

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE
LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE
OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y
DETERMINACION DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD
COMO HERRAMIENTA DE OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO
DE RIEGO**



LISETH NAYIBE JAVELA FLOREZ

YILBERTH ALEXANDER OVIEDO BONILLA

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA AGRICOLA
NEIVA
2011**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE
LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE
OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y
DETERMINACION DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD
COMO HERRAMIENTA DE OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO
DE RIEGO**

LISETH NAYIBE JAVELA FLOREZ

YILBERTH ALEXANDER OVIEDO BONILLA

**Proyecto de Grado presentado como
requisito parcial para optar al Título
de Ingeniero Agrícola**

Director: Ms. C. JAIME IZQUIERDO BAUTISTA

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA AGRICOLA
NEIVA
2011**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE
LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE
OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO**

Nota de aceptación:

M. Sc JAIME IZQUIERDO BAUTISTA
DIRECTOR

Esp. GILBERTO ALVARES LINARES
JURADO

Esp. MIGUEL GERMAN CIFUENTES
JURADO

Neiva, Junio de 2011.

DEDICATORIA

Este proyecto de grado se lo dedico primeramente a Dios que con su amor y misericordia hoy me permite cumplir un sueño, una meta mas, le doy gracias por que durante el transcurso de mi vida ha puesto personas a las cuales hoy les quiero agradecer por estar a mi lado y de una u otra manera contribuir con mi desarrollo, crecimiento y formación como persona y como profesional, en especial quiero agradecer a mi Padre Ramón Javela quien con su amor y paciencia durante mis primeros años me enseñó el valor de la vida y de la educación, a mi Madre Luz Mery Florez por ser mi amiga y quien sin importar la situación siempre me brindo su cariño, a mi Hermana Kilian Javela quien durante toda mi vida ha sido mi compañera incondicional amiga y consejera, a mis compañeros de la universidad con los que compartí muchos hermosos momentos que llevare siempre en mi memoria, a los profesores de Ing., Agrícola por todos los conocimientos que me transmitieron, a mi familia en general, a mis amigos y todas aquellas personas que me han acompañado durante mi vida.

ING. JAVELITA

Este proyecto de grado lo dedico principalmente a Dios quien fue y es mi guía, a mis padres quienes sacrificaron mucho si para permitir mi educación y me entregaron todo su amor, a mis hermanos por ser una razón más para alcanzar mis objetivos, a mis maestros por transmitirme sus conocimientos y experiencias de la mejor forma posible, a mis compañeros con quienes compartí gratos y e inolvidables momentos dentro y fuera de nuestra alma mater, al ingeniero Pérez quien me compartió algo de su sabiduría y muy especialmente a la ingeniera Liseth Javela quien me enseñó mucho con su forma de ser.

ING. OVIEDO

AGRADECIMIENTOS DE LOS AUTORES

A Dios por darnos la vida, bendecirnos y llevarnos de su mano siendo nuestro guía por el camino de la vida y a quien por su amor y bondad infinita le debemos hoy la realización de este proyecto.

Al Ing. Gilberto Alvarez Linares quien es nuestro jurado y fue colaborador durante el proceso de desarrollo del proyecto de grado aportando su conocimiento, apoyo económico y brindándonos su amistad.

Al Ing. Jaime Izquierdo Bautista quien fue nuestro profesor y es el director del proyecto de grado transmitiéndonos su conocimiento y criticas que fueron bien aceptadas.

Al Ing. Miguel Germán Cifuentes por su colaboración durante el proceso de formación académica permitiendo nutrirnos de sus experiencias laborales y quien es jurado del presente proyecto.

Al Ing. Rodrigo Alberto Pachón, quien fue nuestro profesor y en quien encontramos una amistad, apoyo y consejo.

A la secretaria del Programa de Ingeniería Agrícola la Sr. Gladis Quino quien con su amabilidad siempre tuvo disposición de colaborarnos en los contratiempos que se nos presentaron durante la carrera.

Al Ing. Eduardo Valencia quien fue nuestro profesor y nos brindo sus conocimientos, agradecemos su interés, disposición y tiempo dedicados al crecimiento de la calidad del Programa.

