que a más de los iones metálicos, con las aplicaciones de biocarbón 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 148.9mg Kg^{-1} (2.0 mm de biocarbón), de 58.6 mg Kg^{-1} a 88.7mg Kg^{-1} (4.5mm de biocarbón) y desde 65.2 mg Kg^{-1} a 80.0 (0mm de biocarbón), equivalente a alto. Estos resultados proponen que al adicionar nitrógeno en la fertilización base y fertirriego fueron retenidos por la matriz del suelo.

En los valores de potasio hubo un ascenso de 0.7Cmol (+) Kg^{-1} a 0.9Cmol (+) Kg^{-1} correspondiente a alto, que se mantuvo en idealpara el cultivo de fresa que es alrededor de 0.9Cmol (+) Kg^{-1} durante su fase fenológica.

Con respecto al fósforo bajó de 618.6 mg Kg-^{1}(exceso) a 249.4 mg Kg-^{1}correspondiente a alto, mientras que su demanda nutricional es de 200.0 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, se elevó del inicio al final del ensayo de 9.5 Cmol (+) Kg^{-1} a 11.4Cmol (+) Kg^{-1}, ya que en la temporada de floración y fructificación se adiciono fertilizantes para ayudar a la planta; lo mismo ocurrió con el boro.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) se mantuvo en el rango medio de 12.5Cmol (+) Kg^{-1} a 14.2Cmol (+) Kg^{-1}. Este ligero aumento se explica por la adición de K, Ca y Mg en la fertilización a los tratamientos.

4.1.2. Propiedades físicas del suelo

Cuadro 12. Análisis físico del suelo antes del ensayo

Sustrato	Densidad aparente	Saturación	Contenido De Humedad %		AA	CA	VTFI	EQUIVALENCIA			
			CC	PMP							
	g/cm^3	%	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	-	-

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 14.7 % en promedio, equivalente a alto (Cuadro 12). 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 13. Análisis físico del suelo después del ensayo

Sustratos	DA	Saturación	Contenidos de humedad %		Condiciones físicas del suelo			EQUIVALENCIA			
			CC	PMP	AA	CA	VPFI	AA	CA	ZONA	CLASE
	gr/cm^3	%	0,10 atm	15 Atm	%	%	%				
S1	1.23	49.37	34.20	7.56	26.64	15.18	58.18	Muy Alto	Alto	IV	Bueno
S2	1.25	51.21	35.84	8.57	27.27	15.37	57.36	Muy Alto	Alto	IV	Bueno
S3	1.32	46.80	34.90	8.24	26.66	11.90	61.44	Muy Alto	Medio	IV	Medio

CC: Capacidad de Campo, CA: Capacidad de Aireación, VTFI; Volumen de poros físicamente inerte.

Después de la investigación (Cuadro 13) mostraron que las condiciones físicas cambiaron de pobre a medio y bueno. El promedio agua aprovechable para los sustratos con biocarbón fue de 27.0 %, mientras que en el testigo fue de 26.7 % en promedio; la capacidad de aireación los sustratos con biocarbón fue de 15.3 % indicando un ascenso frente a los resultados antes del ensayo; mientras que, en el testigo fue de 11.9 % que disminuyo frente a los resultados antes del ensayo; además, el volumen físicamente inertes en los sustratos con biocarbón fue de 57.8 % mientras que en el testigo fue de 61.4 %.

Los resultados obtenidos en cuanto a las propiedades físicas, se deduce que el biocarbón 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 atmósfera 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 (2.0mm y 4.5 mm de biocarbón), “Se debió a que los posibles mecanismos mediante los cuales los ácidos húmicos derivados del biocarbón 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).

4.2. "Establecer el rango de tensión de humedad óptima, 10 kPa - 15kPa, 10kPa - 25kPa y 10kPa - 35kPa, que permita una mejor relación de agua y aire en el cultivo de fresa".

4.2.1. Láminas de riego

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

Cuadro 14. 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, Enero – Mayo 2014.

Meses	TRATAMIENTOS					
	10 - 15 kPa		10 - 25 kPa		10 - 35 kPa	
	Láminas (mm)	Número de Riegos	Láminas (mm)	Número de Riegos	Láminas (mm)	Número de Riegos
ENE	28,0	14	26,5	9	18,5	4
FEB	32,6	15	22,0	9	18,5	4
MAR	34,2	16	27,4	10	23,5	6
ABR	35,8	16	28,3	9	27,5	5
MAY	32,4	16	27,0	8	26,0	6
TOTAL	**162,8**	**77**	**131,3**	**45**	**114,0**	**25**

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 14 se observa que el mayor consumo de agua para el cultivo de fresa durante los cinco meses de investigación constituyen los rangos que corresponden a la tensión de humedad de 10 a 15 kPacon 162.8 mm y un número total de riego de 77; mientras que, el menor consumo le corresponde a los rangos tensión de humedad de 10 a 35kPacon 114.0 mm y un número total de riegos de 25. El mes de mayor consumo en promedio de los tres rangos de humedad es abril con 30.5 mm mes^{-1}; mientras que el mes de menor consumo para los tres rangos de tensión de humedad es enero con un promedio de 24.3mm mes^{-1}, no existe mucha significancia en cuanto a la cantidad de agua

aplicada al cultivo de fresa debido que el cultivo ya se encontraba implementado y listo para la cosecha.

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

4.3.1. Rendimiento en kg/planta/tratamiento

Cuadro 15. Análisis de varianza para el rendimiento de 22 cosechas de fresa, en la Estación Experimental la Argelia. Loja, 2014.

Fuente de variación	Cuadrados medios	Probabilidad
Granulometría	381,18	0,8869
Tensión	24738,77	0,0042
Granulometría*tensión	1139,23	0,8325
Error	3152,83	
Total		

El análisis de varianza para el rendimiento del cultivo de fresa indica que no existe diferencias estadísticas para los factores granulometría de biocarbón (p = 0.8869) e interacción tensión de humedad - biocarbón (p = 0.8325); pero presenta diferencia significativa en el factor tensión de humedad (p = 0.0042). El coeficiente de variación fue de 7.9% considerado como aceptable. (Cuadro 15)

Cuadro 16. Promedio y Prueba de Tukey al 5 % para rendimientos kg planta-1 en el cultivo de fresa.

Tratamientos (kPa)	Rendimiento (kg/planta)	Diferencias significativas
10 a 15	1,13	A
10 a 25	0,88	B
10 a 35	0,83	B

El rendimiento del T1 es estadísticamente diferente al T3. El mayor rendimiento corresponde ala tensión de humedad 10 – 15 kPa con 1.13 kg planta^{-1}, mientras que el

valor más bajo fue el de la tensión de humedad de 10 – 35 kPa con 0.83kg planta^{-1}, existiendo un incremento de 0.3 kg equivalente al 36.1 % (Cuadro 16). El incremento del rendimiento se debió a la aplicación de un mayor número de riegos mismos que fueron de menor lámina, lo que mejora la eficiencia del uso de agua de riego y se producen menos pérdidas por percolación profunda, puesto que la mayor absorción del sistema radicular de la fresa es en los primeros 20 cm de profundidad (Sudzuky, 1985). Esto se atribuye a que las plantas sufren menos estrés hídrico al tener un menor intervalo entre riegos; es decir que el cultivo de fresa presento una mejor respuesta cuando el suelo permaneció con una humedad equivalente a capacidad de campo.

Además se debe a que la planta deberá realizar un mayor esfuerzo para tomar el agua a un mayor valor de tensión de humedad.

Se puede corroborar con valores reportados por Zermeño *et al.,* (2007) en el cultivo de limón italiano, en donde aseveran que la programación del riego a una tensión de 30 kPa incrementa el rendimiento hasta en 4 t ha^{-1} con relación a una tensión de 70 kPa.

De la misma manera Chávez *et al.,* (2013) probaron que la interacción entre acolchado negro y una lámina alta (107 mm) en el cultivo de fresa presento un incremento en el rendimiento del 55 %, con relación a una lámina baja (71.2 mm) y el mismo tipo de acolchado. Así como Solis(2011) probó tres láminas de riego (L1 125 % = 4.9 mm; L2 100 % = 3. 9 mm; L3 75 % = 2.9 mm)con dos frecuencias de fertirriego (FI = cada 24 horas; F2 = cada 6 horas), en donde L1F1 obtuvo el mejor rendimiento de 887 Kg ha^{-1} de fruta.

Así mismo como la influencia de las propiedades físicas del suelos que pasaron de una Capacidad de aireación Bajo a Alto con la aplicación del biocarbón la cual no tuvo mucha significancia

4.3.2. Costos de producción

El costo de producción por tratamiento se evaluó en 104.9 dólares, para un área de 21.4 m^2. Para una población de 140 plantas de fresa, durante cinco meses de duración del ensayo (Cuadro 17). Los costos de producción detallados se adjuntan en el anexo 8.

Cuadro 17. Cuadro resumen de los costos de producción en el cultivo de fresa, Estación experimental la Argelia. 2013

COSTOS DE PRODUCCIÓN	
Rubro	**USD/invernadero**
Costos de depreciación	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**

4.3.3. Costos Variables

Cuadro 18. Costos variables por tratamiento en el cultivo de fresa, Estación Experimental la Argelia. 2014.

COSTOS VARIABLES								
	Biocarbón			Láminas				TOTAL
Tra	**Costo carbón**	**Costo de aplicación**	**Subtotal**	**Láminas**	**Volum en**	**Costo m^{-3}**	**Subtotal**	
	USD	**USD**	**USD**	**mm**	**m^3**	**USD**	**USD**	**USD**
T1	10,3	3	13,3	140,62	6,02	0,16	0,96	14,26
T2	10,3	3	13,3	127,37	5,45	0,16	0,87	14,17
T3	10,3	3	13,3	122,06	5,22	0,16	0,84	14,14
T4	8,1	3	11,1	183,67	7,86	0,16	1,26	12,36
T5	8,1	3	11,1	120,65	5,16	0,16	0,83	11,93
T6	8,1	3	11,1	87,55	3,75	0,16	0,60	11,70
T7	0	0	0	162,37	6,95	0,16	1,11	1,11
T8	0	0	0	148,51	6,36	0,16	1,02	1,02
T9	0	0	0	127,36	5,45	0,16	0,87	0,87

Adicional a los costos de producción se tomó en cuenta las variables biocarbón y láminas para cada tratamiento, es decir que en los testigos no hubo costo de biocarbón por ende el costo variable fue menor, mientras que en los que se adiciono biocarbón sus costos incrementaron (Cuadro 18).

4.3.4. Ingreso bruto por tratamiento

Cuadro 19. Ingreso bruto / tratamiento en el cultivo de fresa, Estación Experimental la Argelia. 2014

Ingresos					
Trat	**# plantas**	**Rendimiento kg planta^{-1}**	**Rendimiento kg tratamiento^{-1}**	**Precio kg^{-1} $**	**Total $**
T1	140	1,10	154,32	1,32	203,70
T2	140	0,89	123,94	1,32	163,59
T3	140	0,87	122,08	1,32	161,15
T4	140	1,18	164,78	1,32	217,51
T5	140	0,82	114,94	1,32	151,72
T6	140	0,77	107,24	1,32	141,56
T7	140	1,11	156,03	1,32	205,96
T8	140	0,94	131,74	1,32	173,90
T9	140	0,86	120,79	1,32	159,44

El mayor ingreso se registró en el tratamiento T4 (> 2 mm - < 4.5mm de biocrabón y 10 – 15 kPa) con $ 217,5 y el de menor ingreso fue el T6 (> 2 mm - < 4.5mm de biocrabón y 10 – 35 kPa) con $ 141.6. (Cuadro 20)

4.3.5. Beneficio neto y análisis de dominancia

Cuadro 20. Beneficio neto/tratamiento y análisis de dominancia en el cultivo de fresa, Estación experimental la Argelia. 2014.

