UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

TÍTULO

DETERMINACIÓN DEL RANGO OPTIMO DEL POTENCIAL MATRICIAL DEL SUELO EN EL CULTIVO DE FRESA (fragaria vesca) BAJO RIEGO POR GOTEO EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL LA ARGELIA.

TESIS DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AGRÍCOLA

AUTORES

Luis Ovidio Valverde Paute
Jackson Eduardo Morocho Tacuri

DIRECTOR

Ing. Luis Guillermo Valarezo Manosalvas

LOJA – ECUADOR

2014

" Determinación del rango optimo del potencial matricial del suelo en el cultivo de fresa (*fragaria vesca*) bajo riego por goteo en la estación experimental La Argelia"

TESIS DE GRADO

PRESENTADA AL TRIBUNAL CALIFICADOR COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL 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

Ing. Marco Reinoso Acaro

VOCAL

Ing. Miguel Ángel Villamagua

VOCAL

CERTIFICACIÓN

En calidad de director del trabajo titulado "**DETERMINACIÓN DEL RANGO OPTIMO DEL POTENCIAL MATRICIAL DEL SUELO EN EL CULTIVO DE FRESA (*FRAGARIA VESCA*) BAJO RIEGO POR GOTEO EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL LA ARGELIA**" realizado por los señores Luis Ovidio Valverde Paute y Jackson Eduardo Morocho Tacuri egresados de la Carrera de Ingeniería Agrícola, misma que ha sido dirigido, revisado y aprobado en su integridad, por lo que considero que es pertinente y adecuado, encontrándose dentro del cronograma establecido para su ejecución, por lo que autorizo su presentación y publicación.

Loja, marzo de 2014

Ing. Luis Guillermo Valarezo Manosalvas

DIRECTOR

Ing. Gonzalo Jaramillo González

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL CALIFICADOR DE LA TESIS "*DETERMINACIÓN DEL RANGO OPTIMO DEL POTENCIAL MATRICIAL DEL SUELO EN EL CULTIVO DE FRESA (fragaria vesca) BAJO RIEGO POR GOTEO EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL LA ARGELIA*"

CERTIFICA:

Que la tesis de los egresados de la Carrera de Ingeniería Agrícola, Luis Ovidio Valverde Paute y Jackson Eduardo Morocho Tacuri, 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, marzo del 2014

Ing. Gonzalo Jaramillo González

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL CALIFICADOR

AUTORÍA

Luis Ovidio Valverde Paute y Jackson Eduardo Morocho Tacuri 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 aceptamos y autorizamos a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de nuestra tesis en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.

Luis Ovidio Valverde Paute

CI: 1104707847

Jackson Eduardo Morocho Tacuri

CI: 1104899701

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

Nosotros; Luis Ovidio Valverde Paute y Jackson Eduardo Morocho Tacuri, declaramos ser autores de la tesis titulada: **DETERMINACIÓN DEL RANGO OPTIMO DEL POTENCIAL MATRICIAL DEL SUELO EN EL CULTIVO DE FRESA (*fragaria vesca*) BAJO RIEGO POR GOTEO 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, exponga al mundo la producción intelectual de la Universidad a través de la publicación de su contenido en el Repositorio Digital Institucional (RDI):

Los usuarios pueden acceder al contenido del presente trabajo en el RDI, en las redes de información del país, y del exterior con las cuales la Universidad suscriba convenios.

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

Firma;	----------	Firma;	----------
Autor:	Luis O. Valverde P.	Autor:	Jackson E. Morocho T.
CI:	1104707847	CI:	1104899701
Dirección:	Sauces Norte	Dirección:	Época
Celular:	0989936945	Celular:	0989824082
E-mail:	luisval,com@gmail.com	E-mail:	jackedu_19@hotmail.com

DATOS COMPLEMENTARIOS:

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

DEDICATORIA

Con todo mi cariño para mi madre María, quien con su paciencia y comprensión me ha guiado durante mi vida y con su bondad y sacrificio me ha inspirado a ser cada día mejor.

A mis queridos hermanos y sobrinos que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento.

A esas personas importantes en mi vida, compañeros y amigos incondicionales que siempre estuvieron listas para brindarme toda su ayuda, para compartir conmigo momentos de alegría y de tristezas

Con mucho aprecio

Luis…

A Dios Por todas las bendiciones recibidas.

A mi madre Lorena por ser la luz que guía mi camino. La persona que con su ejemplo de respeto, honestidad, solidaridad y perseverancia me mostro el camino.

A Claudio por su apoyo incondicional, por sus sabios consejos, por su confianza en mí y por ser ejemplo de vida toda mi admiración y gratitud.

A mi familia por todo el apoyo y comprensión en todos momentos.

Con mucho cariño

Jackson…

AGRADECIMIENTO

No es la recompensa lo que eleva el alma, sino el esfuerzo que ha costado esta recompensa.

Al culminar nuestro Proyecto de investigación, queremos consignar nuestra eterna gratitud a cuantos posibilitaron su realización:

A la Universidad Nacional de Loja, al Área Agropecuaria de Recursos Naturales Renovables y de manera muy especial a la carrera de Ingeniería Agrícola, con toda su planta docente por habernos formado como profesionales para el servicio de la sociedad., por haber forjado nuestra formación profesional con sus magnos conocimientos y su apoyo decidido para realizar nuestra meta propuesta.

Al Ing. Luis Guillermo Valarezo Manosalvas quien, al dirigir el presente proyecto de investigación, evidencio su invaluable sapiencia, su responsabilidad profesional, y honorabilidad académica, factor determinante para el logro de nuestros objetivos.

A los miembros del Tribunal Calificador de la tesis: Ing. Gonzalo Jaramillo González, Ing. Marco Reinoso Acaro y al Ing. Miguel Ángel Villamagua.

A nuestros compañeros: Carlos, Max, Jorge, José y Walter, por haber compartido con nosotros cinco años de momentos felices y tristes dentro y fuera de la Universidad.

Finalmente a todas aquellas personas quienes de una u otra forma participaron y apoyaron en la elaboración de la presente investigación, les expresamos nuestra gratitud.

CONTENIDO GENERAL

PORTADA.....i

CERTIFICACIÓN iii

AUTORÍA v

CARTA DE AUTORIZACIÓN vi

DEDICATORIA vii

AGRADECIMIENTO viii

CONTENIDO GENERAL ix

RESUMEN xvi

ABSTRACT xvii

1. INTRODUCCION.....1

2. REVISION DE LITERATURA 3

2.1. El cultivo de fresa.....3

2.1.1. Origen y distribución geográfica.....3

2.1.2. Clasificación taxonómica.....3

2.1.3. Botánica del cultivo.....4

2.1.4. Suelo y clima 4

2.1.5. Sistema de siembra 5

2.1.6. Labores culturales 5

2.1.7. Fertilización 6

2.1.8. Requerimientos hídricos 7

2.1.9. Plagas y enfermedades.....8

2.1.10.Cosecha 11

2.2. Relación Suelo-Agua-Planta-Aire 11

2.2.1. Condiciones físicas del suelo para el crecimiento de las plantas 11

2.2.2. Relaciones de masa y volumen de los constituyentes del suelo 11
2.2.3. Contenido del agua en el suelo 14
2.3. Energía del agua en el suelo 16
2.3.1. Potencial del agua en el suelo 16
2.3.2. Curva de retención de humedad del suelo 19
2.4. El Tensiómetro 22
2.4.1. Funcionamiento 23
2.5. Necesidades de riego de los cultivos 23
2.5.1. Calculo de la ETc 25
2.5.2. Calculo de Nn 25
2.5.3. Calculo de Nt 25
2.6. Estudio de rentabilidad 26
2.6.1. Elaboración del presupuesto parcial 26
2.6.2. Análisis marginal 27
2.6.3. Análisis de dominancia 27
2.6.4. Tasa de retorno marginal 28
2.7. Antecedentes investigativos 28
3. MATERIALES Y METODOS 31
3.1. Descripción general 31
3.1.1. Ubicación política 31
3.1.2. Ubicación geográfica 32
3.1.3. Aspectos biofísicos 32
3.2. Materiales 33
3.2.1. Materiales de campo 33
3.2.2. Materiales de laboratorio 33

3.2.3. Materiales de oficina 34
3.2.4. Sistema de riego 34
3.3. Métodos 34
3.3.1. Diseño experimental 34
3.3.2. Metodología para el primer objetivo 39
3.3.3. Metodología para el segundo objetivo 41
3.3.4. Metodología para el tercer objetivo: 45
3.3.5. Metodología para el cuarto objetivo: 47
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 48
4.1. Resultado del primer objetivo 48
4.1.1. Propiedades físicas 48
4.2. Resultados del segundo objetivo 50
4.2.1. Rango de potencial matricial para el cultivo de fresa y su consumo de agua 50
4.3. Resultados del tercer objetivo 57
4.3.1. Rendimientos 57
4.3.2. Análisis económico 59
5. CONCLUSIONES 62
6. RECOMENDACIONES 64
BIBLIOGRAFIA 65
7. ANEXOS 69

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LAS TRES FASES DEL SUELO 12

FIGURA 2.2. CURVA DE RETENCIÓN DE HUMEDAD 19

FIGURA 2.3. DIAGRAMA TRIANGULAR PARA LA EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES FÍSICAS DEL SUELO 22

FIGURA 3.1. CROQUIS DE LA UBICACIÓN DEL ENSAYO DENTRO DE LA QUINTA EXPERIMENTAL LA ARGELIA 31

FIGURA 4.1. CURVAS DE RETENCIÓN DE HUMEDAD 49

FIGURA 4.2. POTENCIAL MATRICIAL DURANTE EL DESARROLLO DEL CULTIVO DE FRESA . 50

FIGURA 7.1. PARCELAS EXPERIMENTALES 69

FIGURA 7.2. PARCELAS EXPERIMENTALES 69

FIGURA 7.3. ESQUEMA DEL SISTEMA DE RIEGO 70

FIGURA 7.4. ESQUEMA DE LAS PARCELAS EXPERIMENTALES 71

FIGURA 7.5. TANQUE EVAPORÍMETRO TIPO A 72

FIGURA 7.6. PLUVIÓMETRO TIPO HELLMAN 72

FIGURA 7.7. INSTALACIÓN DEL TENSIÓMETRO 72

FIGURA 7.8. BOMBA DE VACÍO MANUAL 72

FIGURA 7.9. INSTALACIÓN DE LA TUBERÍA Y VÁLVULAS DE PASO DEL SISTEMA DE RIEGO .. 73

FIGURA 7.10. COLOCACIÓN DE LAS TUBERÍAS SECUNDARIAS 73

FIGURA 7.11. TENDIDO DE LATERALES DE RIEGO 73

FIGURA 7.12. GOTERO KATIF MARRON-NEGRO 73

FIGURA 7.13. CONEXIÓN DE ACCESORIOS 73

FIGURA 7.14. CURVA DE CALIBRACIÓN DEL TRATAMIENTO T2 74

FIGURA 7.15. CURVA DE CALIBRACIÓN DEL TRATAMIENTO T3 74

FIGURA 7.16. CURVA DE CALIBRACIÓN TRATAMIENTO T4 75

FIGURA 7.17. CURVA DE EXTRACCIÓN DE NUTRIENTES (N, P, K, CA Y MG) DE LA FRESA 75

FIGURA 7.18. PREPARACIÓN DEL TERRENO 76
FIGURA 7.19. ELABORACIÓN DE CAMAS 76
FIGURA 7.20. COLOCACIÓN DE ACOLCHADO 76
FIGURA 7.21. AHOYADO 76
FIGURA 7.22. DESINFECCIÓN DE PLÁNTULAS 76
FIGURA 7.23. AHOYADO DEL SUELO 76
FIGURA 7.24. UBICACIÓN DE PLANTULAS 77
FIGURA 7.25. SIEMBRA 77
FIGURA 7.26. CONTROLES FITOSANITARIOS 77
FIGURA 7.27. CULTIVO A LOS 90 DDT 77
FIGURA 7.28. ALGUNOS PRODUCTOS PARA CONTROL FITOSANITARIO 77
FIGURA 7.29. ATAQUE DE VIRUELA 77
FIGURA 7.30. ATAQUE DE BOTRYTIS 78
FIGURA 7.31. DAÑOS PROVOCADOS POR PÁJAROS 78
FIGURA 7.32. CULTIVO A LOS 162 DDT; PRIMER COSECHA 78
FIGURA 7.33. CULTIVO EN ÉPOCA DE COSECHA 78
FIGURA 7.34. CULTIVO EN ÉPOCA DE COSECHA 78
FIGURA 7.35. FRUTOS DE FRESA 78
FIGURA 7.36. DÍA DE CAMPO 85

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 2.1. CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DE LA FRESA 3

CUADRO 4.1. EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS 48

CUADRO 4.2. AJUSTE DE CONTENIDOS DE HUMEDAD DEL SUELO MEDIANTE EL EMPLEO DE LAS ECUACIONES DE REGRESIÓN 51

CUADRO 4.3. LAMINAS MENSUALES DE RIEGO APLICADO EN BASE A DIFERENTES RANGOS DE POTENCIAL MATRICIAL EN EL CULTIVO DE FRESA 53

CUADRO 4.4. REQUERIMIENTOS DE AGUA DEL CULTIVO DE FRESA CALCULADOS POR LOS MÉTODOS DEL TANQUE EVAPORÍMETRO TIPO A Y PENMAN-MONTEITH 54

CUADRO 4.5. CORRELACIÓN ENTRE EL CONSUMO DE AGUA MEDIANTE LOS RANGOS DE POTENCIAL MATRICIAL Y LOS CALCULADOS POR LOS MÉTODOS DEL TANQUE EVAPORÍMETRO TIPO A Y PENMAN-MONTEITH. 56

CUADRO 4.6. ANÁLISIS DE VARIANZA PAR EL RENDIMIENTO DE FRESA DURANTE UN PERIODO DE COSECHA DE CUATRO MESES 57

CUADRO 4.7.PRUEBA DE RANGOS MÚLTIPLES DE TUKEY PARA UN NIVEL DE SIGNIFICANCIA DEL 5% PARA EL FACTOR POTENCIAL MATRICIAL SOBRE EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE FRESA 58

CUADRO 4.8. COSTO DE PRODUCCIÓN POR TRATAMIENTO. 59

CUADRO 4.9. INGRESO BRUTO TRATAMIENTO $^{-1}$ 60

CUADRO 4.10. BENEFICIO NETO Y ANÁLISIS DE DOMINANCIA 60

CUADRO 4.11. TASA MARGINAL DE RETORNO 61

CUADRO 7.1. CALCULO DE LA FERTILIZACIÓN BASE PARA EL CULTIVO DE FRESA 82

CUADRO 7.2. CANTIDAD A APLICAR DE FERTILIZANTE POR CAMA 82

CUADRO 7.3. DEPRECIACIÓN ANUAL POR TRATAMIENTO 87

CUADRO 7.4. COSTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE RIEGO POR TRATAMIENTO 87

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. PARCELAS EXPERIMENTALES.....69

ANEXO 2. SISTEMA DE RIEGO.....70

ANEXO 3. DISTRIBUCIÓN DE LAS UNIDADES EXPERIMENTALES.....71

ANEXOS 4. TANQUE EVAPORÍMETRO TIPO A Y PLUVIÓMETRO TIPO HELLMAN.....72

ANEXOS 5. INSTALACIÓN DE TENSIÓMETROS 72

ANEXOS 6. INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO 73

ANEXO 7. CURVAS DE CALIBRACIÓN DE LOS TENSIÓMETROS 74

ANEXO 8. CURVA DE EXTRACCIÓN DE NUTRIENTES DEL CULTIVO DE FRESA.....75

ANEXO 9. AGROTÉCNIA DEL CULTIVO.....76

ANEXO 10. CALCULO DE LAS NECESIDADES DE AGUA DEL CULTIVO DE FRESA; POR EL MÉTODO DEL TANQUE EVAPORÍMETRO TIPO A 79

ANEXO 11. CALCULO DE LAS NECESIDADES DE AGUA DEL CULTIVO DE FRESA; POR EL MÉTODO DE PENMAN-MONTEITH 80

ANEXO 12. PARÁMETROS PARA LA DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE TANQUE KP (FAO 56) 81

ANEXO 13. ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS SOBRE LA FINALIZACIÓN DEL PROYECTO.....81

ANEXO 14. FERTILIZACIÓN BASE 82

ANEXO 15. TRÍPTICO DIVULGATIVO 83

ANEXO 16. PLANIFICACIÓN DEL EVENTO DE DIFUSIÓN DE RESULTADOS (DÍA DE CAMPO)..85

ANEXOS 17. CALCULO DE LA DEPRECIACIÓN; OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE RIEGO 87

RESUMEN

Con el objeto de evaluar diferentes tensiones de humedad del suelo, entre febrero y noviembre de 2013, se desarrolló una investigación en un cultivo de fresa (*fragaria vesca*), en un suelo aluvial de textura franca con riego por goteo en la Estación Experimental La Argelia de la Universidad Nacional de Loja, con un diseño experimental de bloques completamente al azar y arreglo monofactorial con cuatro réplicas. Los tratamientos evaluados fueron: T1 (Testigo); T2 (-10 KPa a -25 KPa); T3 (-10 KPa a -40 KPa) y T4 (-10 KPa a -55 KPa). Los requerimientos de riego se calcularon mediante el tanque Tipo "A" y con Penman-Monteith. Las condiciones físicas del suelo para el horizonte de 00 cm - 20 cm fueron de Medio. El consumo de agua para los tratamientos T2, T3 y T4 fueron 66,8 mm; 24,1 mm y 21,2 mm respectivamente, aportados en 30, 7 y 4 riegos. El requerimiento de riego por Penman-Monteith fue de 515,5 mm y con el tanque Tipo A 132,5 mm. El ANAVA determinó, que existe diferencia estadísticamente significativa al nivel del 5% tanto para el para el factor rangos de potencial matricial del suelo, como para replicas. El T2 es estadísticamente diferente a nivel del 5% de significancia de T3 y T4, siendo éstos estadísticamente iguales, pero a su vez diferentes a T1. El mayor rendimiento fue para T2 con 0,75 kg planta^{-1} y el menor para T1 con 0,48 kg planta^{-1}. El incremento del rendimiento entre T2 y T1 fue de 56%. La más alta tasa marginal de retorno fue para T2 (57,8 %).

Palabras claves: Potencial matricial**,** lámina de riego

ABSTRACT

In order to evaluate different tensions of moisture from the soil, between February and November 2013, a research in a crop of Strawberry (*Fragaria vesca*) was developed in alluvial loam soil with drip irrigation from the Experimental Station La Argelia of the Universidad Nacional de Loja. An experimental design of random blocks in a monofactorial arrangement with four replications was applied. The evaluated treatments were: T1 (witness); T2 (- 10 KPa to - 25 KPa); T3 (- 10 KPa to - 40 KPa) and T4 (- 10 KPa to - 55 KPa). Irrigation requirements were calculated using a tank type "A" and the Penman-Monteith method. The physical condition of the soil for the 00 cm - 20 cm horizon was medium. The water consumption for T2, T3 and T4 treatments was 66.8 mm; 24.1 mm and 21.2 mm respectively, provided in 4, 7 and 30 irrigations. The requirement of irrigation for the Penman-Monteith method was 515,5 mm and 132.5 mm for the tank type “A”. The ANOVA determined that there is significant statistically difference at the 5 % level for the factor of ranges of soil moisture tension and in its replications as well. At this level of significance the T2 is statistically different from T3 and T4, which are statistically equal, but different from T1. The best yeild was for T2 with 0.75 kg plant^{-1} and the lowest for T1 with 0.48 kg plant^{-1}. The increase in yield between T2 and T1 was 56%. The highest marginal rate of return was for T2 (57,8 %).

Key words: Matrix potential, irrigation

1. INTRODUCCION

El cantón Loja, es una importante área de producción de alimentos, especialmente para el consumo interno, esto lo constituye en una zona estratégica para el desarrollo del sector rural y la seguridad alimentaria de sus pobladores.

Debido a que estacionalmente atraviesa un déficit hídrico por la distribución irregular de las precipitaciones, y con el fin de asegurar niveles elevados de producción de los cultivos, es indispensable la aplicación suplementaria de agua a través de riego en los meses comprendidos de mayo-septiembre, donde se registra el 25 % de las precipitaciones de todo el año (INAMHI, 2012).

En algunos sectores del cantón se dispone de sistemas de riego tales como: Campana Malacatos, La Palmira, Quinara, Vilcabamba, Zalapa, etc.; sin embargo, no se conoce cuando, cuanto y como regar, por lo que el agua se aplica en cantidades insuficientes, o a su vez excesivas, lo que determina una baja eficiencia del uso del agua, erosión, deslizamientos en masa de los terrenos inclinados, fenómenos cársticos[1] por disolución de materiales como calizas y yeso, acumulación de sales en las partes bajas, así como conflictos entre usuarios por el uso del agua y rendimientos bajos de los cultivos.