Al Ing. Hernando Diaz Llanos quien fue nuestro profesor y nos transmitió sus conocimientos en Ing. Civil.

Al Ing. Jose Duvan Henao quien nos aporto sus conocimientos en cuanto a procesos de poscosecha.

A los demás profesores de Ing. Agrícola quienes de una u otra manera aportaron su conocimiento y contribuyeron a nuestra formación como futuros profesionales de la Ingeniería agrícola y a nuestros compañeros de código, especialmente a Anyelo Johan Perez, Roberth Orjuela, Alvaro Enrique Perdomo, Maria Fernanda Duran, Michael Andrés Falla, Jose Miguel Gonzales y Edinson Alarcon quienes nos acompañaron durante la carrera.

CONTENIDO

RESUMEN	Pg
SUMMARY	
OBJETIVOS	
1. INTRODUCCIÓN	1
2. JUSTIFICACIÓN	2
3. REVISIÓN LITERARIA	3
4. METODOLOGÍA.	6
4.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO	6
4.2 Cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET ₀). Penman-Monteith.	8
4.2.1 Ecuación para el cálculo de la ET ₀ :	8
4.2.2 La ecuación de resistencia aerodinámica del cultivo de referencia (r _a) en condiciones de estabilidad de la atmósfera es:	8
4.2.3 La ecuación de resistencia superficial del cultivo de referencia (r _s) es:	9
4.2.4 La ecuación de densidad del aire seco a presión constante (p _a) es:	10
4.2.5 La ecuación de calor específico del aire (c _p) es:	10
4.2.6 La ecuación de calor latente de evaporación es:	11
4.2.7 La ecuación de pendiente de la curva que relaciona la presión de vapor con la temperatura del aire (D) es:	11
4.2.8 La ecuación de radiación neta en la superficie del cultivo (R _n) es:	11
4.2.9 La ecuación de déficit de presión de vapor (e _a) es:	12
4.2.10 La ecuación de radiación solar para un día sin nubes (R _{so}) es:	13
4.2.11 La ecuación de flujo térmico del suelo (G) es:	14
4.2.12 La ecuación de calor latente de vaporización constante es:	14
4.2.13 La ecuación de e _s es:	15

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE
LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE
OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO**

4.3	PRECIPITACION EFECTIVA	15
4.4	CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA	16
4.5	HORIZONTES DEL SUELO	17
4.6	CALIDAD DE AGUA	19
4.7	COEFICIENTE DE CULTIVO (KC) PARA PASTOS	20
4.8	CONCEPTOS BÁSICOS DE SUELOS	21
4.8.1.	EL AGUA EN EL SUELO	21
4.8.2.	TENSIÓN DEL AGUA	21
4.8.3	CAPACIDAD DE CAMPO	22
4.8.4	PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE	23
4.8.5	AGUA APROVECHABLE DEL SUELO	24
4.8.6	INFILTRACIÓN DEL AGUA EN EL SUELO	25
4.8.7	RELACIONES SUELO / AGUA / PLANTA	26
4.8.7.1	Zona de extracción de humedad	26
4.8.8	EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO	27
4.8.9	MOVIMIENTO DEL AGUA EN EL SUELO	28
4.8.10	FRENTE DE MOJADURA	28
4.8.11	PENETRACIÓN DEL AGUA EN EL SUELO	29
4.8.12	ALMACENAMIENTO DEL AGUA	29
4.8.13	DENSIDAD APARENTE	29
4.8.14	CANTIDAD Y DISTRIBUCIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA EN EL SUELO	29
4.8.15	POROSIDAD	30
4.9	ANÁLISIS DEL AGUA	31
4.10	ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS	32
4.11	BOCATOMA	33
4.12	DESARENADOR	34
4.13	DISEÑO SISTEMA DE RIEGO	35
4.13.1	Canal De Derivación	36
4.13.2	Carga Vertical en Tuberías	36
4.13.3	Apoyos en Tuberías	37
4.13.4	Golpe de Ariete	39

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE
LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE
OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO**