Beneficio neto y Análisis de dominancia				
Tratamiento	**Costo /T**	**Ingreso Bruto**	**Beneficio Neto**	**Análisis de dominancia**

	USD	USD	USD	
T9	105,77	159,44	53,67	
T8	105,92	173,90	67,98	
T7	106,01	205,96	99,95	
T6	116,60	141,56	24,96	D
T5	116,83	151,72	34,89	D
T4	117,26	217,51	100,25	
T3	119,04	161,15	42,11	D
T2	119,07	163,59	44,52	D
T1	119,16	203,70	84,54	D

4.3.6. Tasa Marginal de Retorno

Cuadro 21. Tasa Marginal de Retorno en el cultivo de fresa, Estación experimental la Argelia. 2014.

Tasa de Marginal de retorno					
Tratamiento	**Costo /T**	**Costo marginal/T**	**Beneficio Neto/T**	**Beneficio Neto Marginal**	**Tasa Marginal de Retorno**
	USD	**USD**	**USD**	**USD**	**%**
T7	106,01		95,79		
T4	117,26	11,25	100,25	4,46	40

La Tasa Marginal de Retorno es del 40%, significa que por cada dólar invertido, se recupera 1 dólar y se obtiene una ganancia de $ 0.4

5. CONCLUSIONES

- La aplicación de biocarbón en una dosis de 2 kg m^{-2} con granulometrías de < 2 mm y de 2.1 a 4.5 mm, modificaron las propiedades físicas tanto de la densidad aparente como de los macroporos del suelo.

- La aplicación del biocarbón modificó la conductividad eléctrica pasando de 0.68 mmhos cm^{-1} a 2.67 mmhos cm^{-1}; el contenido de materia orgánica pasó del rango medio a alto; la capacidad de intercambio catiónico se matuvo en el rango medio; y, los contenidos de nitrógeno, fosforo y potasio en el rango alto.

- Estadísticamente no existió diferencia significativa en los rendimientos a las diferentes granulometrías de biocarbón.

- En la aplicación del agua de riego la tensión de humedad de 10 a 15 kPa se obtuvó el mayor rendimiento de fresa en 1.13 kg $planta^{-1}$, con un incremento del 36.14 % frente a la tensión de 10 a 35 kPa.

- En el tratamiento con 4.5 mm de biocarbón y una tensión de humedad de 10 – 15 kPa, se obtuvo la Tasa Marginal de Retorno del 40 %.

6. RECOMENDACIONES

- Continuar con el monitoreo de las condiciones físicas del suelo bajo la influencia del biocarbón en otros cultivos..

- En los sistemas de riego de la hoya de Loja se recomienda programar el riego en función del potencial matricial, ya que de esta manera se hace un adecuado uso del agua y se evitara problemas como la lixiviación de nutrientes por el exceso de agua; o a su vez la obtención de rendimiento bajos debidos al déficit hídricos en los cultivos.

- La Universidad Nacional de Loja, deberá difundir de una forma más amplia y directa, a través de días de campo, mesas redondas, simposios y conferencias, los resultados que viene obteniendo, con la finalidad de que sea aprovechados por los invernaderístas y pequeños productores de la zona.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. Alsina Grau, L., 1984. *Cultivo de fresas y fresones*. 3 ed. Barcelona, Sintes. 156 p.

2. Biblioteca de la Agricultura, LEXUS. 1992. *Técnicas Agrícolas en cultivos extensivos. Labores pre culturales.* Editorial Progreso. Madrid, España. 462-464 p.

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

4. Calvache, M., 2008. *Manejo del agua: Principios Fundamentales 28*. Quito, Ecuador: Sociedad ecuatoriana de la ciencia del suelo.

5. CIMMYT. 1988. *La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica*. Edición completamente revisada. México D.F., México: CIMMYT.

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

7. CORPEI. 2010. *El cultivo de la fresa*. La producción. En línea. Disponible en www.corpei.org.ec.

8. Chávez, A., Lasso, Z., Ruiz, H., Benavides, O., 2013. *Efecto de dos cobertores plásticos y tres láminas de agua en el cultivo de fresa*. Revista de ciencias agrícolas, 26 – 37.

9. De Laat, P., 2001. *Soil – wáter – plant relations*. Lectura notes MSc course in Land and water Development. IHE. Delft, TheNetherlands.

10. Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., González, L., Tablada, M., y Robledo, C., (2008) InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdova, Argentina.

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

12. Enciclopedia Práctica de la Agricultura y Ganadería. 1999. Barcelona, Océano. 1 032 p.

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

14. 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.

15. Folquer, F., 1986. *La frutilla o fresa*. Estudio de la planta y su producción comercial. 1ed. Argentina, Hemisferio Sur. 184 p.

16. Fujita, I.,Tomooka, J.,Sugimura, T., 1991. *Sorption of anionic surfactants with Wood charcoal*. Bull ChemSocJpn 64: 738 – 740.

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

18. Glaser, B., Lehmann, J., Zech, W., (2002). *Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review. Biology and Fertility of Soils:* 35: 219 – 230.

19. 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.

20. González, V., 2010. *Conservación de Mora, Uvilla y Fresa, mediante la utilización de aceite de canela*. Escuela Politécnica Superior de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Tesis Riobamba – Ecuador.

21. Goyal, M., 2007. *Manejo de riego por goteo*, 2a ed. Puerto Rico: 141 p.

22. Hoffman, G., 1983. *Desing and operation of farm Irrigation Systems*. Salinity in IrrigatesAgriculture. *ASAE Monograph*. Michigan, USA.

23. INFOAGRO. (2013). El cultivo de fresa. Consultado el 30 de Julio de 2014, disponible en www.infoagro.com/frutas/frutas_tradicionales/fresas.htm

24. Ingeniería Agrícola. 2001. *Importancia estratégica como base fundamental para la autosuficiencia y como base de la riqueza de las naciones*. Lima: Universidad Nacional La Molina, 78 p.

25. Iñiguez, M., 2005. *Fertilidad, Fertilizantes y fertilizantes y fertilización del suelo*. 1 ed. Loja – Ecuador.

26. 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.

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

28. Juscafresa, B., 1983. *Como cultivar fresas y fresones*. Ed. Aedos. Tercera edición. Barcelona, España. 122-132 p.

29. Juscafresa, B., 1983. *Métodos de riego en cultivos de fresa*. Madrid, España. 136 - 139 p.

30. Kleineidam, S.,Rugner, H.,Ligous, B.,Grarhwohl, P., 1999. *Organic matter facies and equilibrium sorption of phenanthrene*. Environ Sci tech 33: 1637 – 1644.

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

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

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

34. Ma, Y., Li, S., Wang, Z., 1979. *Effect of weathered coal on the colloidal property of soil (in Japanese)*. Tu jangHsuech Pao 16: 22 – 28.

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

36. Marcelo, M., 1999. *Cultivo de Fresa*. Dirección General de Investigación Agraria. ¨Programa Nacional de Investigación de Hortalizas. Estación Experimental Donosos. Lima, PE. 49 p.

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

38. 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.

39. Méndez, J., Calero Rodríguez, J., Barrón López de la torre, V., TorrentCastellet, 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.

40. Mendoza, E., 2002. *Técnicas para corregir acidez de los suelos*. Ed. Aedos. 2 ed. Barcelona, España. 97-105 p.

41. Mohan, S.,Karthideyan, J. 1997. *Removal of lignin and tannin color from aqueous solution by adsorption onto activated charcoal*. EnrivonPollut 97: 183 – 187.

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

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

44. Ortiz, R., 2008. *Hidroponía en el suelo*. 1a.ed. Quito: Ed. Ebya – Yala, 165p.

45. Perrin, R., 1976. *Programa de economía. Manual metodológico de evaluación económica. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos*. México 79p.

46. Pizarro, F., 1990. *Riegos localizados de alta frecuencia*. Madrid: 2ed. Mundiprensa, 471 p.

47. Proexant. 2004. Manual de la frutilla. Consultado 30 de Junio de 2014. Disponible en: http://www.proexant.com/frutas/frutas_tradicionales/fresa.htm.

48. 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.

49. Segarra, G.,y Lozano, Y., 1998. *Uso consuntivo del tomate de árbol (Cyphomandrabetacea L,) con diferentes tensiones de humedad y niveles de fertilización bajo riego por microasperciónen la Estación Experimental La Argelia.* Universidad Nacional de Loja. Tesis Loja – Ecuador.

50. Shafizadeh, F.,Sekiguchi, Y., 1983. *Development of aromaticity in cellulosic chars*. Carbon 21: 511 – 516.

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

52. Solis, M., 2011. *Evaluación de tres láminas y dos frecuencias de fertirriego, aplicadas por el método de goteo localizado en el cultivo de fresa (fragaria vesca) en la provincia de Tungurahua.* Tesis Ambato – Ecuador.

53. Sombroek, W.,Nachtergaele, F.,Hevel, A., 1993. *Amounts, dynamics and sequestering of carbon in tropical and subtropical soil*. Ambio 22: 417 – 426.

54. Sudzuky, H., 1985. *Cultivo de fresas menores*. 2a. Ed. Santiago de Chile, Ed. Universitaria, 184p.

55. Valarezo, C.,Iñiguez, A.,Valarezo, L., Guaya, P., 1998. *Condiciones físicas de los suelos de la región sur del Ecuador: una guía para proyectos de riego, drenaje, manejo y conservación de suelos.* Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador. 227 p.

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

57. Villamagua, M., Loaiza, E., Arteaga, N., 2008. *Efecto del carbón vegetal en la propiedades físicas – químicas del suelo en el cultivo del tomate (solanumlycopersicum L.) bajo invernadero.* Universidad Nacional de Loja. Revista Científica. Volumen 8, abril 2008. P 85 – 100.

58. Villamagua, M., Valarezo, L., 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 (Solanumlycopersicum L.) bajo invernadero*. Universidad Nacional de Loja. Revista CEDAMAZ (03). pp. 93 – 103.

59. Zermeño, A., García, M., Castro, I.,Rodriguez, H., 2007. *Potencial matricial del suelo y rendimiento del fruto en limón italiano*. Revista Fitotecnia Mexicana, 295 – 303.