El mejoramiento de la eficiencia del riego, demanda del conocimiento con suficiente base científica-técnica, desde y hasta cuando regar a través de rangos de potencial matricial del suelo, en base a las condiciones climáticas, tipo de suelo, cultivo y estado de crecimiento del mismo.

La presente investigación, tuvo la finalidad de generar conocimientos que permitan un adecuado uso y manejo del agua de riego, en la misma se evaluó el rango de potencial matricial óptimo, cuyo principal objetivo, fue el de generar conocimientos orientados al manejo apropiado del agua, suelo y la planta, en base al potencial matricial del suelo para la producción de fresa *(fragaria vesca)* bajo riego por goteo en la Estación Experimental La Argelia, con el objeto de mejorar su

[1] El término se utiliza para designar la superficie de cualquier región calcárea que evoluciona por disolución, ya que la roca caliza es dura pero soluble en agua.

rentabilidad y el uso racional del agua de riego, en directo beneficio para los pequeños y medianos productores; así como, contribuir al fortalecimiento de los procesos de formación profesional en el Área Agropecuaria de la Universidad Nacional de Loja y sus acciones de vinculación con la colectividad.

Los objetivos específicos formulados fueron los siguientes:

- Determinar los valores de los parámetros de las características físico-químicas del suelo que gobiernan la relación suelo - agua – planta en el sector Los Molinos de la Estación Experimental La Argelia.
- Determinar el rango adecuado del potencial matricial del suelo para el cultivo de fresa (*fragaria vesca*); y, contrastar el consumo de agua frente a los valores generados con los métodos de Penman-Montieth y del tanque de evaporación clase “A”.
- Evaluar el efecto de tres tensiones de humedad del suelo sobre el rendimiento y la rentabilidad del cultivo de fresa (*fragaria vesca*) en la estación Experimental La Argelia.
- Difundir los resultados de la investigación a los agricultores, técnicos, docentes, estudiantes y personas interesadas en el cultivo de fresa (*fragaria vesca*) en el cantón Loja.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1. El cultivo de fresa

2.1.1. Origen y distribución geográfica

Las fresas son varias especies de pantas rastreras del genero Fragaria nombre que se relaciona con la fragancia que posee (fraga, en Latín), cultivadas por su fruto comestible (González, 2010)

Originarias de los Alpes, las fresas fueron descubiertas por los romanos, para quienes eran 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 (González, 2010).

El padre Gregorio Fernández de Velasco menciona la existencia de las fresas del Ecuador como fresas quitensis, seguramente se refería a la variedad Fragaria chiloensis (Juscafresca, 1987). En el año de 1714, Francois Frezier, un experto ingeniero al servicio de Luis XIV de Francia, llevo algunas de estas plantas desde concepción a Europa en un viaje marítimo que duro seis meses y en el que solo cinco plantas sobrevivieron.

Del cruzamiento de esta especie Fragaria chiloensis L con Fragaria virginiana Duch se obtuvieron plantas de mejor rendimiento y grandes frutos de muy buena calidad. A partir de 1900, la Universidad de California intensifico notablemente sus trabajos de mejoramiento genético. En forma parecida lo hicieron los países europeos y posteriormente de otros continentes. (González, 2010)

2.1.2. Clasificación taxonómica

Cuadro 2.1. Clasificación taxonómica de la fresa

Reino:	Plantae	Familia:	Rosaceae
División:	Magnoliophyta	**Subfamilia:**	Maloideae
Clase:	Magnoliopsida	**Género:**	*Fragaria*
Orden:	Rosales	**Especie:**	*vesca*

(Sudzuky, 1985)

2.1.3. Botánica del cultivo

De acuerdo a las características botánicas, las raíces de la fresa son de aspecto fibroso, se originan en la corona, se dividen en primarias que son más gruesas y son de soporte, nacen en la base de las hojas; y secundarias que son raicillas alimenticias, más delgadas. Las raíces penetran en el suelo hasta 0.20 m de profundidad. La fresa presenta un tallo de tamaño reducido denominado corona en donde lleva las yemas tanto vegetativas como florales y de ella nacen: las hojas, estolones o guías y las inflorescencias. Las hojas son de color verde más intenso y se encuentran insertas en pecíolos de longitud variable, son pinnadas o palmeadas, subdivididas en tres foliolos (Sudzuky, 1985).

El grado de desarrollo vegetativo y la floración de las plantas de fresa depende de las temperaturas ambientales y del foto-periodo. Es así como la adaptación de una variedad en un área determinada dependerá de su comportamiento bajo las condiciones climáticas, imperantes en ella. La formación de yemas florales o sea las que darán origen a flores y luego a frutos, requiere de períodos de luz cortos de menos de 12 horas bajas temperaturas de alrededor de 16 °C a 20 °C. Se ha podido observar que las yemas frutales pueden formarse también en días largos a temperaturas inferiores a 16 °C (Villagrán, 2000).

2.1.4. Suelo y clima

La temperatura óptima para el cultivo es de 15 °C a 20 °C en el día y de 15 °C a 16 °C en la noche. La humedad relativa más adecuada es de 60 % a 75 %, cuando es excesiva permite la presencia de enfermedades causadas por hongos, en cambio sí es demasiado baja los plantas sufren daños fisiológicos que perjudican la producción.

La fresa se adapta a suelos de diversas características, pero se desarrolla en forma óptima en aquellos con textura franco-arenosa o areno-arcillosa. En caso de suelos arenosos se debe disponer de la humedad suficiente. El pH óptimo es de 6.5 a 7.5, aunque en suelos de 5.5 a 6.5, no presenta problemas. Idealmente el suelo debe tener altos niveles de materia orgánica entre 2 % y 3% se deben evitar los suelos salinos (González, 2010).

2.1.5. Sistema de siembra

Por lo general se hacen en platabandas altas (10 cm -25 cm) y de 60 cm - 80 cm de ancho con dos hileras de plantas separadas entre 20cm - 30 cm entre hileras y 30 cm entre plantas. La separación entre platabandas debe ser de por lo menos 40 cm. Con este sistema se obtiene una densidad de entre 50 000 y 55 000 plantas por hectárea. (Calzada, 1980)

Se recubre con film de polietileno negro para evitar el crecimiento de las malezas, aumentar la temperatura de la rizósfera, impedir el contacto de los frutos y el suelo. Primeramente se extiende la lámina plástico negro, y luego se hacen los orificios con herramientas adecuadas para proceder a la siembra de las plantas. La lámina debe estar bien estirada, sin depresiones, para evitar la acumulación de agua lluvia que puede ocasionar daños al cultivo (González, 2010).

2.1.6. Labores culturales

2.1.6.1. Deshierbes

La limpieza de malas hierbas debe realizarse por lo menos una vez al mes; para evitar competencia hídrica y nutricional con el cultivo, así como fuentes hospedantes de insectos y otros patógenos (Brazanti, 1989).

2.1.6.2. Podas de estolones

Durante el desarrollo del cultivo se debe eliminar los tallos laterales o estolones que emergen de la base de cada planta debido a que representan una salida de nutrientes y además la planta adopta una manera temprana de propagarse lo que a la final representa pérdidas para el agricultor en vista de que no existe floración, mucho menos frutos (Ingeniería Agrícola, 2001).

2.1.6.3. Podas de limpieza

La producción constante de tallos hace que la planta tome una forma de macolla en donde se acumula gran cantidad de hojas y ramas muertas, consecuencia también del calor producido por la cobertura de polietileno negro. Esta hojarasca retiene humedad que facilita el ataque de hongos a la fruta y además

dificulta la aplicación de plaguicidas, por lo que es necesario eliminarla mediante un apoda de limpieza. La poda debe realizarse después de los ciclos fuertes de producción; se quitan los racimos viejos, hojas secas y dañadas y restos de frutos que quedan en la base de la macolla. Se debe tener cuidado de no maltratar la planta y no se debe podar antes de la primera producción. Al aumentar la penetración de luz a las hojas, así como la ventilación, se acelera la renovación de la planta, facilita la aplicación de plaguicidas y previene el ataque de hongos en la fruta (Ingeniería Agrícola, 2001)

2.1.7. Fertilización

Para la precisa determinación de las cantidades de enmiendas y fertilizantes a aplicar, es fundamental contar con el análisis de suelo y conocer la extracción del cultivo. En función de estos datos se determina la cantidad y clase de abono a aplicar. Los fertilizantes de fondo tienen por finalidad abastecer de nutrientes a las pequeñas plantas, por ello el tipo, la cantidad, el momento de aplicación y la ubicación del abono son factores que deben tenerse muy en cuenta al planificar esta tarea. Se plantea como ideal una anticipación de por lo menos 20 días al trasplante la realización de esta tarea. La profundidad óptima de ubicación de los fertilizantes de fondo es de 10 cm a 20 cm, procurando dejar unos 5 cm de diferencia entre el extremo de las raíces y el sitio de ubicación del fertilizante (Torres, 2001).

Según López R, (2004), los nutrientes principales a aportar serán Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Magnesio y Calcio.

El nitrógeno.- Juega un papel esencial en el desarrollo vegetativo, en los procesos de desarrollo floral y de fructificación del cultivo de la fresa. El exceso de aportaciones puede dificultar el proceso de fecundación, beneficiando el desarrollo de hongos de la parte aérea tales como *Botrytis cinerea*, *Sphaerotheca macularis*, *Micosphaerella fragariae* y otros y producir el desarrollo vegetativo excesivo en detrimento del equilibrio reproductivo y disminuir la consistencia y las características organolépticas de los frutos. Las deficiencias aparecen en forma de amarillamientos de las hojas más viejas, asociados a enrojecimientos foliares.

El fósforo.- Es un elemento importante en los procesos fisiológicos de transferencia de energía en la planta, el exceso puede bloquear la absorción de nutrientes tales como cobre, hierro y zinc y puede aumentar el número de escapos florales con la consecuente irregularidad de tamaño del fruto. Las deficiencias, además de manifestarse en forma de enrojecimiento internerval en el envés de las hojas, provocan retrasos en la maduración, reducción de cosechas y pérdidas en la calidad de fruto.

El potasio.- Es básico para las características organolépticas del fruto y está implicado en una alta gama de procesos fisiológicos de la planta de fresa. El exceso de aportaciones puede bloquear la absorción de nutrientes tales como calcio, manganeso y/o zinc. Las deficiencias aparecen en forma de ennegrecimientos del nervio central y márgenes de los foliolos que van progresando hacia el interior de las hojas.

El magnesio.- Juega su papel como elemento central de la molécula de clorofila. El exceso de aportaciones se relaciona con carencias de calcio y potasio y las deficiencias provocan necrosis en hojas y bajadas de rendimientos.

El calcio.- Participa en los procesos vitales a nivel celular, como elemento esencial de cohesión y permeabilidad de la pared celular. El exceso de aportaciones induce problemas de absorción de fósforo, potasio y hierro; las deficiencias provocan unas necrosis características en el ápice de los foliolos (tip-burn) y se relaciona con bajadas de consistencia de los frutos.

2.1.8. Requerimientos hídricos

La cantidad y frecuencia de riego depende de varios factores como: clima, suelo, variedad y edad de la plantación. 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 20 cm del suelo (Montes, 1986)

La fresa es exigente en humedad, en más de 80 % de la capacidad de campo, en períodos de alta temperatura, se riega cada 4 a 5 días y en períodos húmedos cada 7-10 días (Folquer, 1986)

2.1.9. Plagas y enfermedades

Una enfermedad o alteración en una planta se debe a la interacción entre el huésped (fresa) y el patógeno (hongos, virus, bacterias, nemátodos, virus, etc), el vector y a las condiciones de desarrollo que favorecen la enfermedad, como: suelos salinos, deficiencias nutricionales, exceso de humedad, sequía, entre otros (PROEXANT, 2004).

2.1.9.1. Enfermedades no infecciosas

Las enfermedades no 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 deficiencias de microelementos, exceso de Nitrógeno, ataque de hongos o insectos que dañan físicamente a la flor, no permitiendo su normal fecundación (PROEXANT, 2004).

2.1.9.2. Plagas

Folquer, (1986).- señala que las principales plagas de la fresa son las siguientes:

Afidos.- Pulgón de la frutilla (*Pentatrichopus fragaefolii*), daña por succión de la savia, deteniendo el crecimiento de las plantas y lo más importante es que a través de esta acción transmite virosis, el clima seco favorece el desarrollo de nuevas poblaciones. Se pueden controlar con insecticidas sistémicos y de contacto, entre los que se destacan Mevinphos (Phosdrin), Methomil (Lanate), Ethion, Disulfoton (Dysiston), Malathion, Endosulfan (Thiodan).

Arañitas.- Bimaculada (*Tetranychus urticae 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. Existen algunos enemigos naturales y dentro de los productos químicos destacan: Cyahexatin (Plictran), Tetradifon (Tedion), Kelthane, Omite, Peropal, etc.

Gusanos *cortadores*.- Larvas de lepidópteros (*Copitarsia*), que atacan la corona cortándola, a veces daña también los frutos formando galerías.

Gusano de la frutilla.- (*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. Todo este tipo de gusanos o larvas se pueden controlar incorporando en los primeros 15 cm del suelo, durante la preparación algún insecticida de largo perfecto residual.

2.1.9.3. Enfermedades

Vera, (1993).- señala que las principales enfermedades de la fresa son:

Pudrición roja de la raíz.- (*Phytophthora fragariae*) 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 adultas amarillas 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.

Verticilosis.- (*Verticillium alboatrum*), hongo que sobrevive en el suelo por 8-12 años, produce un marchitamiento rápido de la planta en época seca, comenzando por las hoja 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.

Moho gris.- (*Botrytis cinérea*) 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. Su control puede ser preventivo, evitando el crecimiento muy abundante del follaje y con aplicaciones de Benomyl (Benlate) y Captan, varias veces en la temporada de cosecha. 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.

Viruela.- (*Ramularia fragariae*) 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. Su control se puede hacer con Ferbam, Captan, etc. Al comienzo de las primeras lluvias.

Oidium.- (*Spaherotheca mascularis*) es un hongo muy común en áreas de gran humedad ambiental y frío. Los órganos más afectados son las hojas, cáliz de las flores y frutos. El síntoma más característico es el curva miento de los márgenes de las hojas hacia arriba, acompañado de un velo blanquecino. Si el ataque es muy severo, el envés de las hojas adquiere un color rojizo. Se recomiendan aplicaciones de fungicidas sistémicos al comienzo del verano.

2.1.10. Cosecha

Generalmente en la región andina ecuatoriana, 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 3/4 de la superficie, dependiendo del destino o mercado, de tal manera que pueda resistir el transporte (PROEXANT, 2004).

2.2. Relación Suelo-Agua-Planta-Aire

2.2.1. Condiciones físicas del suelo para el crecimiento de las plantas

La aptitud del suelo como medio para el crecimiento de las plantas depende no solamente de la presencia y cantidad de nutrientes químicos, sino también del estado y movilidad del agua y del aire; y, de los atributos mecánicos del suelo.

Para que el suelo constituya un ambiente favorable para el desarrollo de las raíces de las plantas, como garantía de una elevada y sostenida producción agrícola, es necesario comprender y manejar adecuadamente las relaciones del sistema suelo-agua-aire-planta. Este estudio se orienta; por una parte, a lograr una comprensión básica de los mecanismos que gobiernan el comportamiento del suelo y su rol en la biosfera; y por otro, el propósito es comprender los fenómenos para lograr un apropiado manejo del suelo por medio del riego, el drenaje y la conservación del suelo y el agua (Valarezo *et al.,* 1998).

2.2.2. Relaciones de masa y volumen de los constituyentes del suelo

Para caracterizar las condiciones físicas del suelo es útil considerar las relaciones de masa y volumen entre las tres fases: solida, liquida y gaseosa.

Las relaciones principales de volumen y masa entre las tres fases del suelo se definen con algunos parámetros básicos, los cuales son útiles en la caracterización de la condición física del suelo. La figura 2.1, es una representación esquemática de un suelo hipotético mostrando las relaciones de volumen y de masa de las tres fases (Calvache, 2008).

Teniendo en cuenta estas condiciones se puede proceder al cálculo de diferentes parámetros que caracterizan las relaciones entre las fases del suelo y que son necesarios para el manejo del riego, como se detalla a continuación.

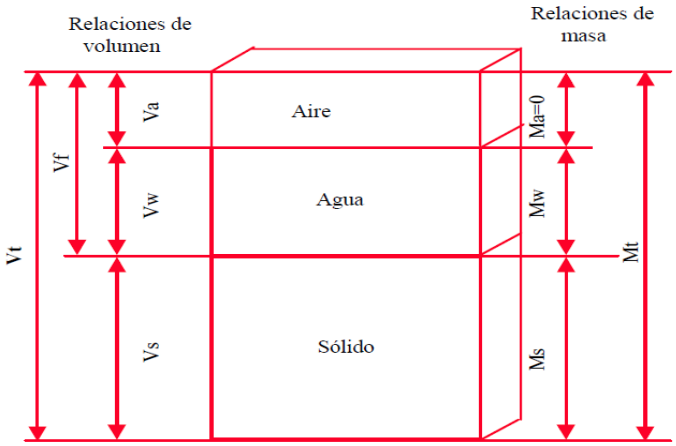

Figura 2.1. Representación esquemática de las tres fases del suelo *(Calvache, 2008)*

2.2.2.1. Densidad real

Se refiere a la relación entre la masa total de las partículas sólidas y su volumen, excluyendo el espacio poroso existente entre ellas (Valarezo *et al.,* 1998).

$$Dr = \frac{Ms}{Vs}$$

Donde:

Dr = Densidad real (g cm^{-3})

Ms = Masa de sólidos (g)

Vs = Volumen de sólidos (cm^3)

En la determinación de la Dr, solamente se considera las partículas sólidas, consecuentemente la Dr es una constante puesto que no varía con el volumen entre las partículas (Valarezo *et al.,* 1998).

2.2.2.2. Densidad aparente

La densidad aparente expresa la relación entre la masa del suelo seca (105 °C por 24 horas) y el volumen total, incluyendo el espacio poroso (Calvache, 2008).

$$Da = \frac{Ms}{Vt}$$

$$V_t = V_s + V_a + V_w$$

Donde:

Da = Densidad aparente (g cm^{-3})
Ms = Masa de sólidos (g)
Vt = Volumen total (cm^3)
Vs = Volumen de sólidos (cm^3)
Va = Volumen de aire (cm^3)
Vw = Volumen de agua (cm^3)

Obviamente, el valor de la Da es menor a la Dr. Si los poros constituyen la mitad del volumen total del suelo, el valor de la Da estará entre 1,3 g cm^{-3} y 1,35 g cm^{-3}.

La Da es afectada, tanto por la estructura como por los fenómenos de expansión y contracción del suelo. Los valores crecen al aumentar el espacio poroso y se incrementan con los procesos de compactación (Valarezo *et al.,* 1998).

2.2.2.3. 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 50 %. En suelos con alto contenido de materia orgánica puede superar el 90 % (Pizarro, 1990).

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

Donde:

ε = Porosidad total
Vp = Volumen de poros (cm^3)
Vt = Volumen total de suelo (cm^3)

$$V_p = V_a + V_w$$

$$V_t = V_s + V_a + V_w$$

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

$$\varepsilon = 100\left[1 - \frac{Da}{Dr}\right]$$

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 del pF del suelo (Valarezo *et al.,* 1998).

2.2.3. Contenido del agua en el suelo

El suelo retiene agua de dos formas: como agua libre en los poros e intersticios que se encuentran entre las partículas sólidas; y, como agua adherida sobre las superficies solidas de las partículas coloidales, orgánicas y de arcilla.

El crecimiento de las plantas es dependiente del contenido de agua del suelo, así como algunas propiedades físicas del suelo están directamente relacionadas con esta variable: consistencia, compactibilidad, adherencia y trabajabilidad. Adicionalmente el contenido de agua es determinante del contenido de aire y del intercambio gaseoso en el suelo cual tiene relación directa con la respiración de las raíces, la actividad microbiana y el potencial de óxido reducción (Valarezo *et al.,* 1998).

2.2.3.1. Contenido de agua en unidades de masa (Ɵm)

Corresponde a la relación de masa de agua (Mw) y masa de partículas de suelo seco (Ms), también se le conoce como contenido de agua gravimétrico. El término suelo seco es generalmente definido como un suelo sometido a una temperatura de 105 °C durante 24 horas. La humedad gravimétrica es expresada

algunas veces como una fracción decimal (g de agua/ g de suelo), pero más frecuentemente como un porcentaje (%) (Calvache, 2008).

$$\theta_m = \left(\frac{M_w}{M_s}\right) 100$$

A partir de datos de laboratorio el contenido de agua gravimétrico se puede calcular así:

$$\theta_m = \left(\frac{PSH - PSS}{PSS}\right) 100$$

Donde:

PSH = Peso de la muestra humedad (g)

PSS = Peso de la muestra seca a 105° durante 24 horas (g)

2.2.3.2. Contenido de agua en unidades de volumen (Ɵv)

Corresponde a la relación entre el volumen de agua (Vw) y el volumen total de suelo (Vt) (Valarezo *et al.,* 1998).

$$\theta_v = \left(\frac{V_w}{V_T}\right) 100$$

Para expresar el contenido de humedad del suelo resulta de mayor utilidad emplear el contenido de humedad en términos de volumen (Ɵv) que el contenido de humedad en términos de masa (Ɵm), debido a que se puede usar directamente en el cálculo de flujos y cantidades de agua agregadas al suelo por riego o por lluvia, y en el cálculo de las cantidades extraídas del suelo por evapotranspiración o drenaje. También el contenido de humedad en términos de volumen representa la profundidad de agua por unidad de profundidad de suelo (cm cm $^{-1}$) (Calvache, 2008).

El contenido de humedad en términos de volumen puede ser fácilmente obtenido a partir del contenido de humedad en términos de masa y la densidad aparente, mediante la siguiente relación:

$$\theta_v = \theta_m \left(\frac{Da}{Dw}\right)$$

Donde:

Dw = Densidad del agua (Mw Vw^{-1}), aproximadamente igual a 1 g cm^{-3}

2.2.3.3. Contenido de agua en unidades lineales (Lam)

En aplicaciones de riego y drenaje es conveniente expresar el contenido de unidad en términos de lámina, misma que se define como el volumen de agua que contiene el suelo por unidad de área, hasta una profundidad especifica; es decir, equivale a la altura de la lámina de agua que se formaría si se extrajera toda el agua del suelo y se la estancara sobre la superficie (Valarezo *et al.,* 1998).

$$La_{mm} = \theta_v \, d$$

Donde:

d = Profundidad (mm)

2.3. Energía del agua en el suelo

El movimiento del agua en el suelo está gobernado por las energías potencial y cinética; la energía cinética depende de la velocidad con que el agua se desplaza entre dos puntos ubicados en el perfil, debido a que el movimiento del agua en el suelo es muy lento, el valor de la energía cinética es muy pequeño por lo que no se lo considera en el análisis del flujo, es entonces la energía potencial la que determina el estado energético y el movimiento del agua en el suelo (Ortiz, 2008).

La energía potencial del agua en el suelo varía en un amplio rango. Las diferencias en energía potencial, entre un punto y otro determinan el flujo del agua dentro del suelo (Valarezo *et al.,* 1998).

2.3.1. 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 de suelo, la materia orgánica, las sales disueltas y por la interface agua-aire que ocurre en la porosidad (Jury and 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 potencial de agua del suelo se define como la diferencia de energía por la cantidad unitaria de agua entre el estado de referencia y el punto de estudio; el estado de referencia y el punto en estudio, se analizan para condiciones de agua, temperatura, presión y condiciones diferentes (Ortiz, 2008).

El movimiento y el potencial de agua en el suelo son dinámicos, temporales y dependen de los campos de fuerzas que actúan sobre el sistema agua-suelo, como los potenciales de gravedad, matricial, osmótico y de presión (Martínes, 1996).

$$\Psi_t = \Psi_g + \Psi_m + \Psi_o + \Psi_p$$

Dónde:

Ψ_t = potencial total del agua en el suelo (KPa)

Ψ_g = Potencial gravitacional (KPa)

Ψ_m = potencial matricial (KPa)

Ψ_o = potencial osmótico (KPa)

Ψ_p = potencial de presión (KPa)

En el manejo del agua de riego se utiliza el valor absoluto del, potencial y se lo denomina tensión o succión, por lo que las unidades de medida se pueden presentar en términos de masa (Julio Kg $^{-1}$), volumen (bar) y peso (cm.c.a) (Ortiz, 2008).

2.3.1.1. Potencial gravitacional

El potencial gravitacional es el producido por la fuerza de atracción de la gravedad terrestre y tiene influencia sobre todo el perfil del suelo. Este potencial es de signo positivo para todos los puntos que se ubican sobre el nivel de referencia y si este nivel coincide con la superficie del suelo, el potencial gravitacional será negativo para todos los puntos ubicados debajo de la superficie. El flujo vertical,

infiltración o percolación del agua se produce hasta que el potencial gravitacional es balanceado con el potencial matricial, o hasta cuando la humedad del suelo alcance capacidad de campo (Ortiz, 2008).

2.3.1.2. Potencial matricial

Es el generado por los mecanismos de retención de agua en el suelo (adhesión y cohesión), su nombre se debe a que las fuerzas que crean este potencial son las asociadas a la matriz del suelo. Su valor es siempre negativo, ya que la presión que origina se opone a la expulsión del agua del suelo. Cuando más seco este un terreno, más bajo es el potencial matricial y mayor es la presión que habrá que aplicar para extraer el agua del suelo (Pizarro, 1990).

También se lo conoce como potencial de capilaridad, potencial matricial o succión y representa la energía que se requiere para liberar el agua retenida por las partículas de suelo; influye en la infiltración, la redistribución del agua después de una lluvia o riego y en general con el movimiento del agua (Ortiz, 2008).

2.3.1.3. Potencial osmótico

El potencial osmótico representa las fuerzas de atracción electrostáticas entre las sales y las moléculas de agua, es la energía necesaria para extraer el agua de los iones hidratados, es nulo en el agua pura y directamente proporcional a la cantidad de sales que se suministra a través del riego y se determina por el método de extracto de saturación (Ortiz, 2008).

2.3.1.4. Potencial de presión

Se lo define como carga hidráulica, está relacionado con el peso del agua y la presión del aire que existe en un punto de estudio y el nivel de referencia, se considera nulo en la zona no saturada y es positivo en la zona saturada (Ortiz, 2008).

2.3.2. Curva de retención de humedad del suelo

Cada vez que disminuye el contenido de agua en el 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 de signo opuesto al potencial de agua en el suelo (Valarezo *et al.,* 1998).

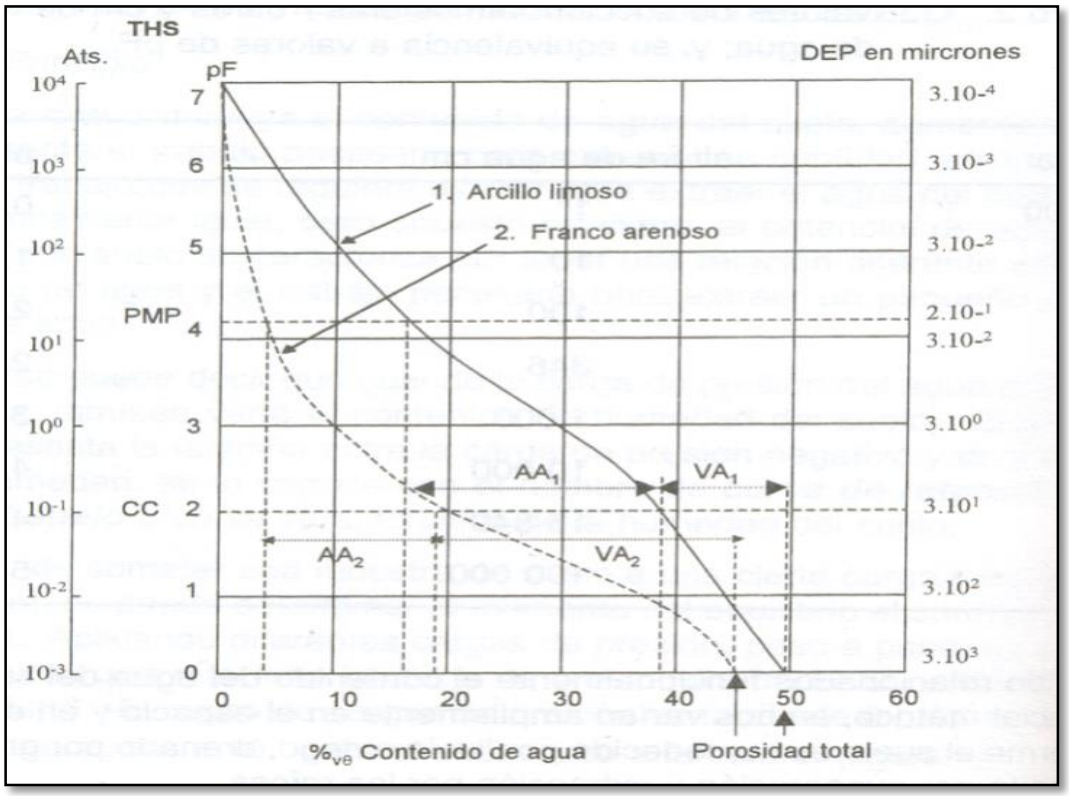

Figura 2.2. Curva de retención de humedad *(Valarezo et al, 1998)*

La curva se construye a partir de la medición del contenido de humedad para varios niveles de tensión, a través del desecamiento de una muestra de suelo, después de haber sido totalmente saturada. La curva tensión-humedad permite conocer el estado energético del agua en el suelo y la energía que las plantas tienen que ejercer para extraer el agua, así como cuando y cuanto regar (Ortiz, 2008).

Para facilitar la graficación e interpretación se prefiere utilizar el logaritmo de la potencial matricial del suelo expresado en función de cm de una columna de agua, que se conoce como pF (p = Potencial, F = energía libre).

La pendiente de la curva de retención de agua del suelo, que es el cambio de potencial matricial, 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 $C = \frac{d\varphi}{d\theta}$.

La cantidad de agua retenida a valores relativamente bajos de succión mátrica (0 bar y 1 bar), depende 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 del suelo 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 estructura, es decir por la superficie especifica del material del suelo (Valarezo *et al.,* 1998).

Con la información que se obtiene de la curva de retención de agua en el suelo nos permite:

- Conocer el volumen total de poros y la distribución de los poros por rangos de tamaño.
- Determinar la capacidad de aireación del suelo para lar raíces y el espacio poroso drenable.
- Determinar el rango de agua aprovechable para las plantas y el volumen de agua rápidamente aprovechable.
- Conocer el espacio poroso físicamente inerte.

Los puntos más importantes de la curva del pF, se describen a continuación:

2.3.2.1. Saturación

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 (Ortiz, 2008).

2.3.2.2. Capacidad de campo

Corresponde al contenido de humedad cuando la tensión varía entre 10 KPa a 30 KPa (pF = 2 a 2,52), se inicia cuando el potencial matricial se ha equilibrado con el potencial gravitacional, teóricamente representa la mayor cantidad de agua que el suelo puede retener contra la gravedad, esta condición se alcanza entre 24 a 48 horas luego que el suelo ha sido saturado por lluvia o riego intenso.

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 las plantas (Ortiz, 2008).

2.3.2.3. Marchites permanente

Corresponde al contenido de humedad para una tensión de 15 bar (pF = 4,2), es el límite inferior del agua aprovechable para las plantas. A esta tensión el agua es retenida fuertemente por la matriz del suelo, de tal forma que las plantas no pueden extraerla y sufre rápidamente estrés, marchitamiento y mueren (Ortiz, 2008).

2.3.2.4. Coeficiente higroscópico

Corresponde al contenido de humedad del suelo cuando ha alcanzado el equilibrio bajo ciertas condiciones como: 98% de humedad relativa, 1 atmosfera de presión y a temperatura ambiente. Se estima que la tensión en este punto es de 27,8 bar (Valarezo *et al.,* 1998).

2.3.2.5. Evaluación de las condiciones físicas del suelo

La distribución de los volúmenes de las tres fases del suelo (solida, líquida y gaseosa) a capacidad de campo, sirve para estimar la condición física del suelo en relación con el crecimiento de las plantas.

Para tal efecto se usa el diagrama triangular (figura 2.3). En la base del triángulo se encuentran los valores porcentuales del volumen de capacidad de

aireación, cuyos poros tienen un diámetro equivalente a 30 micras. En el lado derecho del triángulo se encuentran los valores porcentuales del agua aprovechable, con un diámetro aproximado de 0,2 micras a 30 micras considerando como capacidad de campo al contenido de agua retenida a pF 2. El lado izquierdo del triángulo contiene los valores porcentuales del volumen físicamente inerte del suelo, que es igual al volumen de sólidos más el volumen inútil de poros.

Internamente el 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 la zona V, es aquella combinación de aire y agua que se considera muy buena. Las zonas II, III y IV corresponden a las condiciones pobre, medio y buena respectivamente (Valarezo *et al.,* 1998).

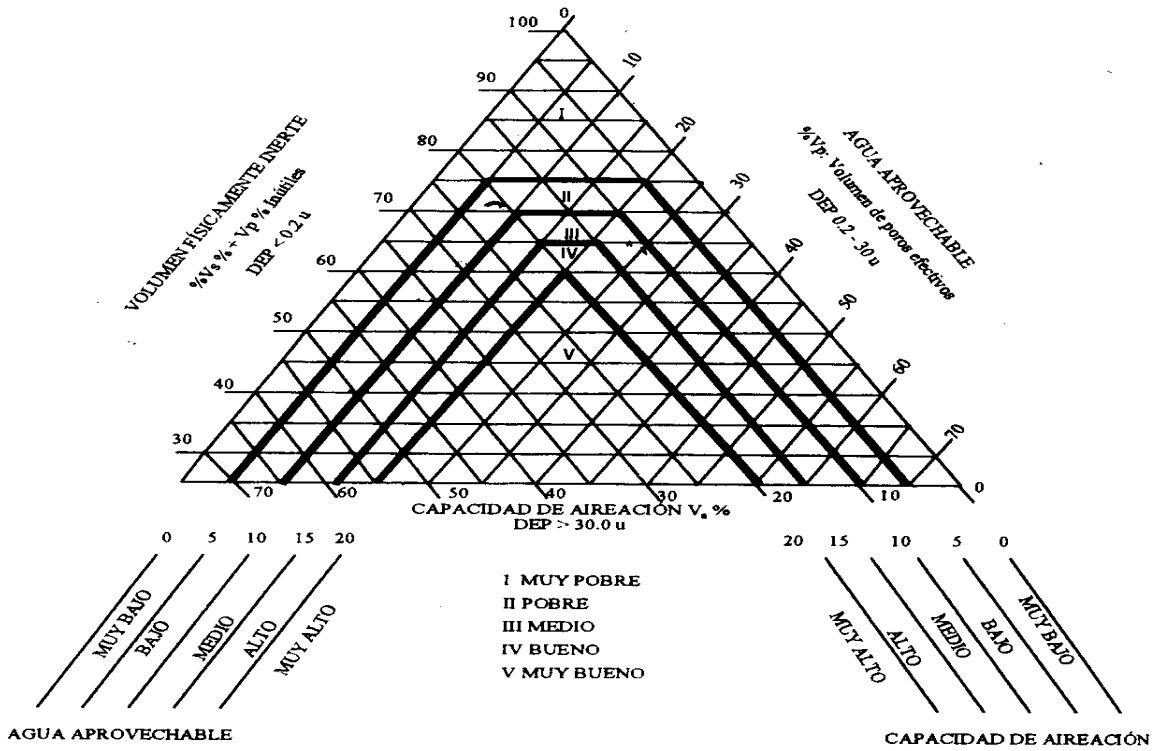

Figura 2.3. Diagrama triangular para la evaluación de las condiciones físicas del suelo (tomado de Ilaco, b.v.1981 citado por *(Valarezo et al, 1998)*

2.4. El Tensiómetro

Un 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 mismo. 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 (Goyal, 2007).

2.4.1. Funcionamiento

El agua del suelo, o la que está dentro del tubo plástico del tensiómetro, se mueve a través de los poros de la copa de cerámica. Al instalarse el tensiómetro, el líquido en la copa entra en contacto con el agua retenida en los poros del suelo, fluyendo en ambas direcciones a través de los poros, hasta llegar a un equilibrio. Según se va secando el suelo pierde humedad y absorbe el agua de la copa de cerámica a través de sus poros. Como resultado, se crea una tensión negativa o succión en el sistema la cual sigue aumentando gradualmente según el suelo continúa perdiendo humedad. Esta tensión negativa se mide haciendo uso de un indicador de tensión. Cuando el suelo se humedece nuevamente, ya sea por lluvia o por riego, la tensión disminuye al fluir el agua del suelo a través de los poros de la copa de cerámica. (Goyal, 2007).

2.5. Necesidades de riego de los cultivos

El cálculo se hace a partir de los datos que subministra la experiencia local o por medio de los métodos empíricos que, en general evalúan la evapotranspiración a partir de registros climáticos y otros factores. En un terreno ocupado por cultivos el agua pasa del suelo a la atmosfera de dos formas diferentes: la evaporación término que se ha convenido aplicar a la evaporación directa desde el suelo a la atmosfera; y la transpiración, que es la evaporación desde las estomas de las plantas de agua que estas han absorbido del suelo. Al conjunto de ambos fenómenos se denomina evapotranspiración (ET) (Pizarro, 1990).

Los principales factores que afectan la evapotranspiración (ET) son: clima, características del cultivo, y el manejo y el medio ambiente de desarrollo.

Variables climáticas.- los principales parámetros climáticos que afectan la evapotranspiración son la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y la velocidad del viento. Se ha desarrollado varios procedimientos para determinar la evaporación a partir de estos parámetros.

Factores del cultivo.- el tipo de cultivo, la variedad y la etapa de desarrollo deben ser considerados cuando se evalúa la evapotranspiración de cultivos que se desarrollan en áreas grandes y bien manejadas.

Manejo y condiciones ambientales.- los factores tales como salinidad o baja fertilidad del suelo, uso limitado de fertilizantes, presencia de horizontes duros o impenetrables en el suelo, ausencia de control de enfermedades y de parásitos, y el mal manejo del suelo pueden limitar el desarrollo del cultivo y reducir la evapotranspiración.

Evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo).- la tasa de evaporación de una superficie de referencia, que ocurre sin restricciones de agua, se conoce como evapotranspiración del cultivo de referencia. La superficie es un cultivo hipotético de pasto, con una altura asumida de 12 Cm, con una resistencia superficial fija de 70 m s $^{-1}$ y un albedo de 0,23. Los únicos factores que afectan la ETo son los parámetros climáticos. Por tanto, ETo es también un parámetro climático que puede ser calculado a partir de datos meteorológicos.

La ETo se puede calcular utilizando datos meteorológicos, el método de FAO Penman-Monteith, se recomienda como el único método estándar para la definición y el cálculo; también se puede estimar de la evaporación del tanque evaporímetro tipo A. Los tanques han probado un valor práctico y han sido utilizados con éxito para estimar la ETo observando la evaporación del tanque y aplicando coeficientes empíricos para relacionar la evaporación del tanque con la ETo (FAO, 2010)

Coeficiente del cultivo (Kc).- las diferencias en evaporación y transpiración entre los cultivos de campo y el pasto de referencia pueden ser integradas en un coeficiente único del cultivo (Kc), mientras ETo representa un indicador de la

demanda climática, el valor de Kc varía principalmente en función de las características particulares del cultivo, variando solo en una pequeña proporción en función del clima. Esto permite la transferencia de valores estándar del coeficiente del cultivo entre distintas áreas geográficas y climas. Este hecho constituye la razón principal de la aceptación general y utilidad de la metodología del coeficiente del cultivo (Allen, *et a.,* 2006).

2.5.1. Calculo de la ETc

La evapotranspiración del cultivo (ETc) se calcula multiplicando ETo por Kc:

$$ET_c = k_c * ET_o$$

La selección del procedimiento a seguir dependerá del propósito del cálculo, la precisión requerida, la disponibilidad de datos climáticos y la escala temporal bajo la cual se realizan los cálculos.

2.5.2. Calculo de Nn

Las necesidades netas del cultivo (Nn) se calculan mediante la siguiente expresión:

$$N_n = ET_c - P_e - G_w - \Delta_w$$

Donde:

Pe: precipitación efectiva

Gw: aporte por capilaridad a la zona radicular cuando hay capa freática próxima

Δw: variación en el almacenamiento de agua del suelo

2.5.3. Calculo de Nt

Las necesidades netas no coinciden con el volumen de agua a aplicar con el riego a lo que se denomina necesidades totales (Nt). Para el cálculo de Nt hay que considerar las pérdidas de agua y las necesidades de lavado.

Las pérdidas de agua corresponden a las perdidas en la parcela tales como la escorrentía superficial y las perdidas por percolación profunda. Se denomina

eficiencia de aplicación y se representa por Ea a la fracción de agua aplicada que queda retenida en la zona radicular a disposición de los cultivos. El valor de Ea depende del sistema de riego, del tipo de suelo y de otros factores: de acuerdo a las definiciones anteriores la Nt se calcula mediante:

$$N_t = \frac{N_n}{E_a}$$

La anterior ecuación nos permite calcular Nt en función de de Nn y Ea. Sin embargo hay que considerar otro hecho que puede modificar el valor de Nt obtenido a partir de la expresión anterior que son las necesidades de lavado de sales (Pizarro, 1990).

2.6. Estudio de rentabilidad

Rentabilidad es una noción que se aplica a toda acción económica en la que se movilizan unos medios, materiales, humanos y financieros con el fin de tener un resultado. En sentido general se denomina rentabilidad a la medida del rendimiento que en un determinado de tiempo se producen los capitales utilizados en el mismo. Esto supone la comparación entre la renta general y los medios utilizados para obtenerla con el fin de permitir la elección entre alternativas o juzgar la eficiencia de las acciones realizadas, según que el análisis realizado sea a priori o a posteriori (Sanches, 2002).