8. ANEXOS

Anexo 1. Análisis químicos de suelos

AGROCALIDAD
AGENCIA ECUATORIANA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO

LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS

INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO No. 587

Vía Interoceánica Km 14, Granja del MAGAP, Tumbaco - Teléfono 2372-844 - Telefax 2372-845

Hoja 2 de 2

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS - REGIÓN SIERRA

PARÁMETRO	MO (%)	N (%)	P (ppm)	K (cmol/Kg)	Ca (cmol/Kg)	Mg (cmol/Kg)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)
BAJO	< 1.0	0 - 0.15	0 - 10	< 0.2	< 1	< 0.33	0 - 20	0 - 5	0 - 1	0 - 3
MEDIO	1 - 2.0	0.16 - 0.3	11 - 20	0.2 - 0.38	1.0 - 3.0	0.34 - 0.66	21 - 40	6 - 15	1.1 - 4	3.1 - 6
ALTO	>2.0	> 0.31	> 21	> 0.4	> 3	>0.66	> 41	> 16	> 4.1	> 6.1

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS - REGIÓN COSTA Y SIERRA

	Acido	Ligeramente Acido	Prácticamente Neutro	Ligeramente Alcalino	Alcalino
pH	5,5	5.6 - 6.4	6.5 - 7.5	7.6 - 8.0	8,1

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS - REGIÓN COSTA Y SIERRA

	NO SALINO (NS)	Ligeramente SALINO (LS)	SALINO (S)	MUY SALINO (MS)
CE* (ds/m)	< 2.0	2.0 – 3.0	3.0 – 4.0	4.0 – 8.0

AGROCALIDAD
AGENCIA ECUATORIANA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO
LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS
TUMBACO - ECUADOR
Ing. Rusbel Jaramillo Chamba
RESPONSABLE TÉCNICO

- Los resultados analíticos presentes en este informe corresponden exclusivamente a la muestra enviada por el cliente al laboratorio.
- Este informe puede reproducirse únicamente en su totalidad

Anexo 2. Análisis de conductividad eléctrica

AGROCALIDAD
AGENCIA ECUATORIANA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO

LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS

INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO No. 122

Vía Interoceánica Km 14, Granja del MAGAP, Tumbaco - Teléfono 2372-844 - Telefax 2372-845

Hoja 1 de 2

Fecha del informe: 16-Abril-2014

Remitente de la(s) muestra(s): Jimmy Villalta
Propietario de la(s) muestra(s): Jimmy Villalta
Número Telefónico: 0969900264
Email: jimmyjavier2012@hotmail.es
No. Factura: 14913

Fecha de ingreso de la(s) muestra(s): 02-Abril-2014
Nombre de la finca o terreno / Parroquia: El Sagrario
Cantón: Loja
Provincia: Loja

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

Método aplicado		Cond.*
No. LAB.	Nombre de la Muestra	CE* (ds/m)
416	S1	2.490
417	S2	3.400
418	S3	2.390

***Cond.:** Conductimétrico; **CE:** Conductividad eléctrica

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS - REGIÓN COSTA Y SIERRA

	NO SALINO (NS)	Ligeramente SALINO (LS)	SALINO (S)	MUY SALINO (MS)
CE* (ds/m)	< 2.0	2.0 – 3.0	3.0 – 4.0	4.0 – 8.0

AGROCALIDAD
AGENCIA ECUATORIANA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO
LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS
TUMBACO - ECUADOR
Ing. Rusbel Jaramillo Chamba
RESPONSABLE TÉCNICO

OBSERVACIONES: Los resultados se expresan en base seca.

- Los resultados analíticos presentes en este informe corresponden exclusivamente a la muestra enviada por el cliente al laboratorio.
- Este informe puede reproducirse únicamente en su totalidad

Anexo 3. Análisis foliar

AGROCALIDAD AGENCIA ECUATORIANA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO	LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS **INFORME DE ANÁLISIS FOLIAR No. 19** Vía Interoceánica Km 14, Granja del MAGAP, Tumbaco Teléfono 2372-844 - Telefax 2372-845	Hoja 1 de 1

Fecha del informe: 23/Abril/2014

DATOS DEL CLIENTE:

Remitente de la(s) muestra(s): Coordinación AGROCALIDAD Loja
Propietario de la(s) muestra(s): Jimmy Villalta
Número Telefónico: 0969900264
Email: jimmyjavier2012@hotmail.es
No. Factura: 14913

Fecha de ingreso de la(s) muestra(s): 02/04/2014
Parroquia / Finca: El Sagrario
Cantón: Loja
Provincia: Loja

DATOS DE LA (S) MUESTRA(S):
Se entregó al Laboratorio 1 muestra de hojas recibidas en buen estado para el análisis foliar.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

Método aplicado		Grav.*		Kj.*	Col.*	AA*						
No. de Lab.	Nombre de la muestra	Cz* (%)	MO* (%)	N* (%)	P* (%)	K* (%)	Ca* (%)	Mg* (%)	Fe* (ppm)	Mn* (ppm)	Cu* (ppm)	Zn* (ppm)
50	# 1	13.23	86.77	2.35	0.37	1.51	0.91	0.31	435.83	48.40	9.58	15.07

* **Grav.:** Gravimétrico; **Kj.:** Kjeldahl; **Col.:** Colorimétrico; **AA:** Absorción atómica; **Cz:** Cenizas; **MO:** Materia orgánica; **N:** Nitrógeno total; **P:** Fósforo total; **K:** Potasio total; **Ca:** Calcio; **Mg:** Magnesio; **Fe:** Hierro; **Mn:** Manganeso; **Cu:** Cobre y **Zn:** Zinc.

AGROCALIDAD
AGENCIA ECUATORIANA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO
LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS
TUMBACO - ECUADOR

Ing. Rusbel Jaramillo Chamba
RESPONSABLE TÉCNICO

OBSERVACIONES:
- Los resultados se expresan en base seca.

- Los resultados analíticos presentes en este informe corresponden exclusivamente a la muestra enviada por el cliente al laboratorio.
- Este informe puede reproducirse únicamente en su totalidad

Anexo 4. Análisis de constantes hidrofísicas

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

LASAB

Provincia:	Loja	**FECHA DE INGRESO:**	19 de Mayo de 2014
Cantón:	Loja	**FECHA DE EGRESO:**	02 de Junio de 2014
Parroquia:	San Sebastián	**RESPONSABLE:**	Egdo. Jimmy Villalta -Egda. Diana Quezada
Sector:	Quinta Experimental La Argelia		

1. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE CONSTANTES HIDROFÍSICAS

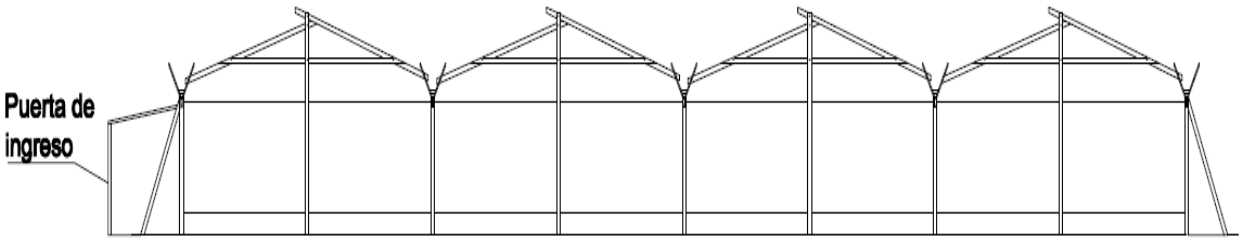
Código de Laboratorio	Código de Campo	Saturación	Capacidad de Campo 1/10 atm.	Capacidad de Campo 1/3 atm.	Densidad Aparente (g/cm³)
		(% peso)			
537	B1T4	40,08	30,83	28,05	1,29
538	B1T3	35,51	28,56	25,77	1,31
539	B1T1	37,32	26,12	23,31	1,27
540	B1T2	40,19	29,03	26,25	1,22
541	B1T6	38,74	29,67	26,89	1,25
542	B1T7	32,40	28,01	25,22	1,39
543	B1T9	34,59	28,10	25,31	1,31
544	B1T5	36,49	29,29	26,51	1,29
545	B1T8	34,34	25,81	23,00	1,36
546	B2T3	38,62	27,27	24,47	1,23
547	B2T8	40,19	26,92	24,12	1,24
548	B2T1	46,74	23,34	20,52	1,12
549	B2T9	37,39	25,20	22,38	1,23
550	B2T4	55,37	28,99	26,20	1,15
551	B2T7	40,92	29,71	26,92	1,30
552	B2T6	38,63	28,81	26,02	1,25
553	B2T5	40,49	25,58	22,76	1,23
554	B2T2	44,69	26,10	23,30	1,16
555	B3T5	37,27	27,94	25,15	1,27
556	B3T1	39,93	27,49	24,70	1,23
557	B3T2	38,30	28,46	25,67	1,26
558	B3T7	34,47	28,61	25,82	1,38
559	B3T3	40,11	33,41	30,65	1,27
560	B3T8	31,98	29,26	26,47	1,31
561	B3T6	36,81	28,36	25,57	1,29
562	B3T9	33,15	21,86	19,03	1,34
563	B3T4	46,21	29,12	26,34	1,22
564	C1	26,92	20,84	17,99	1,53
565	C1	27,33	23,85	21,03	1,51

1.2 CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO (% VOLUMEN)

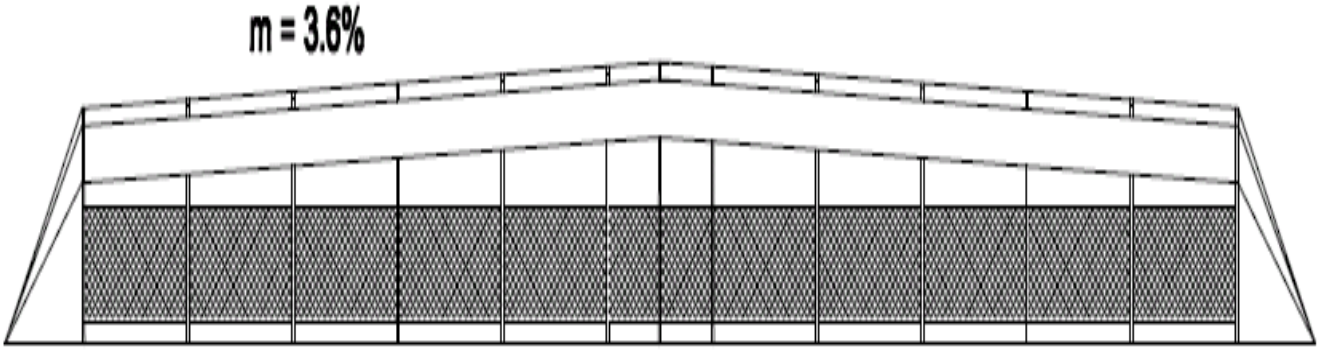
Código de Laboratorio	Código de Campo	pf 0	pf 2	pf 2,52
537	B1T4	51,50	39,62	36,05
538	B1T3	46,50	37,40	33,75
539	B1T1	47,55	33,28	29,70
540	B1T2	49,15	35,51	32,10
541	B1T6	48,40	37,08	33,60
542	B1T7	45,10	38,99	35,10
543	B1T9	45,25	36,75	33,10
544	B1T5	47,15	37,85	34,25
545	B1T8	46,80	35,18	31,35
546	B2T3	47,50	33,54	30,10
547	B2T8	50,00	33,49	30,00
548	B2T1	52,40	26,17	23,00
549	B2T9	46,10	31,07	27,60
550	B2T4	63,40	33,19	30,00
551	B2T7	53,20	38,62	35,00
552	B2T6	48,10	35,87	32,40
553	B2T5	49,80	31,46	28,00
554	B2T2	51,80	30,25	27,00
555	B3T5	47,50	35,61	32,05
556	B3T1	49,15	33,84	30,40
557	B3T2	48,20	35,81	32,30
558	B3T7	47,65	39,56	35,70
559	B3T3	50,90	42,40	38,90
560	B3T8	41,80	38,24	34,60
561	B3T6	47,65	36,71	33,10
562	B3T9	44,25	29,19	25,40
563	B3T4	56,15	35,39	32,00
564	C1	41,30	31,96	27,60
565	C1	41,20	35,96	31,70

Ing. Omar Ojeda Ochoa Mg. Sc
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Anexo 5. Invernadero de la Universidad Nacional de Loja.