Según el manual de evaluación económica del programa de economía del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CYMMYT, 1988), el procedimiento para realizar el análisis económico de los resultados obtenidos en los ensayos en fincas 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.

Rendimientos medios.- es la producción obtenida para cada tratamiento (kg ha^{-1}).

Precio de campo.- es el valor de un kg de 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 kg de producto.

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.

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

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

2.6.2. Análisis marginal

Es la operación de calcular las tasas de retorno marginales para los tratamientos alternativos, paso a paso, empezando con el tratamiento de menor costo, avanzando hasta el de mayor, y decidir si resultan aceptables para el agricultor. El procedimiento es útil para hacer recomendaciones a productores y para seleccionar tecnologías alternativas. El principio económico que soporta el análisis es que es beneficioso para el productor continuar invirtiendo hasta el punto donde es retorno de cada unidad extra invertida sea igual a su costo (CYMMYT, 1988).

2.6.3. 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 el anterior pero rinda un menor beneficio neto se dice que es "dominada" y es excluida del análisis (CYMMYT, 1988).

2.6.4. Tasa de retorno marginal

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 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 una nueva tecnología, el productor, puede esperar recobrar el dólar invertido más un retorno adicional de $ 1,50 (Perrin, 1976).

2.7. Antecedentes investigativos

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.

Villalobos *et al.,* (2005) en el estado de Guanajuato México. Evaluaron las tensiones de humedad del suelo para maximizar el rendimiento y la calidad del florete en brócoli. Tras culminar el estudio pudieron concluir que la aplicación del riego a -12 KPa, -20 KPa y -28 KPa de tensión media de humedad en el estrato de 0 a 30 cm del suelo produce rendimientos similares, por lo tanto, es recomendable usar el riego a -28 KPa de tensión media. Además, existe el ahorro de 8 cm de lámina de agua entre el riego a -28 KPa con respecto a -12 KPa

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 riego por micro aspersión. La investigación se realizó en un cultivo de 7 años de edad, ubicado en Tamaulipas, México. Los tratamientos (T) evaluados fueron: Iniciar el riego a una 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 la 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.

Chavez *et al.,* (2013) evaluaron diferentes láminas de riego y diferentes tipos de acolchado plástico en el rendimiento del cultivo de fresa, dicha investigación se realizó 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 encontraron diferencia estadísticamente significativa sobre el rendimiento usando los dos 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).

Gruber *et al.,* (2011) evaluaron diferentes frecuencias de riego (diaria, inter diaria y cada dos días) y dos tipos de coberturas (plástico plateado-negro y sin cobertura) en el rendimiento y calidad del fruto de melón en el estado de Lara, Venezuela. Encontrando que el mejor rendimiento 0044 kg m^{-2} se registró con el uso de cobertura plástica, por lo se podría recomendar su incorporación para un manejo eficiente del recurso agua. Aseveran también que ni el régimen de riego, ni la interacción entre el tipo de cobertura y riego tuvieron efecto significativo sobre las variables evaluadas. Estos resultados son similares a los obtenidos por (Gil et al, 2000) quienes demostraron que las láminas y el tiempo de riego no tuvieron influencia en las variables de rendimientos medidas en longitud y grosor del fruto; y por (Barros et al, 2003) Quienes al evaluar frecuencias de riego sobre la producción de melón, encontraron que la frecuencia de riego no influyó sobre el rendimiento ni el número de frutos en esta especie.

Cenobio *et al.,* (2006) en el estado de Chapingo, México estudiaron el rendimiento de fruta fresca y la eficiencia productiva del agua de la sandía mediante el uso dos niveles de riego, que correspondieron a 20 y 30% de la evaporación,

medida en un tanque evaporímetro Tipo A y seis colores de acolchado plástico, un testigo (verde, azul, naranja, negro, blanco, café y sin acolchar). Los resultados mostraron una tendencia general indicando que el rendimiento y la eficiencia de uso del agua promedio más altos, de 46.1 t ha^{-1} y 12.8 kg m^{-3}, respectivamente, se obtuvieron en los tratamientos acolchados, en comparación con 26.7 t ha^{-1} y 7.4 kg m^{-3}, respectivamente, generados en los tratamientos sin acolchar. Se observaron diferencias significativas para el factor láminas de riego. Esto reflejó una mayor producción promedio de 49.5 t ha^{-1} con una lámina de agua aplicada de 390 mm. Así mismo, el rendimiento de fruta más bajo de 37.2 t ha^{-1} se presentó con la aplicación de 320 mm. Finalmente los colores del acolchado plástico fueron estadísticamente iguales entre sí y diferentes a los tratamientos sin acolchado plástico.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Descripción general

3.1.1. Ubicación política

La presente investigación se realizó en el sector Los Molinos, situado en la Estación Experimental La Argelia de la Universidad Nacional de Loja, ubicada en la parroquia San Sebastián, cantón y provincia de Loja, a 5 Km aproximadamente al sur de la ciudad de Loja.

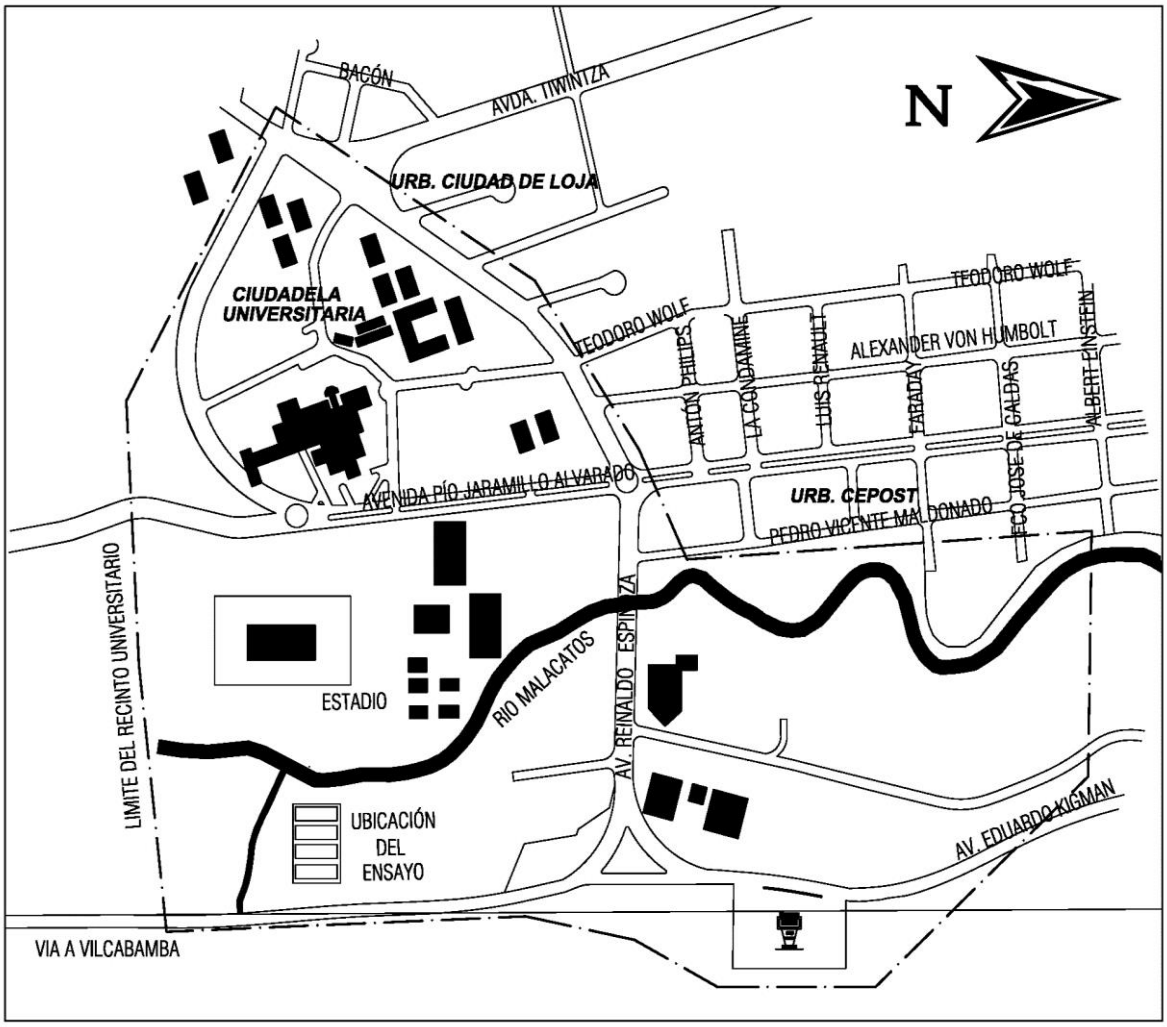

Figura 3.1. Croquis de la ubicación del ensayo dentro de la Quinta Experimental La Argelia

3.1.2. Ubicación geográfica

La ubicación geográfica corresponde a la zona 17 sur. Las coordenadas planas Universal Transversal de Mercator (UTM) son:

Este: 700 453,05 m

Norte: 9 554 364,75 m

Altitud: 2100 msnm

3.1.3. Aspectos biofísicos

3.1.3.1. Clasificación climática

De acuerdo a los datos registrados en la Estación del instituto Nacional de Meteorológica e Hidrología (INAMHI), para un periodo de 46 años (1965-2010), las condiciones climáticas anuales se resumen a continuación.

- Precipitación: 906,9 mm
- Temperatura media: 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}
- Heliofania: 1586,5 h
- Evaporación: 1202,6 mm

3.1.3.2. Suelos

El suelo del sitio del experimento es un UstiFluvent (USDA Soil taxonomy, 2010), profundo formado en una vega probablemente drenada de un pasaje de valle interandino (Villamagua *et al.,* 2013). Presenta una textura franca y un contenido de materia orgánica que se ubica en un rango medio, la relación C/N es regular (11,2), y el contenido de fosforo aprovechable muy bajo. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) se ubica en un rango bajo, siendo el Mg el catión

dominante; el K intercambiable es alto y la acides intercambiable alcanza el valor de 1,6 meq 100g $^{-1}$ (Valarezo *et a.l*, 1998; citado por Bravo y Rosillo, 2010)

3.1.3.3. Clasificación ecológica

La Estación Experimental La Argelia ecológicamente está definida como:

- Según Köppen, pertenece a un clima templado lluvioso, mesotérmico, frio o isotermal.
- Según Holdridge corresponde a bosque seco montano bajo **bs**-Mb (Guarnizo, 1995; *citado por Bravo y Rosillo, 2010*)

3.2. Materiales

3.2.1. Materiales de campo

- Tensiómetros de 30 cm de longitud
- Bomba de succión del tensiómetro
- Tanque evaporímetro tipo A
- Pluviómetro
- Bomba de mochila
- Herramientas de labranza (azada, barreta, lampa, etc.)
- Herramientas manuales (cinta métrica, martillo, etc.)
- Insumos y fertilizantes
- Cámara fotográfica

3.2.2. Materiales de laboratorio

- Cilindros Koopekky de 100 cm^3
- Barreno cilíndrico (tubular)
- Balanza de precisión
- Barreno tipo Edelman
- Capsulas
- Estufa
- Bolsas plásticas
- Olla Richards

3.2.3. Materiales de oficina

- Software CROPWAT 8.0 para Windows 7.
- Calculadora

3.2.4. Sistema de riego

El sistema de riego por goteo que se instaló (Anexo 2), aprovecha la infraestructura existente para la producción de cultivos bajo invernaderos. Consta de una tubería de polietileno principal de 20 mm de diámetro, con una válvula de operación para todo el sistema de ¾"; de esta se ramifican tres tuberías secundarias de polietileno de 16 mm de diámetro, en las cuales se insertan tres laterales de 12 mm de diámetro por cada unidad experimental. Cada secundaria está regulada por una válvula de ½" que permitió dar riego a cada tratamiento independientemente.

Se colocó goteros Katif con una descarga de 4 L h^{-1}, la ubicación de los mismos fue a una distancia de 30 cm.

La siembra se realizó en camas de 0,80 m de ancho por 10 m de longitud, con dos hileras de plantas sembradas en tres bolillos a una distancia de 0,30 m, y se colocó una lateral de riego entre las dos hileras (Anexo 3).

3.3. Métodos

3.3.1. Diseño experimental

El diseño experimental que se utilizó es el de Bloques Completamente al Azar con arreglo monofactorial con cuatro replicas (Anexo 3).

3.3.1.1. Modelo matemático

$$\boldsymbol{Y_{ij}} = \mu + \boldsymbol{\alpha_i} + \boldsymbol{\beta_j} + \boldsymbol{\varepsilon_{ij}}$$

Dónde:

Y_{ij} = rendimiento de la unidad experimental

μ = es la medida general del experimento, valor constante

α_i = efecto del factor tensiones de humedad

β_j = efecto proveniente de los bloques 1, 2, 3, 4.

ε_{ij} = error experimental para cada observación

(Vásques, 2004)

3.3.1.2. Características de la unidad experimental (Anexo 1)

- Tratamientos: 4
- Repeticiones: 4
- Unidades experimentales : 16
- Área total del ensayo : 500 m^2
- Área por cama: 8 m^2
- Distancia entre plantas: 0,30 m
- Distancia entre camas: 0,60 m

3.3.1.3. Variables

Variable Independiente; Potencial Matricial

- T_1:Testigo
- T_2: -10 a - 25 KPa
- T_3: -10 a - 40 KPa
- T_4: -10 a - 55 KPa

Variables Dependientes:

- Capacidad de campo (1/10; 1/3 atm)
- Punto de marchitez permanente (15 atm)
- Capacidad de aireación (Ɵv %)
- Agua aprovechable (Ɵv %)
- Volumen de poros físicamente inerte (%)

- Rendimiento en kg/planta/tratamiento (kg)

3.3.2. Hipótesis

a) Hipótesis de investigación

El rango óptimo de potencial matricial del suelo que satisface a las necesidades de hídricas del cultivo de fresa incrementa sus rendimientos.

b) Hipótesis estadística

Hipótesis nula **(Ho**): (T1=T2=T3=T4).- El efecto de cada uno de los tratamientos con respecto al rendimiento es estadísticamente igual al nivel de significancia del 5 %.

Hipótesis alternativa (**Ha)**: (T1≠T2≠T3≠T4).- Al menos uno de los tratamientos tiene efectos diferentes en base al rendimiento al nivel de significancia del 5 %.

3.3.3. Agrotécnia del cultivo

La variedad de Fresa que se uso fue Albión y se cumplió con las siguientes actividades (Anexo 9):

a) Preparación del suelo

La preparación de suelo se realizó de forma manual, 60 días antes de la plantación. La primera labor efectuada fue la limpieza del suelo; posteriormente se niveló. En esta labor se empleó y herramientas de labranza.

b) Preparación de las camas y fertilización base

El levantamiento de las camas se realizó 30 días antes del trasplante. Se empleó herramientas manuales. El ancho de cada cama fue de 0,8 m, la longitud de 10 m y 0,4 m de altura; el ancho de los caminos fue de 0,6 m.

Se incorporó la fertilización base tomando el 20% de la fertilización total de acuerdo a las curvas de extracción de nutrientes de la fresa estudiadas por Molina, *et al.,* (1993), (Anexo 8).

c) ***Cobertura del suelo***

La cobertura del suelo se la realizó con plástico mulch de color negro, esta labor se efectuó templando el plástico sobre las camas y luego adhiriéndolo al suelo sobre el contorno de la cama con una especie de binchas elaboradas de alambre galvanizado.

d) ***Desinfección del suelo***

La desinfección del suelo se realizó mediante la aplicación de productos para el control de bacterias, hongos, nematodos e insectos**.** Los productos empleados fueron Vita Vax, Phyton, Lorsban, Newmecktin.

La aplicación se realizó a través del fertirriego de forma directa al suelo. Esta labor se efectuó 15 días previo al trasplanté.

e) ***Ahoyado y trasplanté***

Se procedió a realizar agujeros sobre el plástico mulch, para ello se empleó latas de atún de 8,5 cm de diámetro. Estas fueron calentadas por medio de un soplete a gas.

Para prevenir el ataca que enfermedades fungosos, previo al trasplanté se efectuó una poda del sistema radicular, dejando una longitud de 8 cm de la corona, así mismo se realizó la poda de follaje en mal estado; seguidamente se eléboro una solución de Phython (sulfato de cobre pentahidratado) donde se sumergieron las plantas durante 15 minutos; finalmente trasplantó al sitio definitivo, el cual fue humedecido previamente.

f) ***Fertilización***

Se realizó de acuerdo al balance realizado entre el análisis de fertilidad del ensayo (Anexo 10) y los requerimientos del cultivo según las curvas de extracción de nutrientes de la fresa estudiadas por Molina *et al.,* (1993) (Anexo 8). El 30% de los nutrientes a entregar se suministró mediante fertilización base (Anexo 14), entre la semana 12 y 18 se suministró un 30% más y el restante 40% fue colocado a

partir de la semana 20. Los aportes se realizaron periódicamente con el riego mediante el sistema de fertirrigación o vía drench. Las deficiencias que se presentaron en el desarrollo del cultivo se las corrigió mediante fertilización foliar.

g) Podas

La eliminación de los estolones se realizó a partir de la octava semana de la plantación y desde ese momento se efectuó cada quince días; además se eliminaron las hojas viejas y enfermas. Así mismo algunas plantas presentaron floración, esta también fue eliminada en vista que la planta aún no estaba en una etapa productiva.

h) Control de malezas

Las deshierbas se las realizó manualmente, cuando lo requirió el cultivo, esto se dio con una frecuencia de 15 a 20 días. Esta actividad se realizó a partir de los primeros 30 días después de la siembra, especialmente entre los caminos.

i) Control fitosanitario

Para la prevención y control de plagas y enfermedades se utilizaron productos de la categoría IV (Plaguicidas de baja toxicidad) de franja verde (Anexo 9).

j) Cosecha

Esta labor se realizó cuando los frutos alcanzaron la madurez fisiológica, a partir de los 162 días desde el trasplante. Posteriormente se procedió a realizar dos cosechas semanales; de forma manual y los frutos fueron colocados en recipientes plásticos para evitar daños físicos.

k) Mediciones experimentales

En cada unidad experimental se sembraron 132 plantas, de las cuales se tomó una muestra aleatoria correspondiente al 20 % equivalente a 26 plantas. El rendimiento en kg planta^{-1} se realizó tomando el peso de las plantas

seleccionadas. El período de registros de la producción fue de cuatro meses, del 6 de julio al 8 de noviembre del 2013.

3.3.4. Metodología para el primer objetivo

- Determinar los valores de los parámetros de las características físico-químicas del suelo que gobiernan la relación suelo - agua – planta en el sector Los Molinos de la Estación Experimental La Argelia.

3.3.4.1. Evaluación de las condiciones físico-químicas del suelo

Se tomó muestras de suelo alteradas para análisis de la fertilidad y no alteradas para la evaluación de las condiciones físicas de los suelos.

Para el análisis de fertilidad se tomaron sub-muestras con un barreno tipo Edelman en puntos distribuidos al azar, en el horizonte de 00 cm - 20 cm. Las sub-muestras se mesclaron para conformar la muestra del sitio, esta fue debidamente empacada y enviada al laboratorio para el análisis de: textura, pH, MO, C/N, P y K aprovechables.

Para la evaluación de las condiciones físicas del suelo se utilizó anillos Koppecki de 100 cm^3 con el fin de obtener muestras no disturbadas por duplicado (00 cm - 20 cm) en cada una de las réplicas. Las muestras fueron remitidas al Laboratorio de Suelos y Aguas del Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, donde se determinó: densidad aparente (Da), capacidad de campo (CC), punto de marchites permanente (PMP) (pF 2 y pF 4,2 respectivamente) y saturación (SS). Con esta información y con la ayuda del Diagrama Triangular se evaluó las condiciones físicas del suelo para el crecimiento de las plantas y se determinó: la porosidad total, capacidad de aireación, agua aprovechable y volumen de poros físicamente inerte. Este análisis se realizó al inicio del ensayo.

Las ecuaciones utilizadas para la evaluación de las condiciones físicas fueron:

a) Porosidad total

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

Donde:

ε = Porosidad total

Vp = Volumen de poros (cm^3)

Vt = Volumen total de suelo (cm^3)

b) Agua aprovechable

$$AA = CC - PMP$$

Donde

AA = Agua aprovechable (Ɵv %)

CC = Capacidad de campo (Ɵv %)

PMP = Punto de marchites permanente (Ɵv %)

c) Capacidad de aireación

$$CA = P - CC$$

Donde

CA = Capacidad de aireación (Ɵv %)

Pt = Porosidad total (Ɵv %)

CC = Capacidad de campo (Ɵv %)

d) Volumen físicamente inerte

$$VPFI = 100 - (\varepsilon - PMP)$$

Donde:

VFI = Volumen de poros físicamente inerte (Ɵv %)

Con los resultados de la CA, AA y VPFI, se utilizó el Diagrama Triangular para la evaluación de las propiedades físicas de los suelos, (figura. 2.3).

3.3.5. Metodología para el segundo objetivo

- Determinar el rango adecuado del potencial matricial del suelo para el cultivo de fresa (*fragaria vesca*); y, contrastar el consumo de agua frente a los valores generados con los métodos de Penman-Montieth y del tanque de evaporación tipo A.

3.3.5.1. Instalación del pluviómetro y tanque evaporímetro tipo A

La evaporación se registró diariamente a través de la instalación de un tanque evaporímetro tipo A ubicado en el centro del ensayo (Anexo 4). Los registros se realizaron todos los días a las 07H00, siendo el periodo de evaporación de 24 horas, simultáneamente se llevó un estricto control de las aportaciones debido a las precipitaciones para lo cual se ubicó junto al tanque un pluviómetro ordinario tipo Hellman (Anexo 4), provisto de un cilindro receptor de 200 cm^2 de área, situado a 1,5 m de la superficie del suelo.

Cuando el nivel de agua en el tanque desciendo por debajo de 7,5 cm con respecto al borde se añadió agua, siempre midiendo la profundidad del agua antes y después. En algunas ocasiones el nivel del agua subió debido a la lluvia, en este caso se extrajo agua del tanque midiendo la profundidad antes y después de la extracción.

3.3.5.2. Instalación y calibración de los tensiómetros

Previamente a la instalación de los tensiómetros, se los lleno el tubo y el tanque de reserva con agua destilada, posteriormente se los sumergió en un recipiente con agua destilada para la saturación de la capsula porosa por un periodo de 48 horas. Para su instalación en el campo fueron llenados con una solución de agua destilada y alguicida (biofact 1 g litro de agua $^{-1}$), esto con el objeto de evitar el desarrollo de algas dentro del tensiómetro.

Se instaló un tensiómetro en cada uno de los tratamientos a excepción del T1: Testigo (sin riego), a 20 cm de profundidad. Para lo cual se realizó un agujero

de la profundidad indicada, con un tubo de hierro galvanizado de 2,2 cm de diámetro, donde se insertó el instrumento (Anexo 5).

La calibración de los tensiómetros consistió en la elaboración de una curva entre el potencial matricial en el rango de -10 KPa y -60 KPa y el contenido de humedad del suelo en el horizonte de 00 cm - 20 cm. Seguidamente en base a la ecuación de regresión, se procedió a ajustar los datos de campo, los mismos que permitieron calcular la lámina y el tiempo de riego en cada uno de los tratamientos.

Se empezó a regar cuando el tensiómetro registro -25 KPa,-40 KPa y -55 KPa; y, se dejó de regar cuando marco -10 KPa o su equivalente al contenido de humedad a capacidad de campo; esto con el objeto de evitar la saturación y que el suelo mantenga una óptima aireación que favorezca al sistema radicular.

3.3.5.3. Calculo de la lámina y tiempo de riego

La lámina y el tiempo de riego se calculó como se describe los siguientes pasos:

- Se calculó la lámina a CC, para cada tratamiento.
- Se consideró la eficiencia del aplicación del sistema, para goteo 90 % $\left(hn = \frac{LamCC}{0,9} \right)$
- Se calculó la lámina a -25 KPa, -40 KPa y -55 KPa que fueron los rangos de potencial matricial que se investigaron.
- La diferencia entre la lámina a CC (Lam CC) y la lámina a la tensión a probar (Lam -25 KPa, Lam -40 KPa Lam -55 KPa), para cada tratamiento; multiplicada por un factor de humedecimiento (p), es la lámina a aplicar. Para riego por goteo se tomó p = 20 %.
- El tiempo de riego se calculó en base a la relación entre la lámina a aplicar o lamina bruta (Lb) y la intensidad de precipitación como lo demuestra la ecuación que se presenta a continuación.

$$TR = \frac{Lb}{IP}$$

- La intensidad de precipitación se la calculo empleando la siguiente ecuación.

$$IP = \frac{Q\ n}{Sg\ (c+C)}$$

Donde:

IP: Intensidad de precipitación (mm h^{-1})
Q: Caudal (L s^{-1})
n: Numero de laterales de riego en la cama (u)
Sg: separación entre goteros (m)
c: ancho de la cama (m)
C: ancho del camino (m)
Tr: Tiempo de riego (h)

3.3.5.4. Determinación de las necesidades de riego por los métodos del tanque evaporímetro tipo A, y Penman-Moteith

a) <u>Método del tanque evaporímetro tipo A</u>

Para la determinación de las necesidades de riego por el método del tanque evaporímetro tipo A, se tomó los datos de los registros diarios de evaporación medidos en el ensayo (Ep).

La evapotranspiración de referencia (ET_o) por medio del tanque evaporímetro tipo A se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$ET_o = E_p * K_p$$

Dónde:

ET_o = Evapotranspiración de referencia (mm día $^{-1}$)
E_p = Evaporación media del Tanque (mm día $^{-1}$)
K_p = Coeficiente del Tanque

Para la estimación del coeficiente de tanque Kp se hizo uso de la publicación sobre las “Necesidades de agua de los cultivos” serie de FAO 56, en base a la velocidad del viento, humedad relativa y la ubicación del tanque en el sitio de investigación (Anexo 8).

A continuación, con la ayuda de la publicación sobre las “Necesidades de agua de los cultivos” serie de FAO 56, se obtuvo los coeficientes del cultivo (Kc) para las fases del cultivo de inicio y mediados de temporada, mismos que permitieron determinar la evapotranspiración del cultivo de fresa (ET_c) de la manera siguiente:

$$ET_c = ET_o * K_c$$

Dónde:

ET_c = Evapotranspiración del cultivo de fresa (mm día $^{-1}$)
ET_o = Evapotranspiración de referencia (mm día $^{-1}$)
K_c = Coeficiente de cultivo

Para el cálculo de las necesidades de riego del cultivo fue necesario determinar la precipitación probable al 80 %, para ello se recopilo información sobre precipitación de los anuarios del INAMHI, correspondiente a la Estación Meteorológica La Argelia, para un periodo de registro de 46 años (1965-2010).

El cálculo de la precipitación probable al 80 % se efectuó mediante el uso de la siguiente expresión:

$$P = \frac{2m-1}{2n} * 100$$

Donde:

P = Probabilidad acumulada en porcentaje
m = número de orden del valor
n = número de valores

Posteriormente se calculó la precipitación efectiva por el método de USDA, para la cual se empleó el software CROPWAT versión 8.0 (FAO, 1998) para Windows, el mismo que emplea un algoritmo basado en la ecuación desarrollada por el USCS.

Finalmente se calculó las necesidades de riego del cultivo mediante la siguiente ecuación:

$$NNR = ET_C - P_{efec}$$

Donde:

NNR = necesidades netas de riego (mm mes $^{-1}$)

Pefec = precipitación efectiva (mm mes $^{-1}$)

Las necesidades totales de riego equivalen a las necesidades netas relacionadas con la eficiencia del sistema, para riego por goteo se consideró una eficiencia del sistema (Ef) del 90 %

$$NTR = \frac{NNR}{Ef}$$

Donde:

NTR = necesidades totales de riego (mm mes $^{-1}$)

Ef = eficiencia del sistema de riego (tanto por uno)

b) <u>Método de Penman-Moteith</u>

Se recopilo la información disponible de un registro de 30 años sobre temperaturas mínimas y máximas, humedad relativa, velocidad del viento y horas de insolación de los anuarios del INAMHI. Seguidamente, con la ayuda del software CROPWAT versión 8.0 para Windows, se calculó la evapotranspiración de referencia (ETo) en mm día $^{-1}$.

Con el valor de ETo y con el Kc calculado anteriormente se determinó las necesidades de agua del cultivo. El cálculo de las necesidades de riego, fue realizado de la misma forma como la señalada para el método del tanque evaporímetro tipo A.

3.3.6. Metodología para el tercer objetivo:

- Evaluar el efecto de tres tensiones de humedad del suelo sobre el rendimiento y la rentabilidad del cultivo de fresa (*fragaria vesca*) en la estación Experimental La Argelia.

El estudio de rentabilidad se lo cumplió de la manera siguiente:

3.3.6.1. Elaboración del presupuesto parcial

- Para elaborar el presupuesto parcial de la investigación, en primer lugar, se determinó los gastos por inversión, para este caso únicamente se consideró el costo del agua, depreciación y operación del sistema a riego por goteo (costos variables).
- Se determinó los rendimientos de cada tratamiento en kg planta^{-1}.
- El cálculo del Beneficio bruto, se realizó multiplicando el precio de venta por la producción.
- El beneficio neto, se determinó por la diferencia entre los costos variables y el ingreso bruto.

3.3.6.2. Análisis económico marginal.

Análisis de dominancia, en el cual 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 precedente, pero que obtuvo el menor beneficio neto (tecnología dominada), excluyéndose del correspondiente análisis marginal.

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

$$TMR = \frac{BN_P}{I_P}$$

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

$$I_p = \frac{1}{n}\sum_{K=0}^{n} VL_K$$

Donde:

TMR: tasa marginal de retorno

BNp: beneficio neto promedio

IP: inversión o costo promedio

n: número de valores

BNJ: beneficios netos unitarios

VLK: costos unitarios

3.3.7. Metodología para el cuarto objetivo:

- Difundir los resultados de la investigación a los agricultores, técnicos, docentes, estudiantes y personas interesadas en el cultivo de fresa (*fragaria vesca*) en el cantón Loja.

La socialización del trabajo de investigación se realizó mediante un día de campo el 18 de diciembre de 2013, donde estuvieron presentes el director y asesores del proyecto, así como docentes, técnico, estudiantes y agricultores interesados; el evento fue difundido a través de la radio y televisión (CERACYT) de la Universidad Nacional de Loja; además, se elaboró un tríptico divulgativo (Anexo 15) y póster, en el que constaron todas las fases de desarrollo del proyecto investigativo. La planificación del evento se resume en el Anexo 16.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultado del primer objetivo

4.1.1. Propiedades físicas

En el cuadro 4.1 se presenta los resultados de la evaluación física de los suelos para cada una de las réplicas. Al evaluar las propiedades físicas del suelo, se desprende que en las cuatro replicas, el agua aprovechable oscilo entre 22,3 % a 23,1 % (Muy Alto); mientras que la capacidad de aireación varía entre 10,7 % y 14,9 % (Medio). Al ubicar estos valores en el diagrama triangular, se obtiene que las condiciones físicas del suelo para el crecimiento de las plantas en el horizonte de 00 cm – 20 cm, son homogéneas, ya que todas las réplicas se ubican en la Zona III, equivalente a Medio.

Cuadro 4.1. Evaluación de las propiedades físicas de los suelos

R	Da ($g\ cm^{-3}$)	% Θv			Condiciones físicas del suelo (% Θv)			Equivalencia			
		SS	***CC***	***PMP***	***AA***	***CA***	***VPFI***	***AA***	***CA***	***Zona***	***Clase***
R1	1,4	46,3	31,4	8,8	22,5	14,9	62,6	Muy Alto	Medio	III	Medio
R2	1,5	43,9	33,2	10,2	23,1	10,7	66,3	Muy Alto	Medio	III	Medio
R3	1,5	43,2	32,4	10,1	22,3	10,8	66,9	Muy Alto	Medio	III	Medio
R4	1,4	46,9	32,5	9,5	22,9	14,3	62,7	Muy Alto	Medio	III	Medio

Fuente: Investigación directa 2013; Elaboración: Valverde y Morocho.

Si se considera que el suelo es de textura franca y que el agua aprovechable y la capacidad de aireación en todas las réplicas se ubica en los rangos de Muy Alto y Medio respectivamente, se deduce que las condiciones físicas del suelo para el crecimiento de las plantas con respecto a: provisión de oxígeno, dotación de agua y desarrollo general de las raíces es el adecuado, ya que las mismas están gobernadas exclusivamente por la aceptable capacidad de aireación (macro porosidad que corresponde a poros >30 micras). Por otro lado, a pesar de que el área de investigación es aluvial, sin embargo dada la poca superficie del experimento (500 m^2) sus características físicas son uniformes, y consecuentemente su evaluación física es similar en todas las réplicas.

Según la figura 4.1 si consideramos que en promedio para las tres replicas contenido de humedad a saturación es de Ɵv = 45 %; capacidad de campo Ɵv = 32,4 %; punto de marchites permanente Ɵv = 9,6 %. Se puede aseverar que el agua que drena de los suelos por gravedad corresponde al 29,8 % del total de agua a saturación, el agua disponible para las plantas es de 48,9 %, mientras que el agua no disponible corresponde al 21,3 %. Como se ha manifestado anteriormente los suelos del sector presentan un alto porcentaje de arcilla la misma que influye en la distribución de los poros, haciéndola más uniforme; esta uniformidad contribuye con la absorción la mayoría del agua, por lo que al aumento de succión para la extracción de agua causa una disminución paulatina del contenido de humedad, y por tanto la pendiente de las curvas presenta una forma gradual.

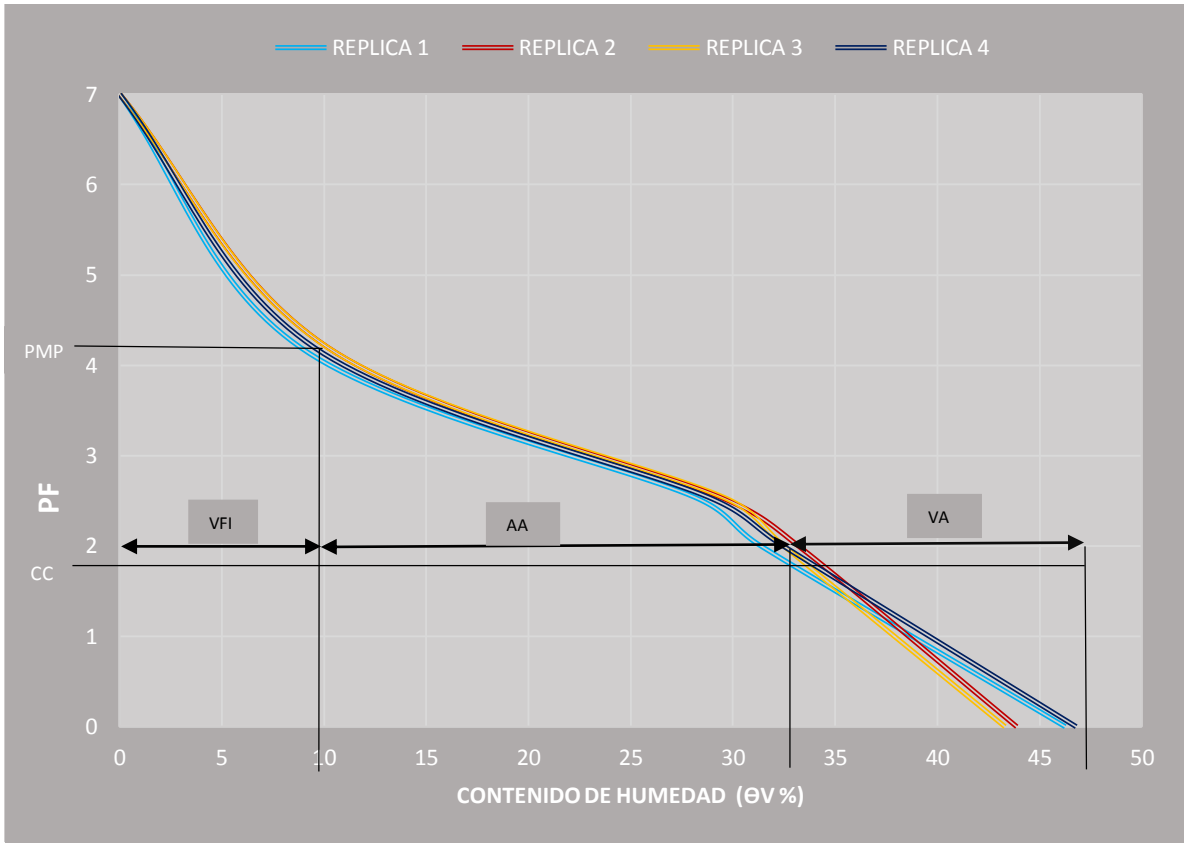

Figura 4.1. Curvas de retención de humedad (Investigación directa 2013)

4.2. Resultados del segundo objetivo

4.2.1. Rango de potencial matricial para el cultivo de fresa y su consumo de agua

4.2.1.1. Potencial matricial y contenidos de humedad

La figura 4.2 muestra el patrón de variación de la potencial matricial del suelo en el periodo comprendido de febrero-noviembre en el estrato de 00 cm - 20 cm de profundidad para los tres tratamientos. Los descensos bruscos en el potencial matricial indican que se ha aplicado riego o es debido al aporte de precipitaciones.

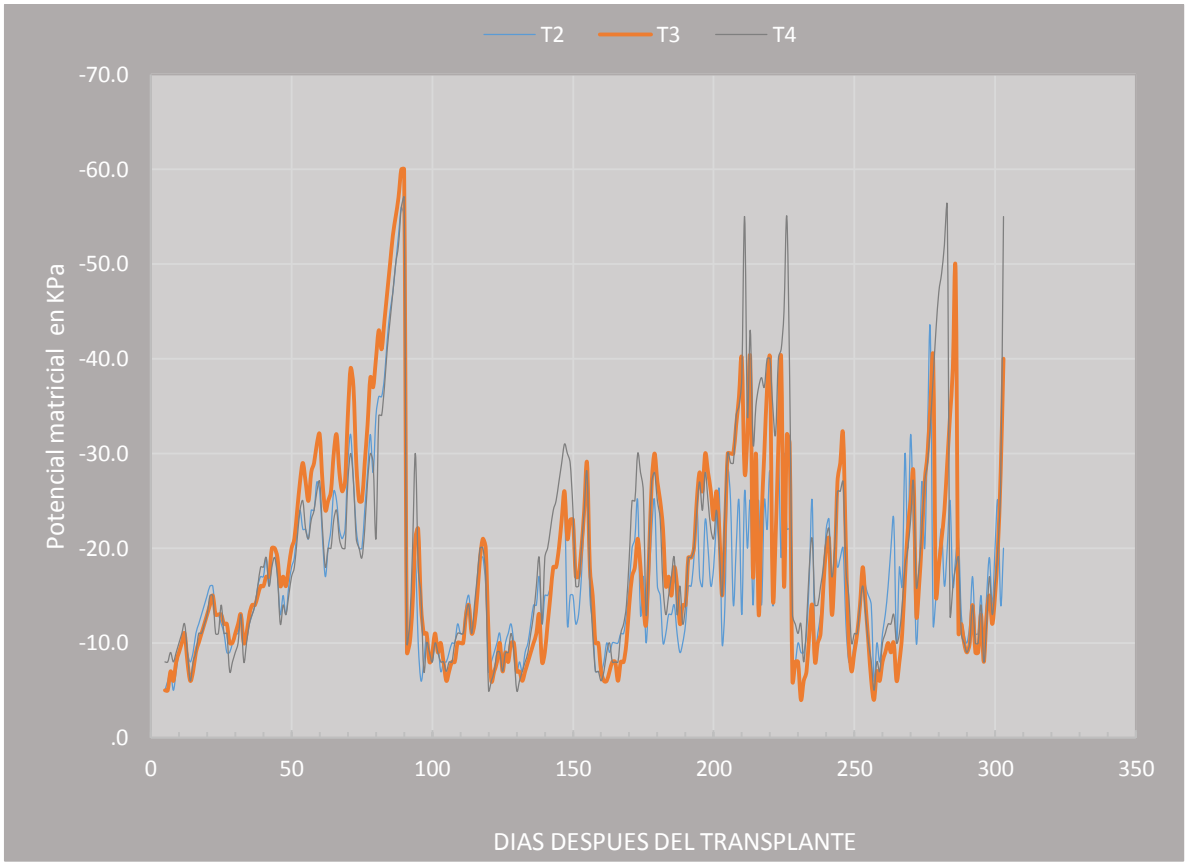

Figura 4.2. Potencial matricial durante el desarrollo del cultivo de fresa (investigación directa 2013)

Durante los primeros 15 días después del trasplante (DDT) los tensiómetros ubicados a 20 cm de profundidad marcaron lecturas de -5 KPa a -8 KPa; estos valores se derivan debido a la variabilidad que se produce por el aporte de las precipitaciones, especialmente las producidas los días cuatro y siete de febrero donde se registró 25,7 mm y 23,3 mm respectivamente.