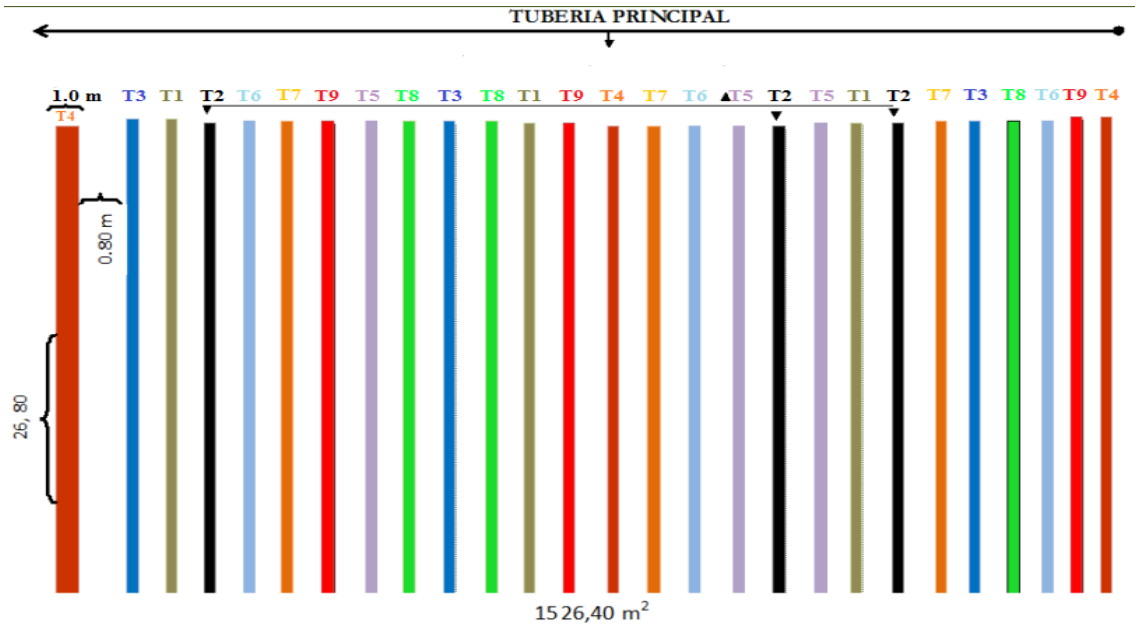


FACHADA FRONTAL



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.

Cuadro 22. Cálculo de la fertilización base para el cultivo de fresa

	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn	Cu	B
					Kg m^{-2}					
1. Requerimiento cultivo	31,1	15,5	54,4	18,6	15,5	1,1	0,1	0,3	0,0	2,3
2. Análisis del suelo	10,4	64,4	47,3	251,9	17,1	72,6	1,2	1,4	1,4	0,0
3. Necesidad E Nutrientes	37,4	-33,4	30,4	-220,8	5,1	-70,8	-1,0	-0,9	-1,4	3,9
% fertilización base	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Fertilización base	11,2	-10,0	9,1	-66,2	1,5	-21,2	-0,3	-0,3	-0,4	1,2
Eficiencia fertilización base	0,7	0,5	0,7	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Fertirriego	26,2	-23,4	21,3	-154,6	3,6	-49,5	-0,7	-0,6	-1,0	2,7
	N	**P205**	**K20**	**CaO**	**MgO**	**Fe2O3**	**Zn**	**Mn**	**Cu**	**B**
Fertilización base	11,2	-22,9	10,9	-92,7	2,5	-30,4	-0,3	-0,3	-0,4	1,2

Cuadro 23. Cantidad a aplicar de fertilizante

Fertilizante	**kg Invernadero^{-1}**	**kg cama-1**
Sulfato de amonio	53.4	1.84
Sulpomag	49.7	1.71
Óxido de Zinc	2.0	0
Sulfato de manganeso	2.0	0
Sulfato de cobre	2.0	0
Borax	10.6	0.37
TOTAL	**119.77**	**3.92**

Anexo 8. Curvas de calibración en base a masa, en el lugar de ensayo

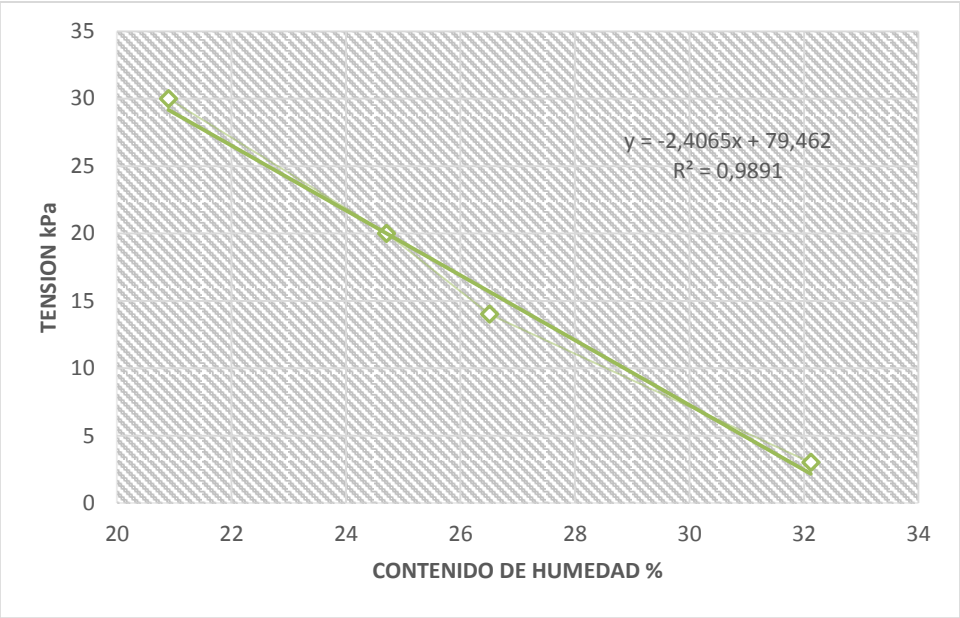


Figura 9. Curva de calibración del tratamiento 1

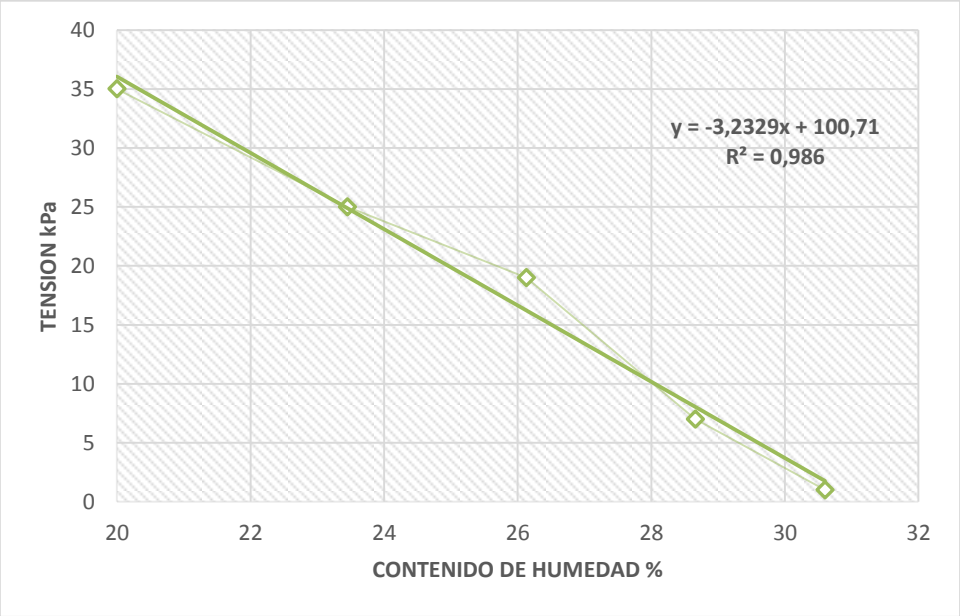


Figura 10. Curva de calibración del tratamiento 2

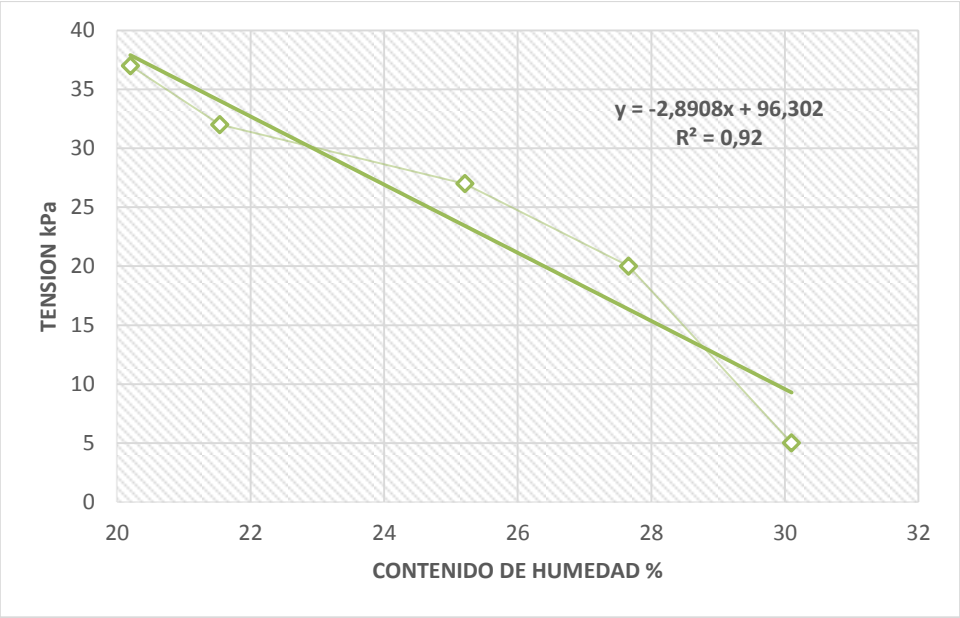


Figura 11. Curva de calibración del tratamiento 3

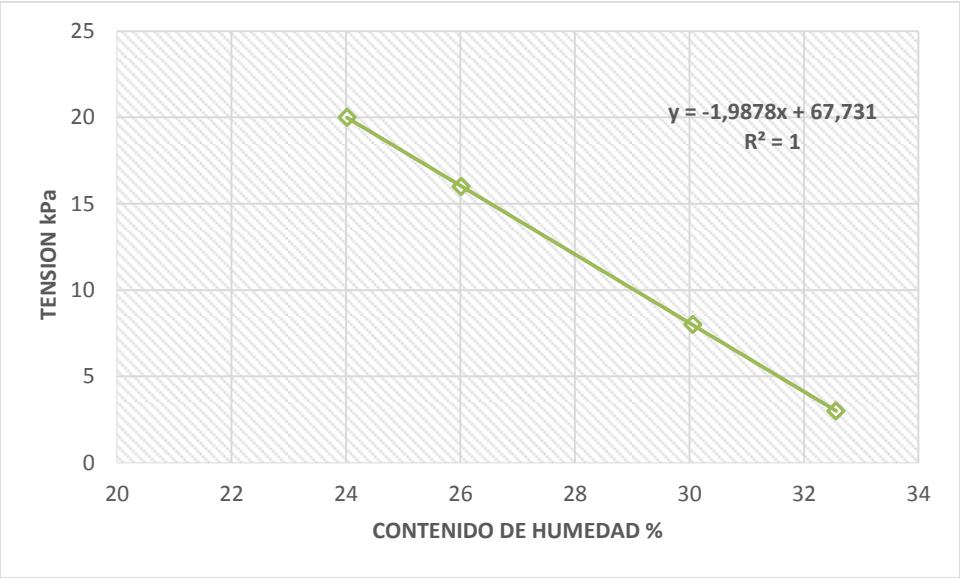


Figura 12. Curva de calibración del tratamiento 4

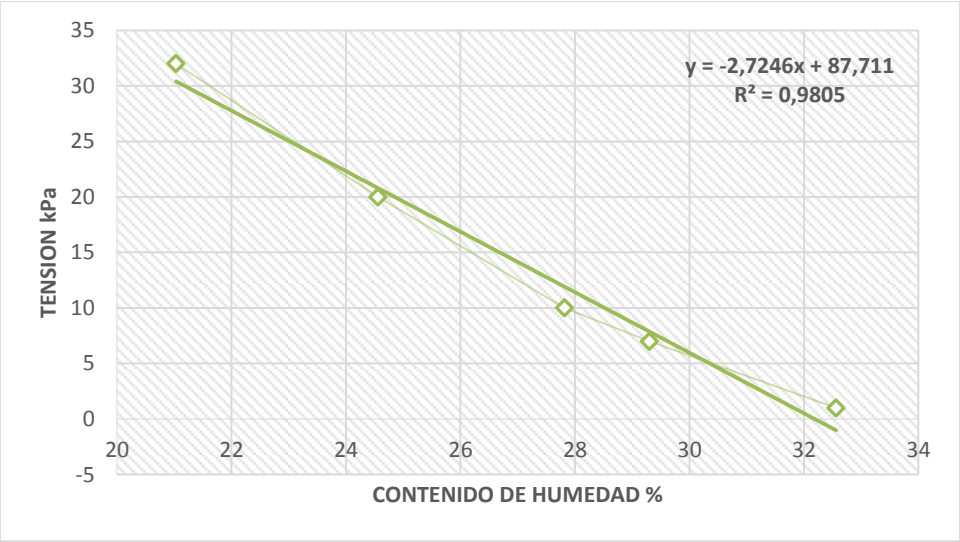


Figura 13. Curva de calibración del tratamiento 5

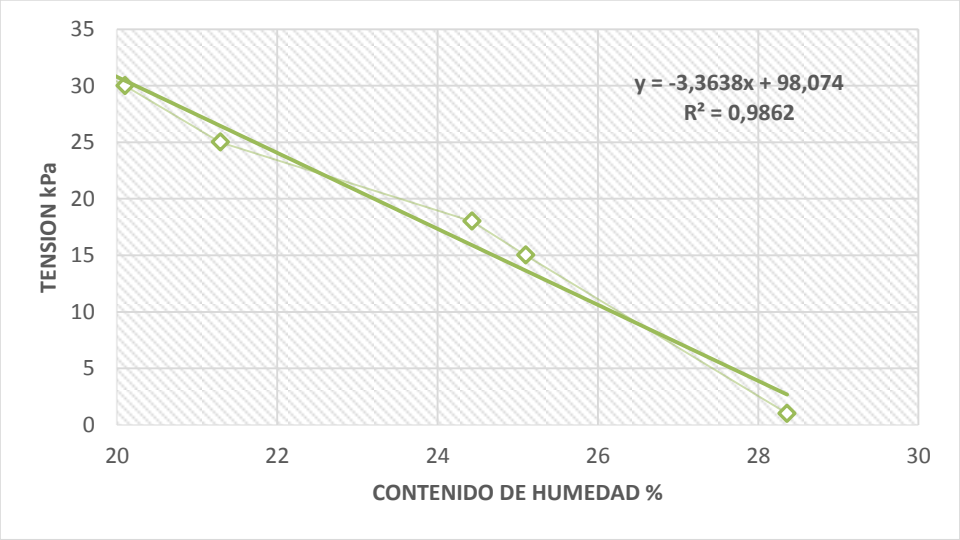


Figura 14. Curva de calibración del tratamiento 6

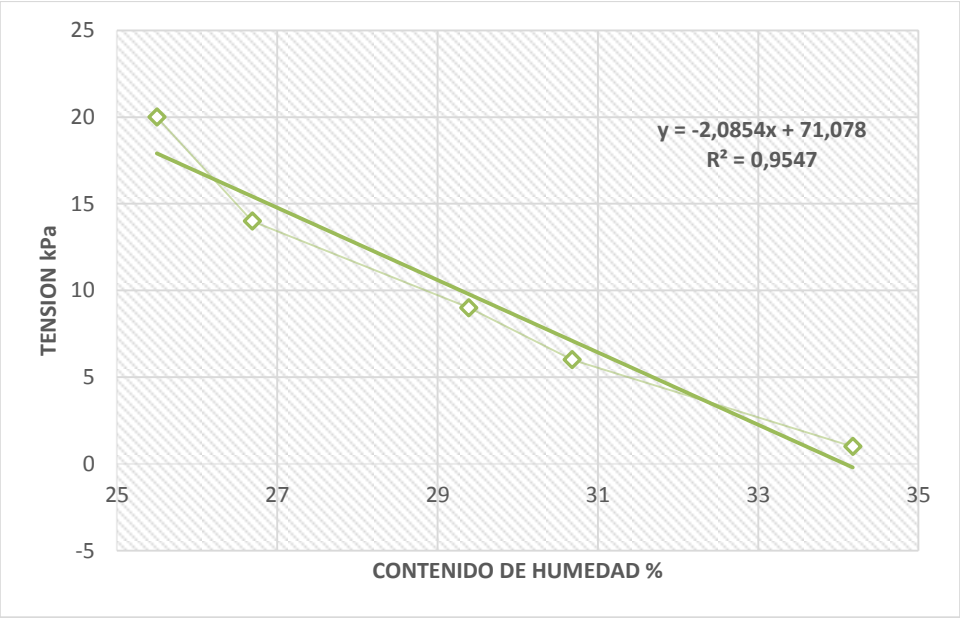


Figura 15. Curva de calibración del tratamiento 7

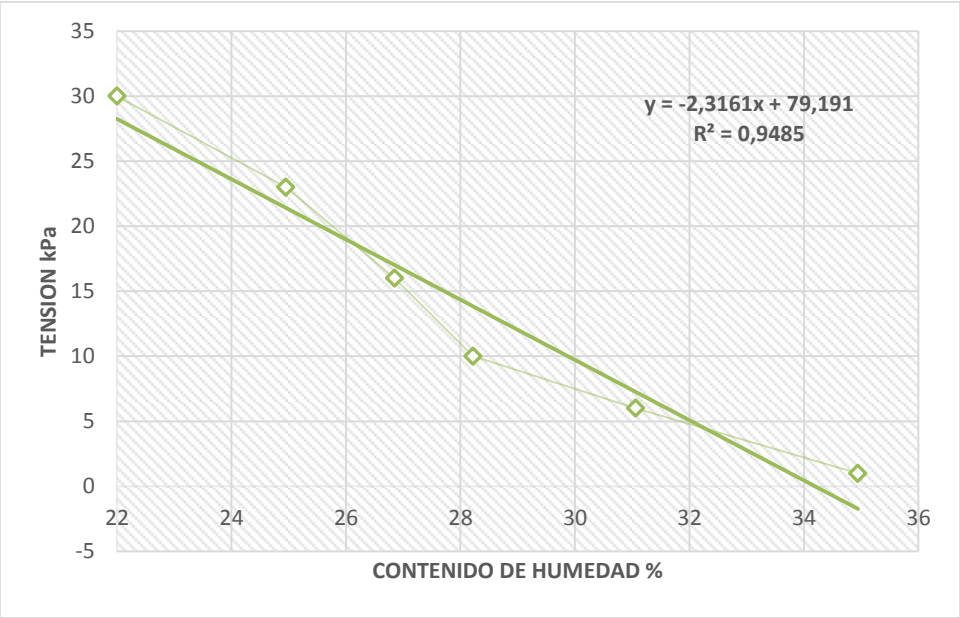


Figura 16. Curva de calibración del tratamiento 8

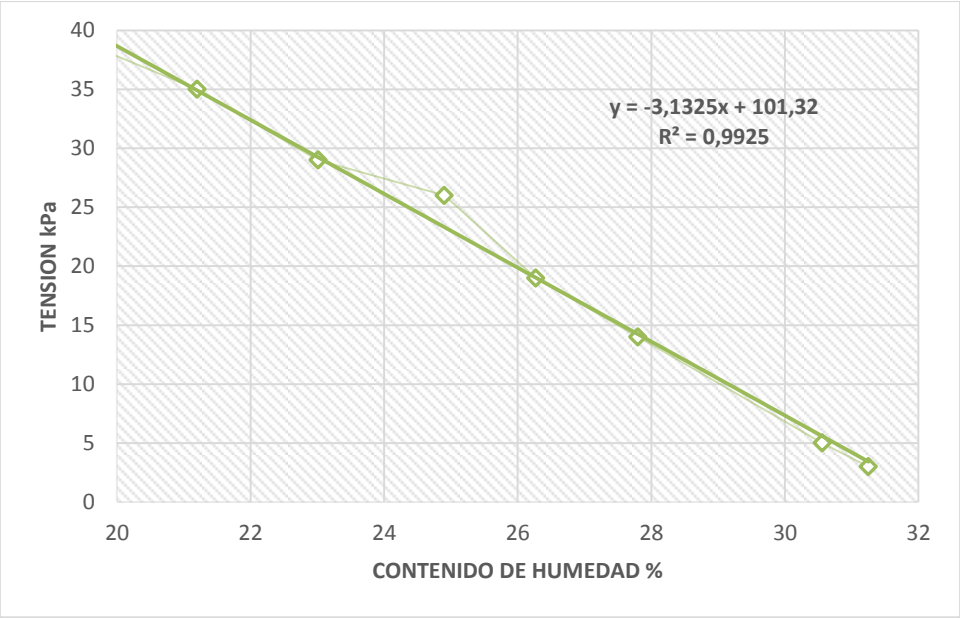


Figura 17. Curva de calibración del tratamiento 9

Anexo 9. Costo de producción sin carbón, bajo invernadero, Loja 2013

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 10. Tríptico diseñado para el día de campo, La Argelia, Junio 2014

El mayor rendimiento con 374,58g/planta corresponde a la tensión de humedad del suelo de 10 – 15 Kpa.

CONSUMO MENSUAL DE AGUA EN EL CULTIVO DE FRESA.

Meses	TRATAMIENTOS 10 - 15 Kpa L (mm)	NR	10 - 25 Kpa L (mm)	NR	10 - 35 Kpa L (mm)	NR
ENE	28,0	14	26,5	9	18,5	4
FEB	32,6	15	22,0	9	18,5	4
MAR	34,2	16	27,4	10	23,5	6
ABR	35,8	16	28,3	9	27,5	5
MAY	32,4	16	27,0	8	26,0	6
TOTAL	162,8	77	131,3	45	114,0	25

NR: numero de riegos; 162,8 mm es la lámina mayor que se consumió durante los 5 meses con la tensión de (10 – 15 Kpa).

ANALISIS ECONOMICO

Tasa de Retorno Marginal

Tratamiento	Costo /T USD	Costos marginales /T USD	Beneficio Neto/T USD	Beneficio Neto Marginales USD	Tasa de Retorno Marginal %
T7	106,0		95,8		
T4	117,3	11,3	100,3	4,5	40

Los valores obtenidos en la Tasa marginal de retorno significan que por cada dólar invertido, se obtendrá un rendimiento de 1,40 dólares, es decir que recuperara la inversión y además obtendrá un beneficio del 40 %.

5. CONCLUSIÓN

- La capacidad de aireación en los sustratos (2mm de biocarbón) y (4,5 mm de biocarbón) pasaron de bajo a alto.
- El rango de tensión de 10 – 15 Kpa obtuvo el mejor rendimiento (374,58 g/planta), mientras que el valor más bajo fue en el rango de 10 – 35 Kpa (277,56 g/planta).
- El consumo de agua es de 1,1 mm/día.
- En el tratamiento 4 (4,5 mm de biocarbón) y tensión de humedad de 10 – 15 Kpa la tasa marginal de retorno es del 40 %.