El primer riego se dio a los 97 DDT a todos los tratamientos y a partir de ahí nuevamente se alcanzó la tensión objetivo luego de 54 días para el tratamiento T2 (-10 KPa a -25 KPa);, 120 días para el tratamiento T3 (-10 KPa a -40 KPa) y 121 días para el tratamiento T4 (-10 KPa a -55KPa). Luego de 150 DDT se inicia con mayor regularidad la aplicación de riegos para el tratamiento T2 (-10 KPa a -25 KPa); los tratamientos T3 (-10 KPa a -40 KPa) y T4 (-10 KPa a -55KPa) presentaron un mayor intervalo entre días para la aplicación de riego

Cuadro 4.2. Ajuste de contenidos de humedad del suelo mediante el empleo de las ecuaciones de regresión

Tratamiento	Ψ_m (KPa)	Ɵv %	Ecuación	Ɵv % Ajustado
T2	-53,0	25,4	$\theta v = 0{,}2541T + 37{,}954$	24,5
	-42,0	26,9		27,3
	-35,0	28,7		29,1
	-25,0	31,0		31,6
	-19,0	32,6		33,1
	-12,0	34,7	$r = -0{,}99$	34,9
	-6,0	37,5		36,4
T3	-57,0	25,2	$\theta v = 0{,}1891T + 35{,}677$	24,9
	-46,0	26,6		27,0
	-32,0	29,0		29,6
	-27,0	31,3		30,6
	-17,0	32,7	$r = -0{,}99$	32,5
	-4,0	34,7		34,9
T4	-52,0	24,7	$\theta v = 0{,}2309T + 35{,}763$	23,8
	-41,0	26,0		26,3
	-35,0	27,6		27,7
	-24,0	29,2		30,2
	-21,0	30,1		30,9
	-19,0	31,4	$r = -0{,}97$	31,4
	-7,0	35,4		34,1

Fuente: Investigación directa 2013; Elaboración: Valverde y Morocho.

En el cuadro 4.2 se presenta los valores ajustados de los contenidos de humedad del suelo en términos de volumen, así como las ecuaciones de regresión que se emplearon para el ajuste y los coeficientes de correlación (r), el potencial matricial corresponde a datos tomados en el campo para cada uno de las unidades experimentales.

Los valores de los coeficientes de correlación obtenidos entre la relación de la variable independiente (potencial matricial), y la variable dependiente (contenido de humedad); son altamente significativos, esto evidencia un alto grado de asociación así como una alta fidelidad entre los datos logrados a partir de la ecuación lineal. Son negativos debido a que las variables relacionadas son inversamente proporcionales.

En el anexo 7 se presentan las curvas de regresión, generadas a partir de los valores de potencial matricial en el rango de -10 KPa a -60 KPa y los contenidos de humedad en términos de volumen.

4.2.1.2. Consumo de agua de la fresa mediante registro de tensiómetros

En el cuadro 4.3 se presenta los valores de las láminas mensuales (mm), aplicadas en base a las lecturas de los tensiómetros para los diferentes potenciales matriciales. El periodo total de registro de información corresponde a diez meses (febrero- noviembre de 2013).

El tratamiento T2 (-10 KPa a -25 KPa) fue al que se le aplico mayor cantidad de agua con una lámina total de 66,8 mm distribuidos en 30 riegos. El mes que requirió de mayor dotación de agua a través de riego fue septiembre con 16,2 mm, en cambio que el menor consumo fue junio con una lámina de 2,1 mm; en los meses de febrero, marzo y mayo no fue necesario la aplicación de agua, ya que basto con el aporte de las precipitaciones.

Para el tratamiento T3 (-10 KPa a -40 KPa), únicamente se aplicaron riegos en los meses de abril, agosto, septiembre y noviembre. En el resto de los meses del periodo de registro no fue necesario la aplicación de riegos en vista que por efecto de las precipitaciones el suelo no alcanzo el potencial matricial impuesto para

la aplicación de riego, por lo que la lámina total aplicada fue de 24,1 mm en 7 aplicaciones de riego, siendo septiembre con 9,6 mm y agosto con 3,2 mm los meses de mayor y menor requerimiento respectivamente.

En el tratamiento T4 (-10 KPa a -55 KPa) solamente se administraron riegos en los meses de abril, agosto y noviembre; de forma similar que en el T3 (-10 KPa a -40 KPa), por el efecto de las precipitaciones el suelo no alcanzaba el potencial matricial impuesto para la aplicación de riego. La lámina total aplicada fue de 21,2 mm en cuatro sesiones de riego. Para este tratamiento el mes que registra el mayor consumo de agua es el mes de noviembre con 10,5 mm.

Cuadro 4.3. Laminas mensuales de riego aplicado en base a diferentes rangos de potencial matricial en el cultivo de fresa

Meses	T2 (-10 KPa a -25 KPa)		T3 (-10 KPa a -40 KPa)		T4 (-10 KPa a -55 KPa)	
	Lamina	Nro. Riegos	Lamina	Nro. Riegos	Lamina	Nro. Riegos
Enero	*		*		*	
Febrero	*		*		*	
Marzo	*		*		*	
Abril	5,2	1	4,7	1	5,4	1
Mayo	*		*		*	
Junio	2,1	2	*		*	
Julio	6,5	3	*		*	
Agosto	10,8	5	3,2	1	5,2	1
Septiembre	16,2	9	9,6	3	*	
Octubre	12,3	5	*		*	
Noviembre	13,7	6	6,5	2	10,5	2
TOTAL	66,8	30	24,1	7	21,2	4

** No se rego*

Fuente: Investigación directa 2013; Elaboración: Valverde y Morocho.

La aplicación de agua de riego en tratamiento T2 (-10 KPa a -25 KPa) frente al tratamiento T3 (-10 KPa a -40 KPa) y T4 (-10 KPa a -55 KPa) tuvo un incremento porcentual del 117 % y 215 % respectivamente. Esta relación corresponde a una

relación inversa entre el consumo de agua y el rango de potencial matricial del suelo, es decir que a mayor rango de potencial matricial, menor será el consumo de agua.

4.2.1.3. Requerimientos hídricos de la fresa a través de Penman-Monteith y el tanque evaporímetro tipo A

En el cuadro 4.4 se presenta el consumo de agua mensual del cultivo de fresa calculado por el método del tanque evaporímetro tipo A, para un periodo de 10 meses (febrero-noviembre); el mes de mayor demanda hídrica es noviembre con 44, 7 mm; mientras que en los meses de febrero-mayo no se necesitó de aplicaciones de riego. Los meses que requieren riego son los comprendidos entre junio-noviembre, es decir que en este periodo es donde se presenta la época de verano o menor aparición de precipitaciones en el sector donde se realizó el estudio. El requerimiento total de riego para los meses de estudio fue de 132,5 mm.

Cuadro 4.4. Requerimientos de agua del cultivo de fresa calculados por los métodos del tanque evaporímetro tipo A y Penman-Monteith

MES	Tanque tipo A		Penman-Monteith	
	ETc (mm)	NN Total (mm)	ETc (mm)	NN Total (mm)
Febrero	17,0	00	41,1	00
Marzo	28,7	00	52,3	00
Abril	37,1	00	61,9	00
Mayo	33,0	00	72,3	37,8
Junio	32,8	15,0	80,7	68,2
Julio	41,5	10,7	101,2	77,1
Agosto	42,6	18,7	113,0	97,1
Septiembre	54,0	26,9	93,0	70,2
Octubre	49,3	16,3	105,9	79,2
Noviembre	64,6	44,7	101,7	85,9
TOTAL	400,6	132,5	823,2	515,5

Fuente: Investigación directa 2013; Elaboración: Valverde y Morocho.

En el cuadro 4.4 también se presenta el consumo de agua mensual del cultivo de fresa calculado por el método de Penman-Monteith, para un periodo de diez meses (febrero-noviembre); el mes de mayor requerimiento hídrico es agosto con 97,1 mm. Los meses que no requieren riego son los comprendidos entre febrero-abril, ampliándose el periodo en los que se necesita la aplicación de agua a través de riego entre mayo-noviembre. Los requerimientos totales para cubrir las necesidades del cultivo durante este periodo son de 515,5 mm.

El consumo de agua en el cultivo de fresa entre los métodos de Penman-Monteith y el tanque tipo A presenta un incremento de 289 %. Esta incremento se atribuye a la diferencia existente entre la ETo mensual obtenida por el método del tanque evaporímetro tipo A y la ETo calculada por el método de Penman-Monteith.

4.2.1.4. Correlación del consumo de agua entre los rangos de potencial matricial, y los calculados por los métodos del tanque tipo A y Penman-Monteith

Tomando en consideración las diferentes metodologías que en el presente trabajo se han empleado para determinar el consumo de agua del cultivo de fresa, se debe enfatizar que quien se aproxima más a la realidad es la determinada a través de los registros de los tensiómetros, debido que es un método directo que considera todos los fenómenos que ocurren en la relación suelo-agua-planta-atmosfera; y no toma como referencia únicamente datos climatológicos como es el caso de los métodos indirectos. Es por tanto el método que más se ajusta al consumo hídrico real del cultivo.

En el cuadro 4.5 se presentan los valores de correlación entre el consumo de agua registrado para las diferentes tensiones de humedad de suelo y los métodos del tanque tipo A y Penman-Monteith. El valor de correlación entre el tratamiento T2 (-10 KPa a -25 KPa) y el método de Penman-Monteith es de 0,71 corresponde a buena, mientras que los valores de los tratamientos T3 (-10 KPa a -40 KPa) y T4 (-10 KPa a -55 KPa) son de 0,30 equivalente a mala.

Cuadro 4.5. Correlación entre el consumo de agua mediante los rangos de potencial matricial y los calculados por los métodos del tanque evaporímetro tipo A y Penman-Monteith.

Tratamiento	Penman-Monteith	Tanque Tipo A
T2	0,71	0,82
T3	0,30	0,63
T4	0,30	0,59
Tanque Tipo A	0,76	-

Fuente: Investigación directa 2013; Elaboración: Valverde y Morocho.

Así mismo el valor del tratamiento T2 (-10 KPa a -25 KPa) y el tanque tipo A es de 0,82 equivalente a bueno, mientras que los valores de los tratamientos T3 (-10 KPa a -40 KPa) y T4 (-10 KPa a -55 KPa) son de 0,63 y 0,59 respectivamente, ubicándose en la categoría de regulares.

Los resultados de las correlaciones presentan ciertas diferenciaciones entre cada método, esto es atribuible a que se ha trabajado con valores mensuales y por lo general estos no se corresponden, es decir no presentan una estrecha relación debido que en el periodo de investigación (febrero-noviembre de 2013) las condiciones climáticas han diferido a las que se prevén mediante la estadística climática. Así podemos apreciar que existe una buena correlación entre el tratamiento T2 (-10 KPa a -25 KPa) y los métodos del tanque tipo A y Penman-Monteith; esto se atribuye a que el consumo de agua generado por los tres métodos da una respuesta óptima a las necesidades del cultivo. Opuestamente existe una baja correlación entre las metodologías aplicadas y los tratamientos T3 (-10 KPa a -40 KPa) y T4 (-10 KPa a -55 KPa) esto como consecuencia a los bajos consumos de agua que se generaron en estos tratamientos, los cuales no satisfacen las necesidades del cultivo; así mismo la correlación entre el tanque tipo A y Penman-Monteith es de 0,76 (Buena), esto se atribuye a que los valores mensuales no presentan una marcada semejanza como por ejemplo entre los meses de febrero a marzo en ambas metodologías no se requiere de riego (Anexos 10-11) .

4.3. Resultados del tercer objetivo

4.3.1. Rendimientos

En el cuadro 4.6 se presenta el análisis de varianza de 36 cosechas para un periodo de cuatro meses. En el mismo, se puede apreciar la existencia de una diferencia estadísticamente significativa al nivel del 5% para el factor rangos de potencial matricial del suelo, con lo cual se acepta la hipótesis alternativa (Ha). Además existe diferencia estadística al 5% entre replicas. El coeficiente de variación es de 8,5 %, muy bueno.

Cuadro 4.6. Análisis de varianza par el rendimiento de fresa durante un periodo de cosecha de cuatro meses.

Variable		N	R^2	R^2 Aj	CV
R		16	0,90	0,83	8,52
Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Relación F	Probabilidad
Replica	3	006	002	7,6	00077
Potencial matricial	3	0,15	005	18,2	00004
Error Experimental	9	002	2,7E-03		
Total	15	0,23			

Fuente: Investigación directa 2013; Elaboración: Valverde y Morocho.

En el cuadro 4.7 se presentan los resultados de la prueba de rangos múltiples de Tukey para un nivel de significancia del 5 %, esto con el fin de establecer el orden de cada tratamiento en base a la producción total de fresa.

El tratamiento T2 (-10 KPa a -25 KPa) presentó el mejor rendimiento con 0,75 kg planta^{-1} y es estadísticamente diferente al tratamiento T1 (testigo), el cual presento el rendimiento más bajo 0,48 kg planta^{-1} El incremento de la producción fue de 56 %.

Si bien en el tratamiento T2 (-10 KPa a -25 KPa) se aplicaron más riegos estos fueron de menor lamina, esto indica que programar los riegos a un rango de

potencial matricial entre -10 KPa a -25 KPa mejora la eficiencia del uso del agua ya que se producen menos perdidas por percolación profunda, puesto que la mayor absorción del sistema radical de la fresa ocurre en los primeros 20 cm de profundidad (Sudzuky, 1985). Así mismo, el aprovechamiento de agua por las plantas de fresa se vio también mejorado al programar el riego al rango de potencial matricial entre -10 KPa a -25 KPa, ya que el rendimiento del fruto fue superior en un 23 % con respecto a los tratamientos T3 (-10 KPa a -40 KPa) y T4 (-10 KPa a -55 KPa) que son estadísticamente iguales; esto se atribuye a que las plantas sufren menor 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.

Cuadro 4.7.Prueba de rangos múltiples de Tukey para un nivel de significancia del 5% para el factor potencial matricial sobre el rendimiento del cultivo de fresa.

Tratamiento	Rendimiento Kg planta $^{-1}$
T2: (-10 KPa a -25 KPa)	0,75 A
T3: (-10 KPa a -40 KPa)	0,61 B
T4: (-10 KPa a -55 KPa)	0,60 B
T1: Testigo (sin riego)	0,48 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 005)

Fuente: Investigación directa 2013; Elaboración: Valverde y Morocho.

Valores similares son 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.

Igualmente Chavez *et al.,* (2013) corroboran nuestros resultados ya que 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 la lámina baja (71,2 mm) y el mismo tipo de acolchado. Así mismo Cenobio *et al.*, (2006) reportaron un incremento del 33 % en el rendimiento del cultivo de sandía debido a la aplicación de una lámina de 390 mm, en relación a una lámina

menor de 326 mm en ambos casos se aprovechó de las condiciones generadas por el acolchado plástico.

4.3.2. Análisis económico

4.3.2.1. Costo de producción por tratamiento

Los costos variables del cultivo de la fresa se presentan en el cuadro 4.8. El precio del agua es la fijada por el municipio de Loja cuyo valor es de 16 centavos de dólar por m^3. La depreciación como la operación del sistema de riego a goteo se presenta en el anexo 17.

Cuadro 4.8. Costo de producción por tratamiento.

Tr	Consumo de Agua (m^3 Tr^{-1})	Precio del agua ($)	Depreciación del sistema de riego ($)	Mantenimiento y operación ($)	Costo/ Tr ($)
T1	0	-	-	-	-
T2	1,87	0,16	13,9	9,8	23,8
T3	0,67	0,16	13,9	3,5	17,5
T4	0,59	0,16	13,9	3,3	17,4

Tr: Tratamiento

Fuente: Investigación directa 2013; Elaboración: Valverde y Morocho.

4.3.2.2. Ingreso bruto por tratamiento

Como se observa en el cuadro 4.9 el tratamiento T2 (-10 KPa a -25 KPa), tiene un rendimiento de 0,75 Kg $planta^{-1}$ el cual generó el mayor ingreso bruto con $ 104,4; mientras que el tratamiento T1 (testigo) obtuvo el ingreso bruto más bajo con $ 66,8 producto de su rendimiento de 0,48 Kg $planta^{-1}$. La diferencia de los ingresos entre estos tratamientos fue de $ 37,6. Analizando estos valores, se concluye, que el incremento tanto en el rendimiento como en el ingreso bruto fue del 56 %.

Cuadro 4.9. Ingreso bruto tratamiento $^{-1}$

Tr	Nro. Plantas	Rendimiento Kg planta $^{-1}$	Rendimiento Kg Tr $^{-1}$	Precio Kg ($)	Costo C. ($)	Costo C. T ($)	Ingreso Bruto ($)
T1	120	0,48	57,6	1,32	0,16	9,2	66,8
T2	120	0,75	900	1,32	0,16	14,4	104,4
T3	120	0,61	73,2	1,32	0,16	11,7	84,9
T4	120	0,60	72,0	1,32	0,16	11,5	83,5

Costo C: Costo de comercialización por Kg

Costo C. T: Costo de comercialización total por Kg

Fuente: Investigación directa 2013; Elaboración: Valverde y Morocho.

4.3.2.3. Beneficio neto y análisis de dominancia

En el cuadro 4.10 se observa que el mayor beneficio neto fue de $ 80,6 correspondiente al tratamiento T2 (.-10 KPa a -25 KPa); en cambio el menor ingreso neto con $ 66,8 le correspondió al tratamiento T1 (testigo); esto se debe a que el tratamiento T2 obtuvo el mejor rendimiento y consecuentemente el mayor ingreso bruto. La diferencia entre los tratamientos T2 y T1 tanto en el ingreso bruto como en el beneficio neto, fue de $37,6 y $13,8 respectivamente. En cuanto a la dominancia se observa que el tratamiento T1 domina al tratamiento T4 (-10 KPa a -55 KPa).

Cuadro 4.10. Beneficio neto y análisis de dominancia

Tr	Costo/ Tr ($)	Ingreso Bruto ($)	Beneficio neto ($)	Dominancia
T1	00	66,8	66,8	
T4	17,4	83,5	66,2	D
T3	17,5	84,9	67,4	
T2	23,8	104,4	80,6	

Fuente: Investigación directa 2013; Elaboración: Valverde y Morocho.

4.3.2.4. Tasa marginal de retorno

La mayor tasa marginal de retorno, correspondió al tratamiento T2 (-10 KPa a -25 KPa) con un valor de 58 %. Resultado que indica, que por cada dólar invertido en el sistema de riego por goteo, mano de obra para la aplicación de riego; y, el costo del agua, el agricultor recupera el dólar y obtiene 58 centavos de dólar de utilidad.

Cuadro 4.11. Tasa marginal de retorno

Tr	Costo/ Tr ($)	Costo marginal ($)	Beneficio neto ($)	Beneficio Neto marginal ($)	Tasa marginal de retorno (%)
T1	00	-	66,8	-	-
T3	17,5	17,5	67,4	0,6	3,3
T2	23,8	23,8	80,6	13,8	57,8

Fuente: Investigación directa 2013; Elaboración: Valverde y Morocho.

5. CONCLUSIONES

- Las condiciones físicas del suelo para el estrato de 00 cm – 20 cm de profundidad, se ubicaron en la categoría de Medio.

- El tratamiento T2 (-10 KPa a -25 KPa) registro el mayor consumo de agua de riego con 66,8 mm distribuidos en 30 riegos, mientras que el menor consumo fue para el rango de tensión ente -10 KPa a -55 KPa con 21,2 mm en cuatro riegos.

- El requerimiento total de agua de riego calculado por el método de Penman-Monteith para el cultivo de fresa durante el periodo de (febrero-noviembre) fue de 515 mm; mientras que con el método del tanque evaporímetro tipo A en el mismo periodo fue de 132 mm.

- La correlación entre el consumo de agua registrados por los diferentes tratamientos T2 (-10 KPa a -25 KPa); T3 (-10 KPa a -40 KPa) y T4 (-10 KPa a -55 KPa) y el tanque evaporímetro tipo A, fueron de 0,82 (Bueno); 0,63 y 0,59 (Medio) en su orden; mientras que con el método de Penman-Monteith fueron de 0,71 (Bueno) y 0,30 (Malo) respectivamente.

- La correlación entre el consumo de agua calculado por el método de Penman-Monteith y el método del tanque evaporímetro tipo A es buena, alcanzando un coeficiente de correlación de 0,76.

- El tratamiento T2 (-10 KPa a -25 KPa) presento el mejor rendimiento con una media de 0,75 kg planta^{-1}, diferenciándose estadísticamente del testigo, el cual le correspondió el rendimiento más bajo 0,48 kg planta^{-1}.

- El incremento de la producción entre el tratamiento T2 (-10 KPa a -25 KPa) y el tratamiento T1 (testigo) fue de 56%

- La más alta tasa marginal de retorno se obtuvo con el T2 (-10 KPa a -25 KPa) siendo igual al 57,8 %. lo cual indica que por cada dólar de inversión, se recupera la inversión más 58 centavos de utilidad.

6. RECOMENDACIONES

- Evaluar las propiedades físicas del suelo previo a la instauración de un cultivo y en base a estos resultados planificar estrategias para mejorarlas si es el caso, o para mantenerlas durante el ciclo del cultivo.

- En cultivo de fresa es recomendable usar el rango de tensión de: -10 KPa a -25 KPa), la cual produce un mejor rendimiento.

- 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 evitaría problemas como la erosión producidos por el exceso de agua; o a su vez la obtención de rendimientos bajos debidos a déficit hídrico en los cultivos

- El riego para el cultivo de fresa en la hoya de Loja debe aplicarse al 80 % de la evaporación total del tanque, así se asegura un uso adecuado del agua y a su vez que el cultivo permanezca en condiciones adecuadas de humedad.