6. ACTIVIDADES REALIZADAS

COLOCACION DE TENSIOMETROS

COSECHA Y COMERCIALIZACION

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

CARRERA DE INGENIERIA AGRICOLA

PROYECTO

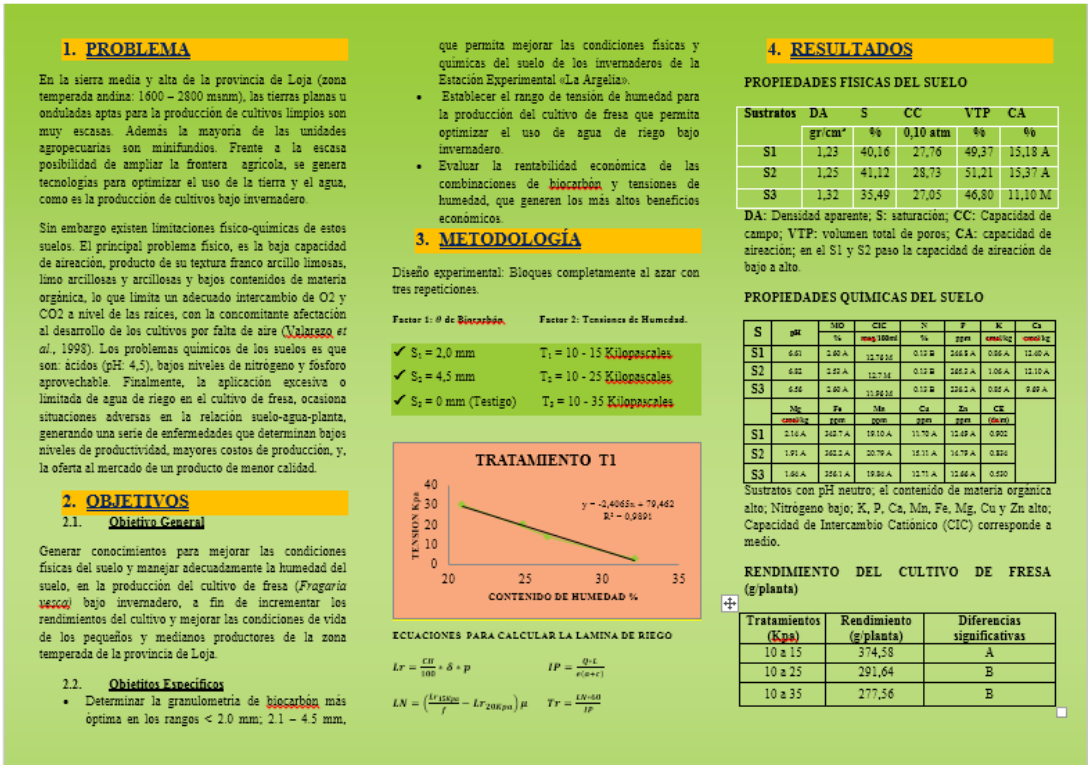
"Efecto de las diferentes granulometrías de carbón vegetal y tensiones de humedad en el cultivo de fresa (*Fragaria sesca*) bajo invernadero en la estación experimental La Argelia." Fase II

EQUIPO DE INVESTIGACIÓN:

Ing. Miguel Villamagua Director.
Egdo. Jimmy Villalta Vaca Tesista.
Egda. Diana Quezada González Tesista.

LOJA – ECUADOR

2014



1. PROBLEMA

En la sierra media y alta de la provincia de Loja (zona temperada andina: 1600 – 2800 msnm), las tierras planas u onduladas aptas para la producción de cultivos limpios son muy escasas. 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 el agua, como es la producción de cultivos bajo invernadero.

Sin embargo existen limitaciones físico-químicas de estos suelos. El principal problema físico, es la baja capacidad de aireación, producto de su textura franco arcillo limosas, limo arcillosas y arcillosas y bajos contenidos de materia orgánica, lo que limita un adecuado intercambio de O2 y CO2 a nivel de las raíces, con la concomitante afectación al desarrollo de los cultivos por falta de aire (Valarezo *et al.*, 1998). Los problemas químicos de los suelos es que son: ácidos (pH: 4,5), bajos niveles de nitrógeno y fósforo aprovechable. Finalmente, la aplicación excesiva o limitada de agua de riego en el cultivo de fresa, ocasiona situaciones adversas en la relación suelo-agua-planta, generando una serie de enfermedades que determinan bajos niveles de productividad, mayores costos de producción, y, la oferta al mercado de un producto de menor calidad.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Generar conocimientos para mejorar las condiciones físicas del suelo y manejar adecuadamente la humedad del suelo, en la producción del cultivo de fresa (*Fragaria vesca*) bajo invernadero, a fin de incrementar los rendimientos del cultivo y mejorar las condiciones de vida de los pequeños y medianos productores de la zona temperada de la provincia de Loja.

2.2. Objetitos Específicos

- Determinar la granulometría de biocarbón más óptima en los rangos < 2.0 mm; 2.1 – 4.5 mm, que permita mejorar las condiciones físicas y químicas del suelo de los invernaderos de la Estación Experimental «La Argelia».
- Establecer el rango de tensión de humedad para la producción del cultivo de fresa que permita optimizar el uso de agua de riego bajo invernadero.
- Evaluar la rentabilidad económica de las combinaciones de biocarbón y tensiones de humedad, que generen los más altos beneficios económicos.

3. METODOLOGÍA

Diseño experimental: Bloques completamente al azar con tres repeticiones.

Factor 1: θ de Biocarbón. Factor 2: Tensiones de Humedad.

- ✓ S_1 = 2,0 mm — T_1 = 10 - 15 Kilopascales
- ✓ S_2 = 4,5 mm — T_2 = 10 - 25 Kilopascales
- ✓ S_2 = 0 mm (Testigo) — T_3 = 10 - 35 Kilopascales

ECUACIONES PARA CALCULAR LA LAMINA DE RIEGO

$$Lr = \frac{CH}{100} * \delta * p \qquad IP = \frac{Q*E}{e(a+r)}$$

$$LN = \left(\frac{Lr_{15Kpa}}{f} - Lr_{20Kpa}\right)\mu \qquad Tr = \frac{LN*60}{IP}$$

4. RESULTADOS

PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO

Sustratos	DA	S	CC	VTP	CA
	gr/cm³	%	0,10 atm	%	%
S1	1,23	40,16	27,76	49,37	15,18 A
S2	1,25	41,12	28,73	51,21	15,37 A
S3	1,32	35,49	27,05	46,80	11,10 M

DA: Densidad aparente; S: saturación; CC: Capacidad de campo; VTP: volumen total de poros; CA: capacidad de aireación; en el S1 y S2 paso la capacidad de aireación de bajo a alto.

PROPIEDADES QUIMICAS DEL SUELO

S	pH	MO	CIC	N	P	K	Ca
		%	mag/100ml	%	ppm	cmol/kg	cmol/kg
S1	6.61	2.60 A	12.76 M	0.13 B	266.5 A	0.86 A	12.40 A
S2	6.82	2.53 A	12.7 M	0.13 B	265.3 A	1.06 A	12.10 A
S3	6.56	2.60 A	11.96 M	0.12 B	236.2 A	0.85 A	9.69 A
	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	CE	
	cmol/kg	ppm	ppm	ppm	ppm	(ds/m)	
S1	2.16 A	242.7 A	19.10 A	11.73 A	12.69 A	0.902	
S2	1.91 A	242.2 A	20.79 A	15.11 A	14.79 A	0.836	
S3	1.66 A	256.1 A	19.86 A	12.71 A	12.66 A	0.520	

Sustratos con pH neutro; el contenido de materia orgánica alto; Nitrógeno bajo; K, P, Ca, Mn, Fe, Mg, Cu y Zn alto; Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) corresponde a medio.

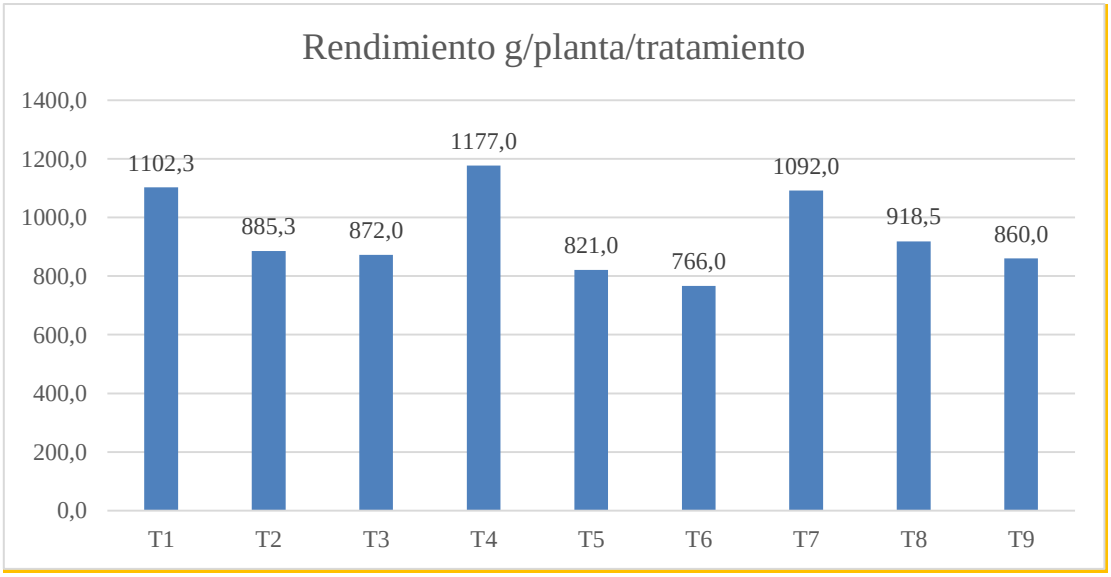
RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE FRESA (g/planta)

Tratamientos (Kpa)	Rendimiento (g/planta)	Diferencias significativas
10 a 15	374,58	A
10 a 25	291,64	B
10 a 35	277,56	B

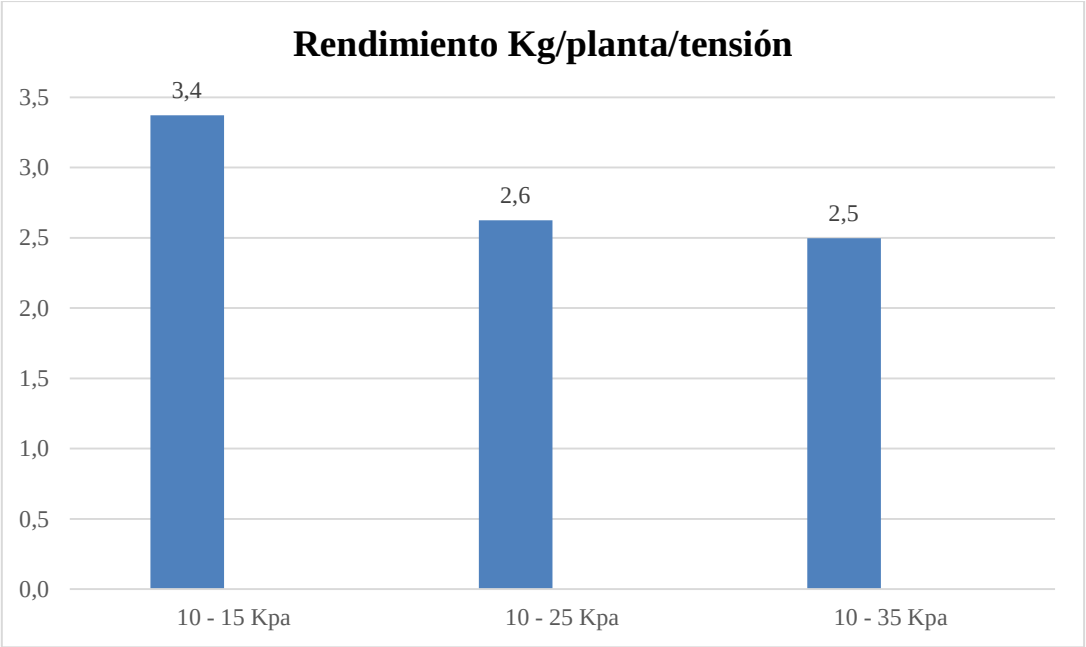
Anexo 11. Fotografías del día de campo

Figura 18. Exposición de los resultados al público presente, docentes y estudiantes de la carrera de Ingeniería Agrícola.