- Se recomienda continuar con investigaciones referentes al tema, empleando otros rangos de potencial matricial a los investigados en la presente investigación.

BIBLIOGRAFIA

1.- Allen, R; Pereira, L; Raes, D; Smith, M. 2006. *Evapotranspiración del cultivo*. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. FAO, Roma 2006.

2.- Brazanti, C. 1989. La Fresa. Madrid: Ed. Muldiprensa, 377 p.

3.- Bravo, E; Rosillo, F. 2010. *Respuesta del tomate de mesa (solamun Lycopersicum L) bajo invernadero al mejoramiento de las propiedades físicas del suelo mediante la aplicación de arena silícea y láminas de riego en la estación experimental La Argelia*. Universidad Nacional de Loja. Tesis Loja-Ecuador.

4.- 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.

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

6.- Calzada, B. 1980. *Frutales Nativos .* Lima: Ed. El Estudiante, 210p.

7.- Cenobio,P; Inzunza, M; Mendoza, F; Moreno, I. 2006. *Acolchado plástico de color en sandía con riego por goteo*. Revista TERRA Latinoamericana, 515-520.

8.- Chavez, A; Lasso, Z; Ruiz, H; Benavides, O. 2013. *Efecto de dos coberturas plasticas y tres laminas de agua en un cultivo de fresa*. *Revista de ciencias agrícolas*, 26-37.

9.- Folquer, F. 1986. *La Frutilla o Fresa.* Buenos Aires: Ed. Sur, 150 p.

10.- Gil, J; Montaño, N; Kham, L; Gamboa, A; Narvaes, E. 2000. *Efecto de diferentes estrategias de riego en el rendimiento y la calidad de dos cultivares de melón*. Revista *Bioagro*, 25-30.

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

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

13.- Gruber, L; Lugo,J; Aguilar, J; Alejua, H; Lorbes, J; Rodriguez, Z. 2011. *Efecto del riego y la cobertura plástica sobre la producción de frutos en melón.* Estado de Lara, Venezuela: Revista Serbiluz.

14.- 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.

15.- Jury, W; Horton, R. 2004. *Física de suelos.* New Jersey, USA.

16.- Juscafresca, B. 1987. *Fresas y Fresones.* 1a. ed. Barcelona: Ed. Aedos.

17.- López, R. 2004. *La función de los micro y macro elementos en la nutrición. Cali, Colombia. 112 p*.

18.- Martínes, J. 1996. *Drenaje Agrícola, Apuntes Master Internacional en Ingeniería de Regadios.* Madrid: Ed. CEDEX.

19.- Montes, L. 1986. *Las Fresas.* Buenos Aires: Ed. Albatros, 93 p

20.- Molina, E., R. Salas, y A. Castro. 1993. *Curvas de crecimiento y absorción de nutrimentos en fresa (Fragaria x ananasa cv. Chandler) en Alajuela*. Agronomía Costarricense 17(1), 67-73

21.- Ortiz, R. 2008. *Hidroponía en el suelo.* 1a.ed. Quito: Ed. Abya-Yala, 165 p.

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

23.- Pizarro, F. 1990. *Riegos localizados de alta frecuancia.* Madrid: 2Ed. Mundiprensa, 471 p.

24.- PROEXANT. 2004. *Manual de la Frutilla.* Recuperado el 12 de Noviembre de 2012, de http://www.proexant.com/frutas/frutas_tradicionales/fresa.htm.

25.- Sadras, V. 2000. *Desarrollo fenológico y su respuesta a temperatura y fotoperíodo.* Facultad de Ciencia Agrarias UNMP: Ed. Médica Panamericana S.A.

26.- Segarra , G.; Lozano , Y. 1998*. Uso consuntivo del tomate de arbol (Cyphomandra betacea L,) con diferentes tensiones de humedad y niveles de fertilización bajo riego por microasperción en la Estación Experimental La Argelia*. Universidad Nacional de Loja. Tesis Loja-Ecuador.

27.- Sudzuky, H. 1985. *Cultivo de fresas menores 2a. ed. Santiago de Chile, Ed. Universitaria, 184p.* 2a. ed. Santiago de Chile: Ed. Universitaria, 184p.

28.- Torrente , A. 2007*. Importancia de las propiedades físicas del suelo en el uso eficiente del agua en la agricultura de alto rendimiento*. Revista Suelos ecuatoriales, 15-23.

29.- Torres, F. 2001. *Producción de la Fresa.* Colombia: Ed. Ingeniería Agrícola.

30.- Villalobos, S; Castellanos, J; Chevez, L; Crespo, G. 2005. *Efecto de la tensión de humedad en el suelo sobre rendimiento y calidad del brócoli con riego por goteo*. Revista TERRA Latinoamericana, 321-328.

31.- Valarezo, C; Iñiguez, M; Guaya P; Valarezo, L. *Condiciones fisicas de los suelos de la region sur del Ecuador. Una guía para proyectos de riego, drenaje, manejo y consevación de suelos*. Loja: Ed. Universitaria, 227 p.

32.- Vásques, R. 2004. *Diseño experimental.* Loja: Universidad Nacional de Loja. Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables .

33.- Vera, J. 1993. *Manual del cultivo de Frutilla*, Estación Experimental Tropical Pichilingue. Quito: 2Ed. INIAP

34.- Villagrán, V. 2000. *Cultivo de la Fresa, .* Quito, Vol 2.

35.- Villamagua, M; Valarezo, L; Valarezo, C; Tandazo, K; Ramon, M. 2013. Efecto de granulometrías de biocarbón sobre las condiciones físicas del suelo y tensiones de humedad en el cultivo de tomate (Solanum lycoperscum L) bajo invernadero. Revista CEDAMAZ 1 (03), 65-80.

36.- Villanpando, J. 1993. Observaciones agrometereológicas y su uso en la agrícultura. México: Ed.Lumusa

37.- Zermeño, A; García, M; Castro, I; Rodríguez, H. 2007. *Potencial matricial del suelo y rendimiento del fruto en limón italiano*. Revista Fitotecnia Mexicana, 295-303.

7. ANEXOS

Anexo 1. Parcelas experimentales

Figura 7.1. Parcelas experimentales

Figura 7.2. Parcelas experimentales

Anexo 2. Sistema de riego

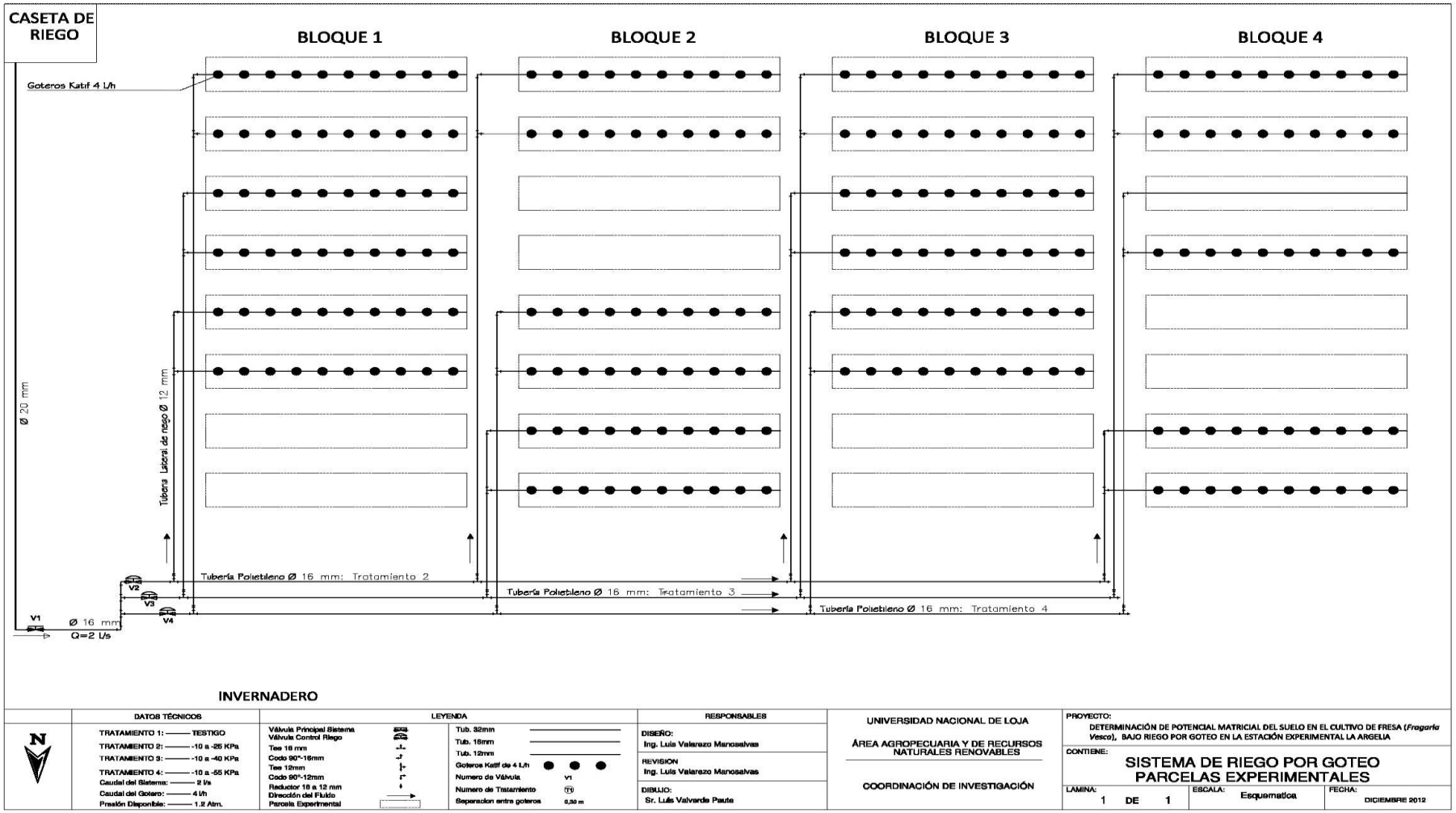

Figura 7.3. Esquema del sistema de riego

Anexo 3. Distribución de las unidades experimentales

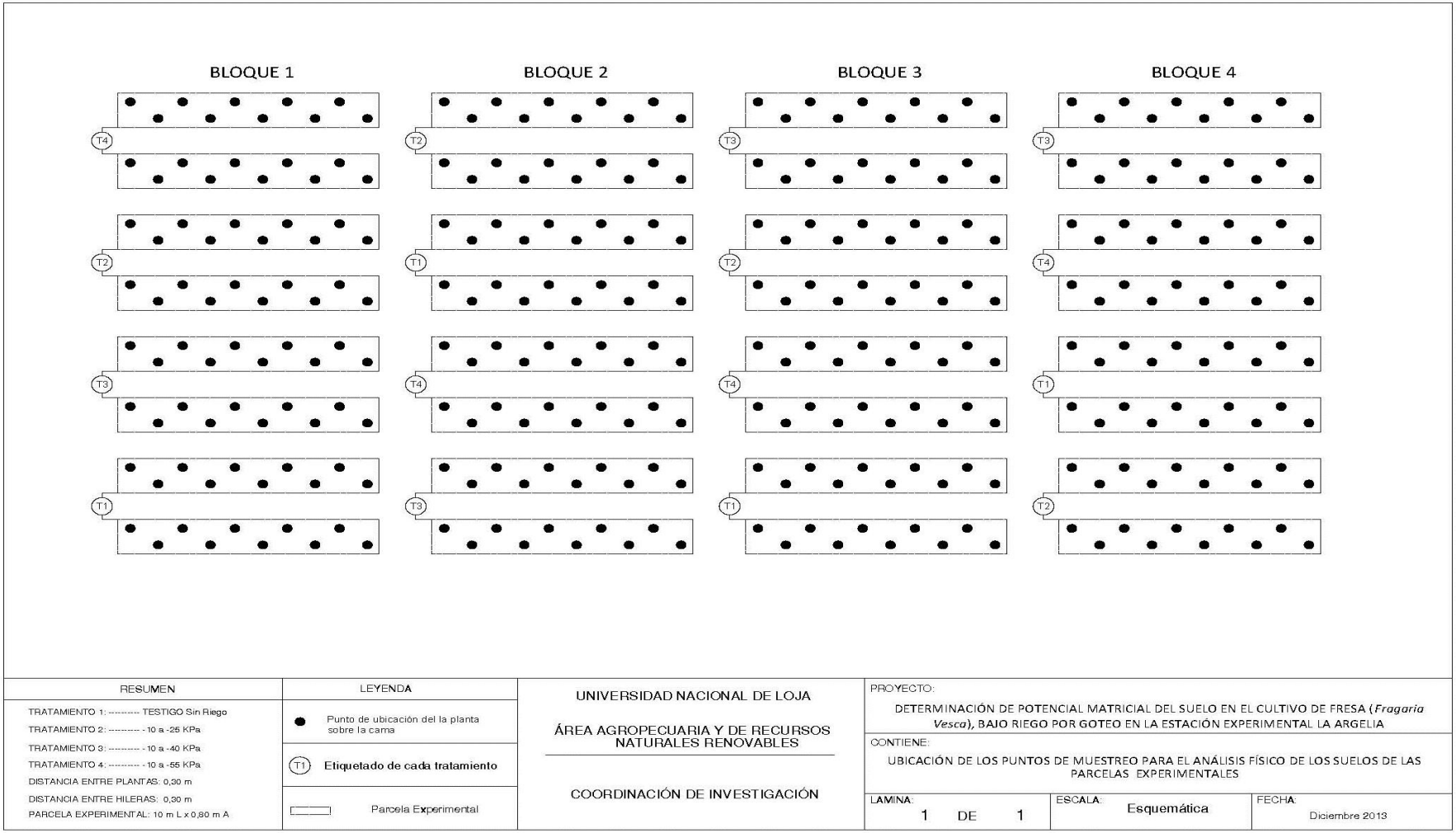

Figura 7.4. Esquema de las parcelas experimentales

Anexos 4. Tanque evaporímetro tipo A y pluviómetro tipo Hellman

Figura 7.5. Tanque evaporímetro tipo A ***Figura 7.6. Pluviómetro tipo Hellman***