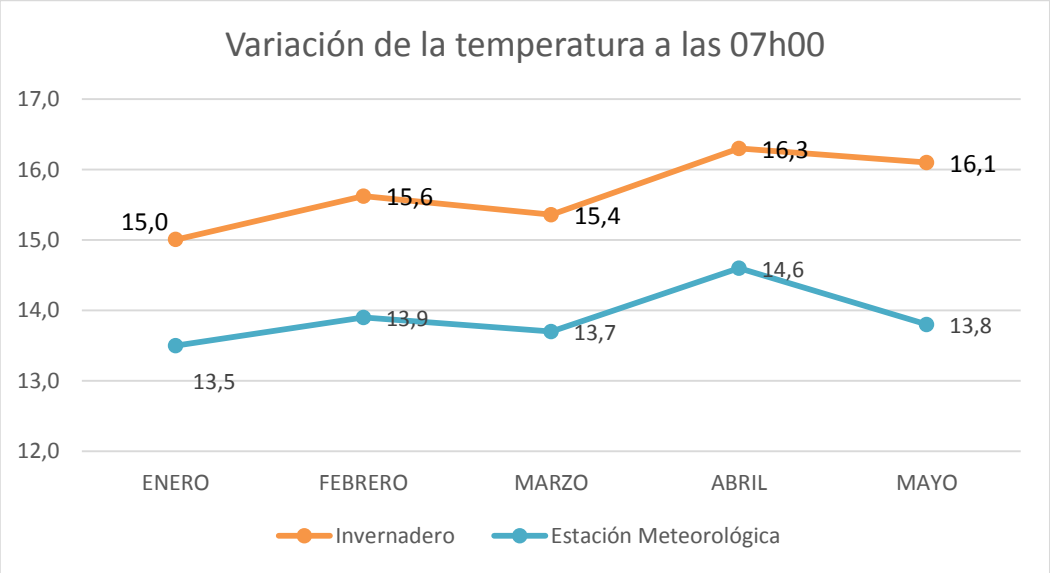
Anexo 12. Gráfica del Rendimiento en g/ planta/ tratamiento, Enero 2014 - Mayo 2014, La Argelia.



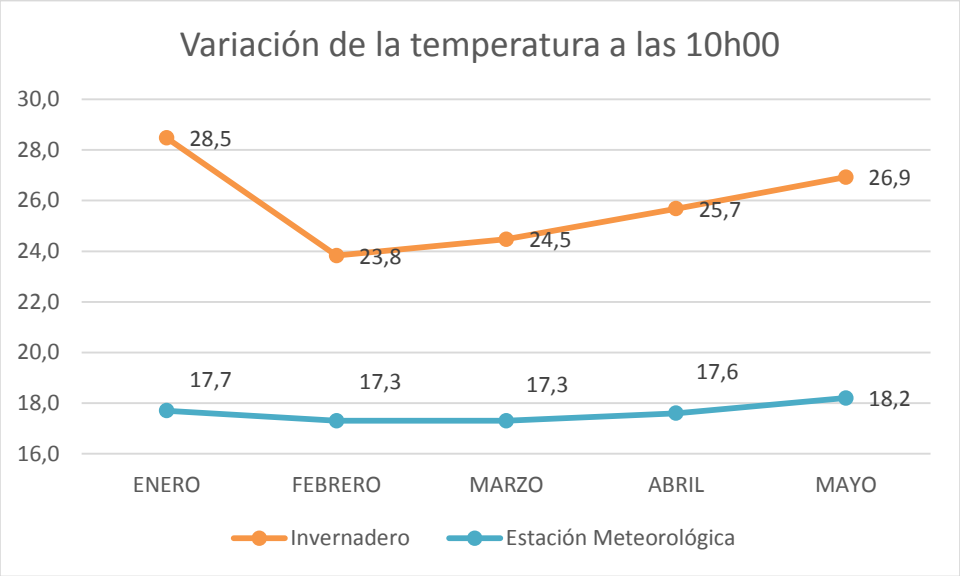
Anexo 13. Gráfica sobre el Rendimiento en kg/planta/tensión, Enero 2014 – Mayo 2014, La Argelia.



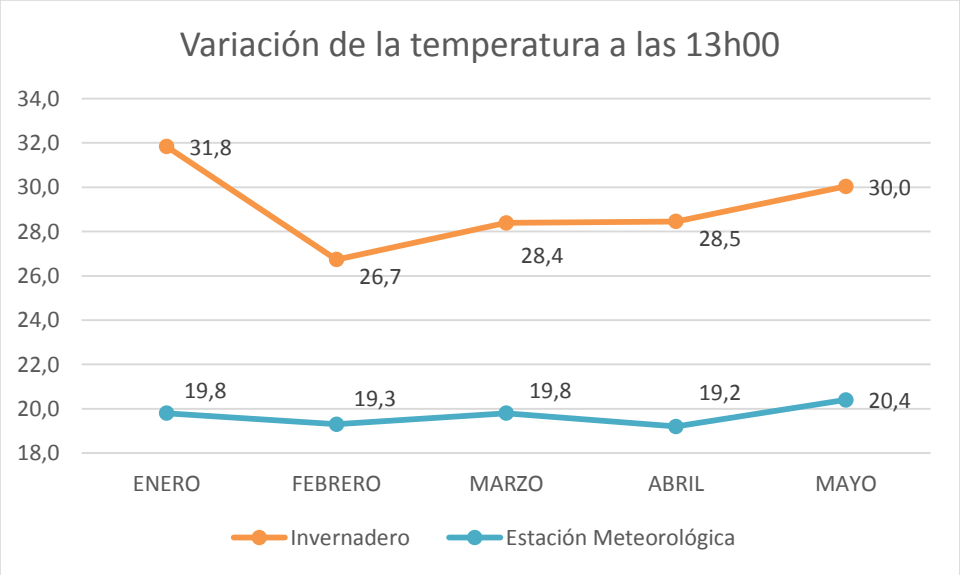
Anexo 14. Gráfica del promedio de variación de temperatura para las 07H00 en el invernadero y la estación Meteorológica La Argelia, Enero – Mayo 2014.



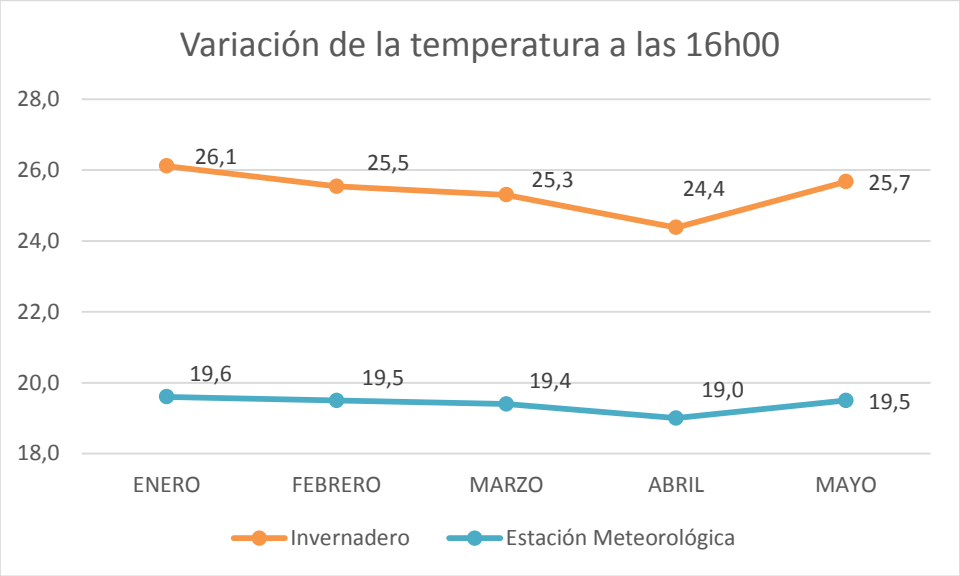
Anexo 15. Gráfica del promedio de variación de temperatura para las 10H00 en el invernadero y la estación Meteorológica La Argelia, Enero – Mayo 2014.



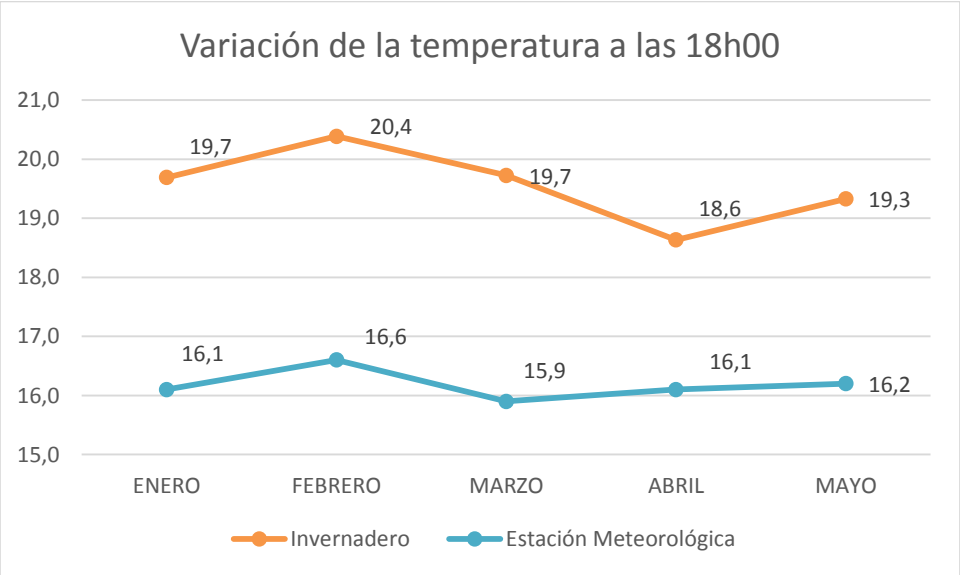
Anexo 16. Gráfica del promedio de variación de temperatura para las 13H00 en el invernadero y la estación Meteorológica La Argelia, Enero – Mayo 2014.



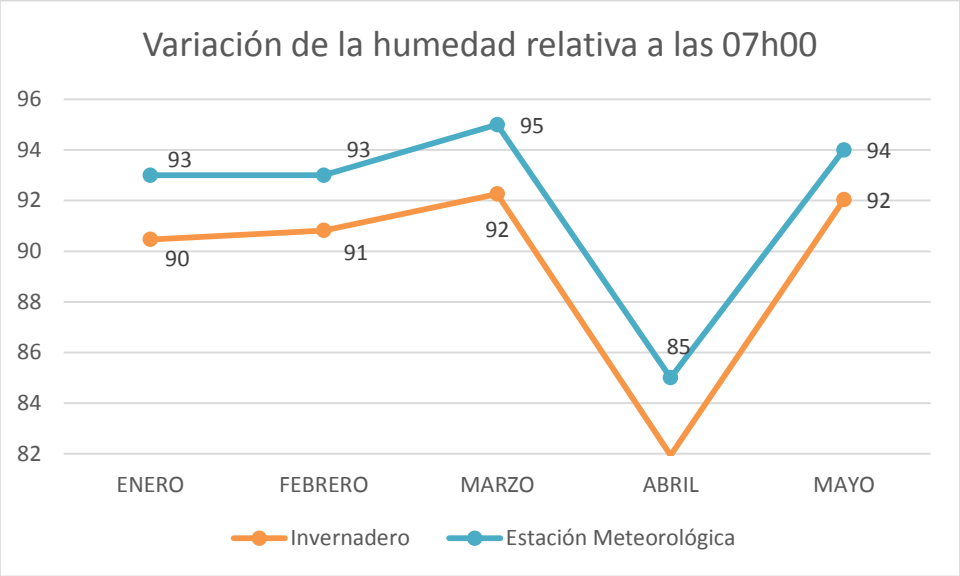
Anexo 17. Gráfica del promedio de variación de temperatura para las 16H00 en el invernadero y la estación Meteorológica La Argelia, Enero – Mayo 2014.



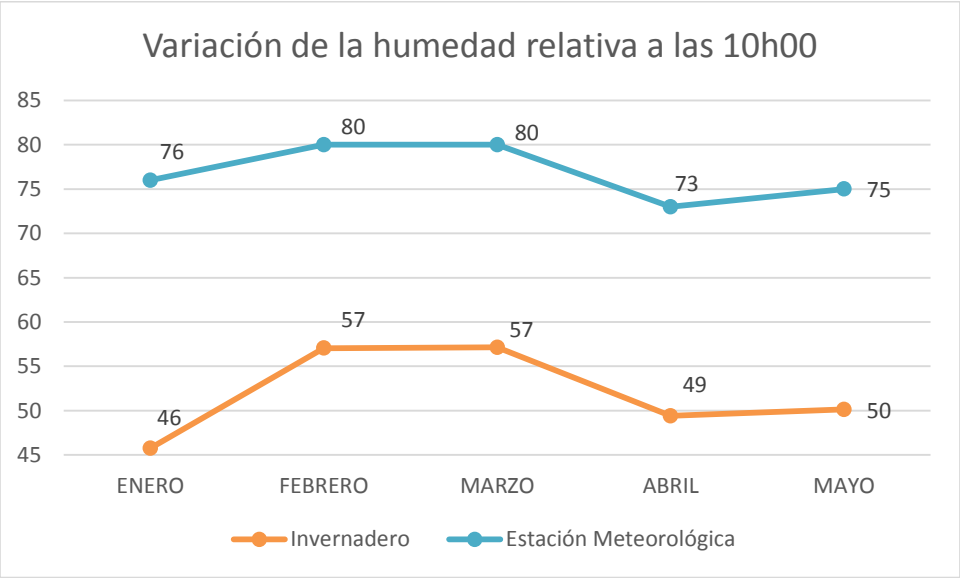
Anexo 18. Gráfica del promedio de variación de temperatura para las 18H00 en el invernadero y la estación Meteorológica La Argelia, Enero – Mayo 2014.



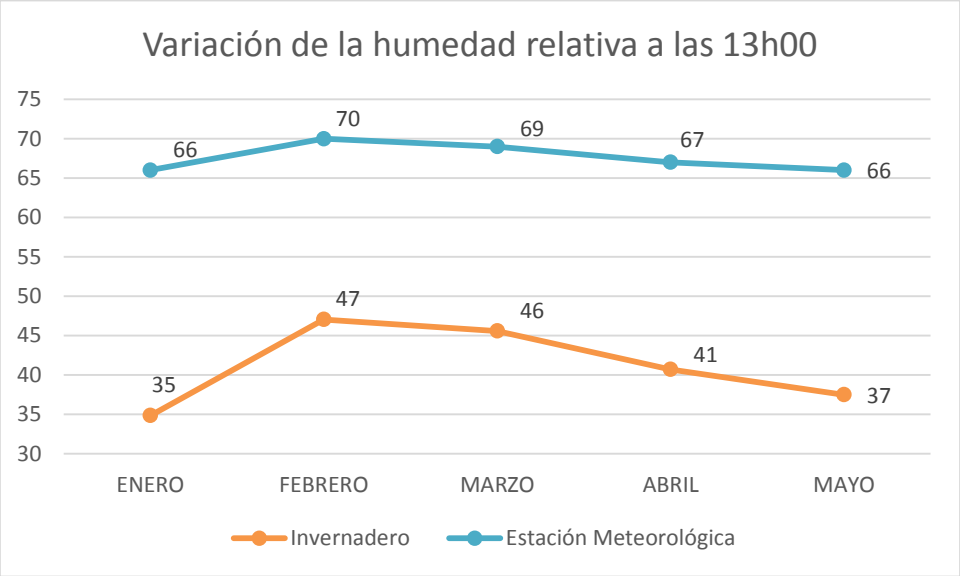
Anexo 19. Gráfica del promedio de variación de la humedad relativa para las 07H00 en el invernadero y la estación Meteorológica La Argelia, Enero – Mayo 2014.



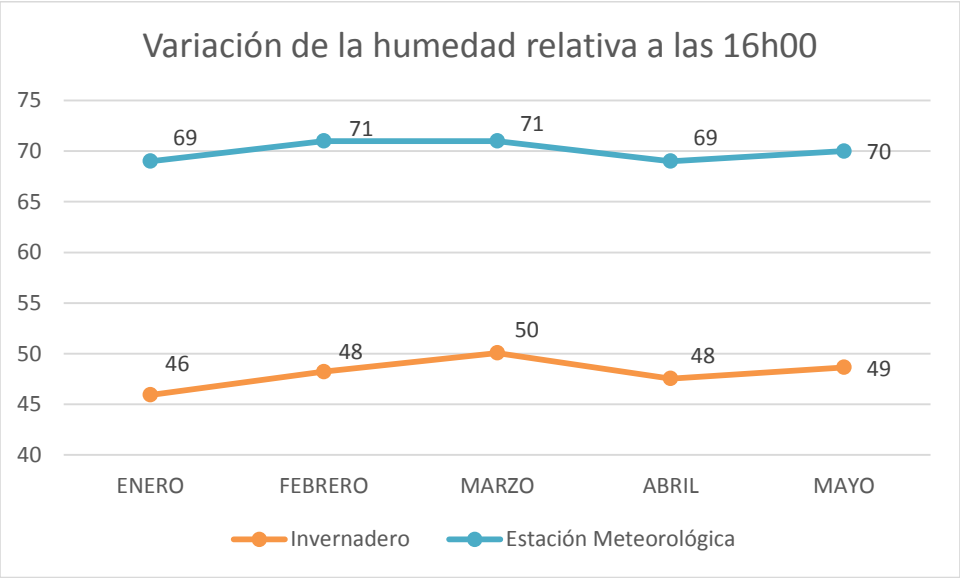
Anexo 20. Gráfica del promedio de variación de la humedad relativa para las 10H00 en el invernadero y la estación Meteorológica La Argelia, Enero – Mayo 2014.



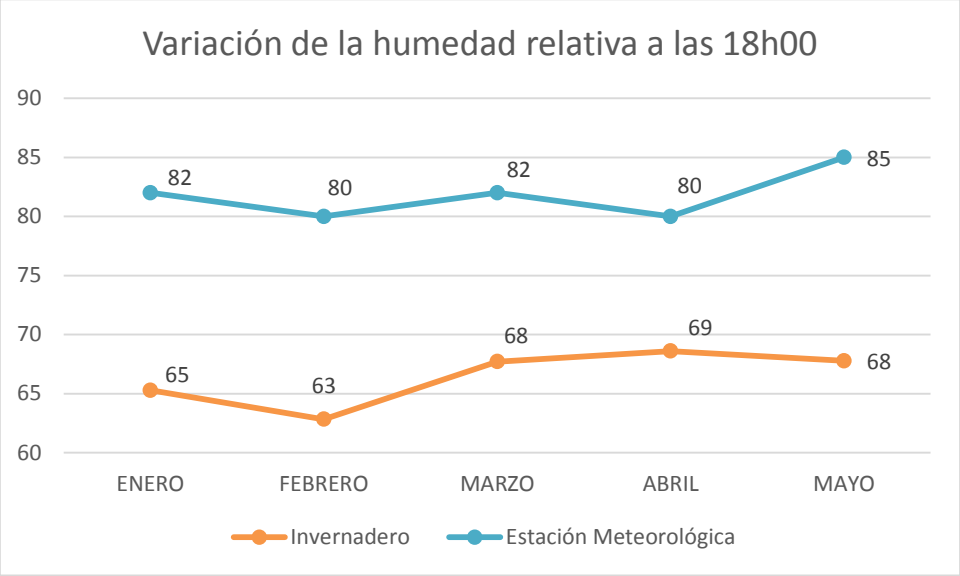
Anexo 21. Gráfica del promedio de variación de la humedad relativa para las 13H00 en el invernadero y la estación Meteorológica La Argelia, Enero – Mayo 2014.



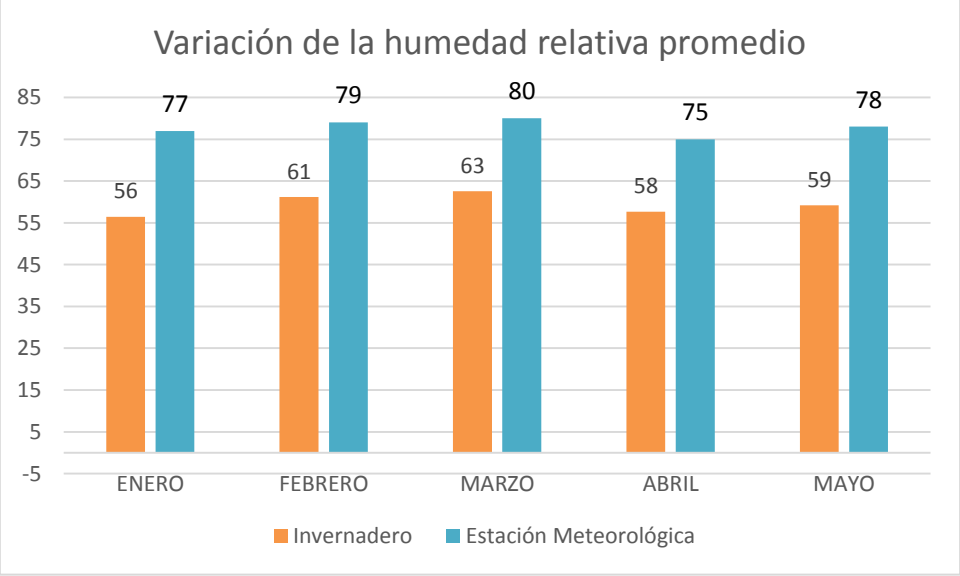
Anexo 22. Gráfica del promedio de variación de la humedad relativa para las 16H00 en el invernadero y la estación Meteorológica La Argelia, Enero – Mayo 2014.



Anexo 23. Gráfica del promedio de variación de la humedad relativa para las 18H00 en el invernadero y la estación Meteorológica La Argelia, Enero – Mayo 2014.



Anexo 24. Gráfica del promedio de variación de humedad relativa en el invernadero y la estación Meteorológica La Argelia, Enero – Mayo 2014.



Anexo 25. Datos de temperatura bajo condiciones de invernadero, Enero – Mayo 2014, Loja.

TEMPERATURA INVERNADERO					
	Enero	**Febrero**	**Marzo**	**Abril**	**Mayo**
07:00	13,55	15,62	15,36	16,30	16,10
10:00	25,72	23,83	24,47	25,68	26,92
13:00	28,75	26,74	28,39	28,46	30,04
16:00	23,59	25,54	25,30	24,38	25,67
18:00	17,78	20,39	19,73	18,63	19,33

Anexo 26. Datos de humedad relativa bajo condiciones de invernadero, Enero – Mayo 2014, Loja.

HUMEDAD INVERNADERO					
	Enero	**Febrero**	**Marzo**	**Abril**	**Mayo**
07:00	82	91	92	89	92
10:00	41	57	57	49	50
13:00	31	47	46	41	37
16:00	41	48	50	48	68
18:00	59	63	68	69	68