Anexos 5. Instalación de tensiómetros

Figura 7.7. Instalación del tensiómetro ***Figura 7.8. Bomba de vacío manual***

Anexos 6. Instalación del sistema de riego

Figura 7.9. Instalación de la tubería y válvulas de paso del sistema de riego

Figura 7.10. Colocación de las tuberías secundarias

Figura 7.11. Tendido de laterales de riego

Figura 7.12. Gotero katif Marron-Negro

Figura 7.13. Conexión de accesorios

Anexo 7. Curvas de calibración de los tensiómetros

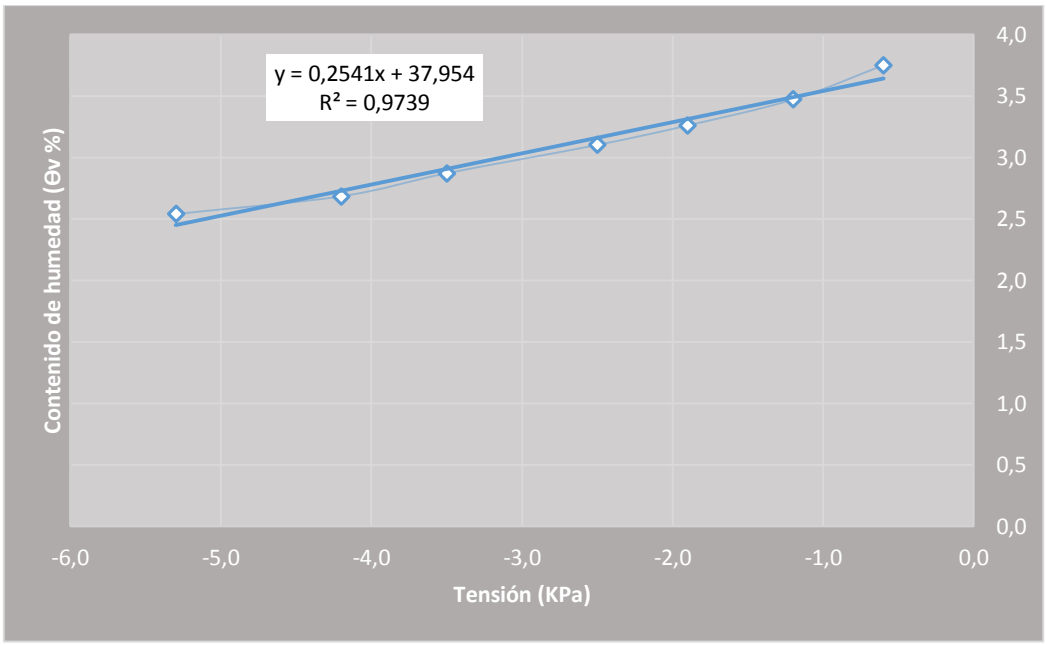

Figura 7.14. Curva de calibración del tratamiento T2

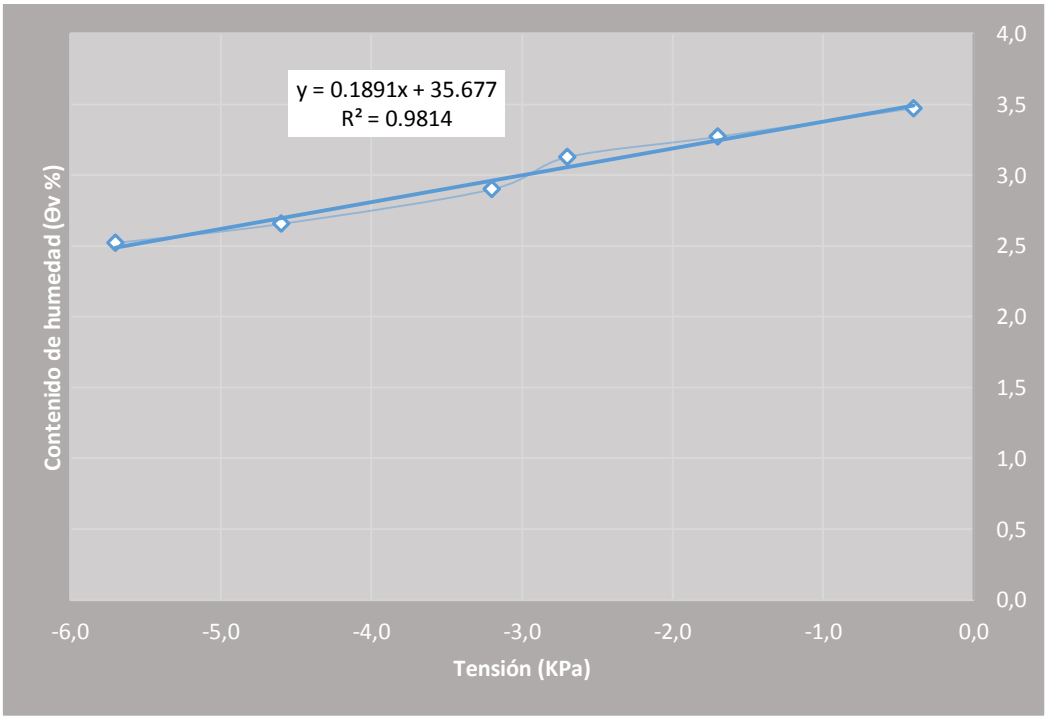

Figura 7.15. Curva de calibración del tratamiento T3

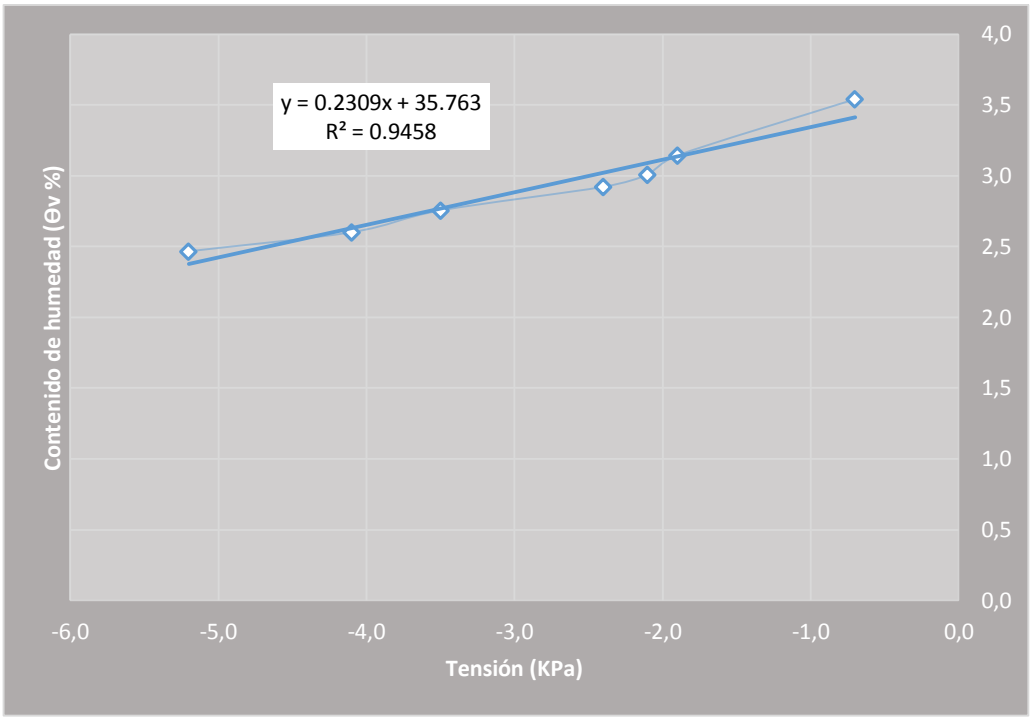

Figura 7.16. Curva de calibración tratamiento T4

Anexo 8. Curva de extracción de nutrientes del cultivo de fresa

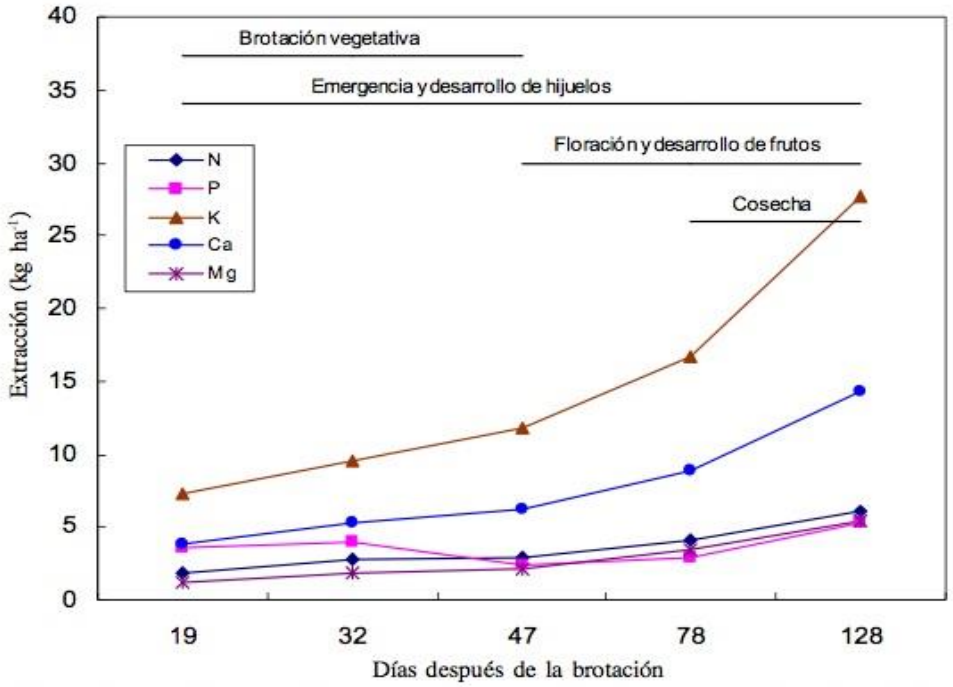

Figura 7.17. Curva de extracción de nutrientes (N, P, K, Ca y Mg) de la fresa

Anexo 9. Agrotécnia del cultivo

Figura 7.18. Preparación del terreno

Figura 7.19. Elaboración de camas

Figura 7.20. Colocación de acolchado

Figura 7.21. Ahoyado

Figura 7.22. Desinfección de plántulas

Figura 7.23. Ahoyado del suelo

Figura 7.24. Ubicación de plantulas

Figura 7.25. Siembra

Figura 7.26. Controles fitosanitarios

Figura 7.27. Cultivo a los 90 DDT

Figura 7.28. Algunos productos para control fitosanitario

Figura 7.29. Ataque de viruela

Figura 7.30. Ataque de botrytis

Figura 7.31. Daños provocados por pájaros

Figura 7.32. Cultivo a los 162 DDT; primer cosecha

Figura 7.33. Cultivo en época de cosecha

Figura 7.34. Cultivo en época de cosecha

Figura 7.35. Frutos de fresa

Anexo 10. Calculo de las necesidades de agua del cultivo de fresa; por el método del tanque evaporímetro tipo A

MES	Kp	Ep	Kc	ETc	PP Probable 80% (mm)	PP Efectiva (mm)	NN Neta (mm)	NN Total (mm)	Vol. Mensual (m^3 ha^{-1})	Dotación Riego (L s^{-1} ha^{-1})
FEB	0,65	65,3	0,4	16,9	77,6	68,0	-51,0	000	00	000
MAR	0,65	90,2	0,49	28,7	91,8	78,3	-49,6	000	00	000
ABR	0,65	98,4	0,58	37,1	69,9	62,1	-25,0	000	00	000
MAY	0,65	75,7	0,67	32,9	41,0	38,3	-5,3	000	00	000
JUN	0,65	66,4	0,76	32,8	19,9	19,3	13,5	15,0	1500	006
JUL	0,65	75,1	0,85	41,4	33,6	31,8	9,7	10,8	107,7	004
AGO	0,65	77,1	0,85	42,6	26,9	25,7	16,9	18,8	187,8	007
SEP	0,65	97,8	0,85	54,0	31,4	29,8	24,2	26,9	269,3	0,10
OCT	0,65	89,2	0,85	49,2	36,8	34,6	14,7	16,	163,1	006
NOV	0,65	117,0	0,85	64,6	25,4	24,4	40,2	44,7	447,1	0,17
TOTAL				400,4	454,3	412,3	-11,6	132,5	877,9	0,33

Anexo 11. Calculo de las necesidades de agua del cultivo de fresa; por el método de Penman-Monteith

MES	ETo	Kc	ETc	PP Probable 80% (mm)	PP Efectiva (mm)	NN Neta (mm)	NN Total (mm)	Vol. Mensual (m^3 ha^{-1})	Dotación Riego (L s^{-1} ha^{-1})
FEB	102,8	0,4	41,1	77,6	68,0	-26,9	00	00	000
MAR	106,6	0,49	52,3	91,8	78,3	-26,0	00	00	000
ABR	106,8	0,58	61,9	69,9	62,1	-0,2	00	00	000
MAY	107,9	0,67	72,3	41,0	38,3	34,0	37,8	377,6	0,14
JUN	106,2	0,76	80,7	19,9	19,3	61,4	68,2	682,4	0,26
JUL	119,0	0,85	101,2	33,6	31,8	69,4	77,1	770,9	0,29
AGO	133,0	0,85	113,0	26,9	25,7	87,3	97,0	970,5	0,37
SEP	109,4	0,85	93,0	31,4	29,8	63,2	70,2	702,1	0,27
OCT	124,6	0,85	105,9	36,8	34,6	71,3	79,3	792,5	0,30
NOV	119,7	0,85	101,7	25,4	24,4	77,3	85,9	859,4	0,33
TOTAL			823,2	454,3	412,3	410,9	515,5	5155,3	1,96

Anexo 12. Parámetros para la determinación del coeficiente de tanque Kp (FAO 56)

Tanque Clase A	Caso A: Tanque situado en una superficie cultivada				Caso B: Tanque situado en un suelo desnudo			
HR media		baja	media	alta		baja	media	alta
		< 40	40-70	> 70		< 40	40-70	> 70
Velocidad del viento (m s^{-1})	Distancia del cultivo a barlovento (m)				Distancia del barbecho a barlovento (m)			
Baja	1	,55	,65	,75	1	,7	,8	,85
< 2	10	,65	,75	,85	10	,6	,7	,8
	100	,7	,8	,85	100	,55	,65	,75
	1 000	,75	,85	,85	1 000	,5	,6	,7
Moderada	1	,5	,6	,65	1	,65	,75	,8
2-5	10	,6	,7	,75	10	,55	,65	,7
	100	,65	,75	,8	100	,5	,6	,65
	1 000	,7	,8	,8	1 000	,45	,55	,6
Alta	1	,45	,5	,6	1	,6	,65	,7
5-8	10	,55	,6	,65	10	,5	,55	,65
	100	,6	,65	,7	100	,45	,5	,6
	1 000	,65	,7	,75	1 000	,4	,45	,55
Muy alta	1	,4	,45	,5	1	,5	,6	,65
> 8	10	,45	,55	,6	10	,45	,5	,55
	100	,5	,6	,65	100	,4	,45	,5
	1 000	,55	,6	,65	1 000	,35	,4	,45

Anexo 13. Análisis químico de suelos sobre la finalización del proyecto

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

LASAB

Provincia:	Loja	FECHA DE INGRESO:	18 de septiembre de 2013
Cantón:	Loja	FECHA DE EGRESO:	18 de octubre de 2013
Parroquia:	El Sagrario	RESPONSABLE:	Luis Valverde
Sector o Proyecto:	Invernadero de la Estación Experimental "La Argelia"		

1. RESULTADOS DE ANÁLISIS

Cód Lab	Cod. Campo	pH	M.O	C.I.C	N	P_2O_5	K_2O	Ca disp.	Mg disp.	Fe	Mn	CE
			%	meq/ 100 ml	ppm	ppm	ppm	meq/ 100 ml	meq/ 100 ml	ppm	ppm	mmhos/cm
1158	M1	6.9	1.9	9.24	167.8	27,96	200.7	9.01	0.98	125.9	16.7	4.24

2. INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS

Cód Lab	Cod. Cam.	pH	M.O	C.I.C	N	P_2O_5	K_2O	Ca disp.	Mg disp.	Fe	Mn	CE
			%	meq/ 100 ml	ppm	ppm	Ppm	meq/ 100 ml	meq/ 100 ml	ppm	ppm	mmhos/cm
1158	M1	Práctica mente Neutro	Bajo	Media	Muy Alto	Medio	Alto	Alto	Bajo	Muy Alto	Alto	Ligeramente salino

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

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

Anexo 14. Fertilización base

Cuadro 7.1. Calculo de la fertilización base para el cultivo de fresa

	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn	Cu	B
					Kg m^{-2}					
Requerimiento cultivo	10,2	5,1	17,9	6,1	5,1	0,4	00	0,1	00	0,8
Análisis del suelo	2,8	2,2	5,8	00	00	00	00	00	00	00
Necesidad E Nutrientes	12,9	8,0	19,8	10,2	7,3	0,6	0,1	0,2	00	1,3
% fertilización base	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Fertilización base	3,9	2,4	5,9	3,1	2,2	0,2	00	0,1	00	0,4
Eficiencia fertilización base	0,7	0,5	0,7	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Fertirriego	9,1	5,6	13,9	7,2	5,1	0,4	00	0,1	00	0,9
	N	**P205**	**K20**	**CaO**	**MgO**	**Fe2O3**	**Zn**	**Mn**	**Cu**	**B**
Fertilización base	3,9	5,5	7,1	4,3	3,6	0,3	00	0,1	001	0,4

Cuadro 7.2. Cantidad a aplicar de fertilizante por cama

Fertilizante	**Kg**
Sulfato de amonio	8,1
Sulpomag	32,4
Óxido de Zinc	1,0
Sulfato de manganeso	1,0
Sulfato de cobre	2,0
Borax	3,5
TOTAL	48,0
Kg cama $^{-1}$	1,5

Anexo 15. Tríptico divulgativo

Cuadro 4.2.1. Consumo de agua por tratamiento

Meses	Laminas (mm)		
	T2	T3	T4
Febrero	0,0	0,0	0,0
Marzo	0,0	0,0	0,0
Abril	5,17	4,72	5,40
Mayo	0,0	0,0	0,0
Junio	2,12	0,0	0,0
Julio	6,47	0,0	0,0
Agosto	10,82	3,21	5,22
Septiembre	16,17	9,63	0,0
Octubre	12,32	0,0	0,0
Noviembre	13,73	6,49	10,53
TOTAL	66,80	24,05	21,15
Consumo de agua calculados por los métodos			
Tanque "A"		Penman-Monteith	
132,5 mm		515,93 mm	

4.3. Rendimiento

Estadísticamente a nivel de significancia del 5% la separación de medias determino que el T2 es estadísticamente diferente al T1. El mejor rendimiento corresponde al T2 con un valor de 0,75 kg planta $^{-1}$, y el menor rendimiento es para el T1 con 0,48 kg planta $^{-1}$. El incremento de la producción entre el T2 y el T1 es de 56%.

Cuadro 4.3. Rendimientos promedio en Kg planta $^{-1}$

Tratamiento	Kg planta $^{-1}$
T2 (-10 a -25 KPa	0,75 A
T3 (-10 a -40 KPa	0,61 B
T4 (-10 a -55 KPa	0,60 B
T1 (Testigo)	0,48 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

4.4. Analisis economico

El tratamiento T2 registro mayor beneficio neto ($ 80,6) frente al tratamiento T1 ($ 66,8). La mayor tasa de retorno marginal, igualmente le correspondió para el tratamiento T2 (57,8 %).

Cuadro 4.4. Tasa de retorno marginal

T	Costo/ Tr $	Costo marginal $	Beneficio Neto $	Beneficio Neto Marginal $	Tasa de retorno Marginal %
T1	66,8	-	66,8	-	-----
T3	17,5	17,5	67,4	0,6	3,3
T2	23,8	23,8	80,6	13,8	57,8

5. Conclusiones

De acuerdo a la evaluación física del suelo, todas las réplicas fueron homogéneas (medio).

El tratamiento que registro mayor consumo de agua fue T2 con 66,80 mm, en 30 riegos, mientras que el T4 solamente recibió 21,15 mm en cuatro riegos

El mayor rendimiento se obtuvo con el T2 (0,75 kg planta $^{-1}$) frente al menor rendimiento que fue el del T1 (0,48 kg planta $^{-1}$. El incremento de la producción entre el T2 y el T1 fue del 56%.

INFORMACIÓN:

Coordinación de Investigación del AARNR
Telf.: 2545329

Ing. Luis Valarezo M.

lvalarezomanosalvas@yahoo.es

Jackedu_19@hotmail.com
luisval.com@gmail.com

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

"Determinación del rango optimo del potencial matricial del suelo en el cultivo de fresa (*fragaria vesca*) bajo riego por goteo en la Estación Experimental La Argelia"

EQUIPO DE INVESTIGACIÓN:

Ing. Luis G. Valarezo M.
Egdo. Luis Valverde P.
Egdo. Jackson A. Morocho T.

LOJA-ECUADOR
Diciembre 2013

1. PROBLEMA.

El cantón Loja por estar ubicado dentro de la sierra andina, es una importante área de producción de alimentos, esto lo constituye en una zona estratégica para el desarrollo del sector rural y la seguridad alimentaria. Debido a que estacionalmente atraviesa importante un déficit hídrico por la distribución irregular de las precipitaciones a lo largo del año, y con el fin de asegurar niveles elevados de producción de los cultivos, es indispensable la aplicación suplementaria de agua a través de riego en los meses de déficit hídrico (mayo a noviembre), donde se registra el 25 % de las precipitaciones de todo el año (INAMHI, 2012).

La optimización del uso del agua y el mejoramiento de la eficiencia del riego, demanda del conocimiento con suficiente base científica-técnica a través de rangos de tensión de humedad del suelo (potencial matricial), a fin de establecer desde y hasta cuando regar.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Generar conocimientos orientados al manejo apropiado del agua, suelo y la planta, en base al potencial matricial del suelo para la producción de fresa (fragaria vesca) bajo riego por goteo en la Estación Experimental La Argelia, con el objeto de mejorar su rentabilidad y el uso racional del agua de riego, en directo beneficio para los pequeños y medianos productores; así como, contribuir al fortalecimiento de los procesos de formación profesional en el Área Agropecuaria de la Universidad Nacional de Loja y sus acciones de vinculación con la colectividad.

2.2. Objetivos Específicos

a) Determinar los valores de los parámetros de las características físico-químicas del suelo que gobiernan la relación suelo - agua – planta en el sector Los Molinos de la Estación Experimental La Argelia.

b) Determinar el rango adecuado del potencial matricial del suelo para el cultivo de fresa (fragaria vesca); y, contrastar el consumo de agua frente a los valores generados con los métodos de Penman-Montieth y del tanque de evaporación clase "A".

c) Evaluar el efecto de tres tensiones de humedad del suelo sobre el rendimiento y la rentabilidad del cultivo de fresa (fragaria vesca) en la estación Experimental La Argelia.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Ubicación: La presente investigación se realizó en la quinta experimental La Argelia de la Universidad Nacional de Loja de febrero a noviembre de 2013.

3.2. Método

El diseño experimental que se utilizo es el de Bloques al Azar con arreglo mono factorial con cuatro replicas.

Variable Independiente: Tensión de humedad (potencial matricial).

T1:Testigo (sin riego) T2: -10 a -25 KPa

T3: -10 a -40 KPa T4: -10 a -55 KPa

Variables Dependientes

- Capacidad de campo (1/10; 1/3 atm)
- Punto de marchitez permanente (15 atm)
- Capacidad de aireación (Qv%)
- Agua aprovechable (Qv%)
- Volumen de poros físicamente inerte (%)
- Rendimiento en kg/planta/tratamiento

4. RESULTADOS

4.1 Condiciones físicas del suelo

Cuadro 4.1: Condiciones físicas del suelo

R	Da (g cm³)	% Qv			Condiciones físicas del suelo			Equivalencia			
		SS	CC	PMP	AA	CA	VPFI	AA	CA	Zona	Clase
1	1,4	46,2	31,37	8,83	22,54	14,90	62,56	Muy Alto	Medio	III	Media
2	1,5	43,87	33,20	10,15	23,05	10,67	66,28	Muy Alto	Medio	III	Media
3	1,5	43,15	32,38	10,11	22,27	10,77	66,96	Muy Alto	Medio	III	Media
4	1,4	46,78	32,46	9,48	22,97	14,32	62,71	Muy Alto	Media	III	Media

Al evaluar las condiciones físicas del suelo se desprende que en las cuatro replicas, el agua aprovechable oscila de 22,27% a 23,05% (Muy Alto); mientras que la capacidad de aireación varía entre 10,67% y 14,90% (Medio). Al ubicar estos valores en el diagrama triangular, se obtiene que las condiciones físicas del suelo para el crecimiento de las plantas en el horizonte de 0,0 – 20 cm son homogéneas, ya que todas las réplicas se ubican a la zona III, equivalente a Medio.

4.2. Consumo de agua

Cuadro 4.2. Coeficientes de correlación entre el consumo de agua registrado a diferentes tensiones de humedad y los requerimientos calculados por Penman-Monteith y Tanque evaporímetro clase "A"

Tratamiento	Penman-Monteith	Tanque "A"
T2 (-10 a -25 KPa)	0,71	0,82
T3 (-10 a -40 KPa)	0,30	0,63
T4 (-10 a -55 KPa)	0,30	0,59
Tanque "A"	0,76	-

Anexo 16. Planificación del evento de difusión de resultados (día de campo)

- Tipo de evento : Día de campo
- Tema : “Determinación del potencial matricial del suelo en el cultivo de fresa (fragaria vesca) bajo riego por goteo en la Estación Experimental La Argelia”
- Lugar : Loja
- Participantes: Director y asesores de tesis, Tesistas y Estudiantes de la carrera de Ingeniería Agrícola.
- Fecha: Miércoles 18 de Diciembre del 2013.

Figura 7.36. Día de campo

PLANIFICACIÓN DEL EVENTO DE DIFUSIÓN DE RESULTADOS (DÍA DE CAMPO)				
PASO	ACTIVIDAD	RECURSOS	TÉCNICA	TIEMPO
1	Presentación Introducción. Objetivo General Objetivos Específicos	Gigantografías, Tríptico	Exposición oral	15 minutos
2	Exposición de la temática: Tema de tesis Objetivos Justificación Metodología Resultados	Cultivo Muestras de materiales utilizados Tríptico	Exposición oral Preguntas y sugerencias Análisis y discusión	25 minutos
3	Finalización: Espacio de tiempo para la respuesta por parte de los tesistas a preguntas e inquietudes de los Asistentes	Cultivo Muestras de materiales utilizados	Criterios orales y escritos	20 minutos
4	Refrigerio			30 minutos
	DURACIÓN TOTAL DEL EVENTO			90 minutos

Anexos 17. Calculo de la depreciación; operación y mantenimiento del sistema de riego

Cuadro 7.3. Depreciación anual por tratamiento

Concepto	Costo total (500 m^2) $	Costo por tratamiento	*Años de vida útil*	*Depreciación anual por tratamiento $*
Sistema de riego por goteo	556	*139*	*10*	*13,39*

Cuadro 7.4. Costo de operación y mantenimiento del sistema de riego por tratamiento.

Tratamiento	Numero de riegos (Nª)	Tiempo de riego (mln)	Total (Horas)	Costo/Horas ($)	Costo/ tratamiento ($)
T1	0	-	-	-	-
T2	30	13	6,5	1,5	9,75
T3	7	20	2,3	1,5	3,45
T4	4	33	2,2	1,5	3,3

Fuente: Investigación directa 2013; Elaboración: Valverde y Morocho.