5. RESULTADOS	41
5.1 ANALISIS QUIMICO DE SUELOS	41
5.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS SUELOS	44
5.3 ANALISIS DE AGUA	50
5.3.1 CLASIFICACION	51
5.4 ANÁLISIS HIDROCLIMATOLOGICO	53
5.5 REQUERIMIENTOS DE RIEGO	59
5.5.1 PLAN DE RIEGO MES CRÍTICO	60
5.6 PLAN DE RIEGO CON CURVAS DE RETENCIÓN DE HUMEDAD	61
5.6.1 Localización del tensiómetro	67
5.6.2 Recomendaciones	67
5.6.3 Ventajas	67
5.6.4 Desventajas	68
5.7 DISEÑO DE SISTEMA DE RIEGO	70
5.7.1 Diseño Canal de Derivación	71
5.7.2 Diseño de Bocatoma de Fondo	73
5.7.2.1 Calculo de la tubería de aducción	78
5.7.2.2 Diseño Estructural.	80
5.7.3 DISEÑO DESARENADOR	81
5.7.3.1 Diseño Estructural.	87
5.7.3.2 Diseño de Mezcla para bocatoma y desarenador	88
5.7.4 DISEÑO CONDUCCION PRINCIPAL	88
5.7.5 DISEÑO DE RED HIDRÁULICA	90
5.7.5.1 Calculo De Las Pérdidas De Energía En La Sección Semimovil	91
5.7.5.2 Muestra de Cálculo de Apoyo para La Conducción Principal.	96
5.7.5.3 Muestra de Cálculo de Sobre Presión por Golpe de Ariete	97
6. PRESUPUESTO	98
7. CONCLUSIONES	101
8. RECOMENDACIONES	103
9. BIBLIOGRAFÍA	104

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE
LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE
OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO**

ANEXOS	107
ANEXO NO. 1 DATOS HIDROCLIMATOLOGICOS DE LA ZONA	107
Anexo No. 1.1 Valores de Precipitación mensuales para 20 años	107
Anexo No. 1.2 Temperaturas mensuales para 20 años	108
Anexo No. 1.3 Velocidad del Viento mensuales para 20 años	109
ANEXO NO. 2 HERRAMIENTAS DE CÁLCULO PARA REQUERIMIENTO DE RIEGO	110
Anexo No. 2.1 Ecuaciones de Requerimiento Hídrico	110
Anexo No. 2.2 Valores de Requerimiento de riego para cada zona	116
Anexo No. 2.2.1 Cantidad de Hidrantes, área y posiciones por zona	116
Anexo No. 2.2.2 Características del aspersor	116
Anexo No.2.2.3 Valores de cálculo de requerimiento hídrico para Eucaliptos	117
Anexo No. 2.2.4 Valores de cálculo de requerimiento hídrico para Zona P	117
Anexo No. 2.2.5 Valores de cálculo de requerimiento hídrico para Zona E	118
Anexo No. 2.2.6 Valores de cálculo de requerimiento hídrico para Zona C	118
Anexo No. 2.2.7 Valores de cálculo de requerimiento hídrico para Zona G	119
Anexo No. 2.2.8 Valores de cálculo de requerimiento hídrico para Huerta	119
Anexo No. 4 Tablas para obtención de curvas de humedad	121
Anexo No. 4.1 Retención de humedad a 0,1 BAR	122
Anexo No. 4.2 Retención de humedad a 0,3 BA	123
Anexo No. 4.3 Retención de humedad a 0,5 BAR	124
Anexo No. 4.4 Retención de humedad a 5 BAR	125
Anexo No. 4.5 Retención de humedad a 10 BAR	126
Anexo No. 4.6 Retención de humedad a 15 BAR	126
Anexo No. 4.7 Muestra de cálculo para %humedad	127
Anexo No. 4.8 Graficas Curvas de humedad	127
Anexo No. 4.8.1 Retención de Humedad para la zona Eucalipto	127
Anexo No. 4.8.2 Retención de Humedad para la zona P	127
Anexo No. 4.8.3 Retención de Humedad para la zona E	128
Anexo No. 4.8.4 Retención de Humedad para la zona C	128
Anexo No. 4.8.5 Retención de Humedad para la Huerta	129
Anexo No. 4.8.6 Retención de Humedad para la Zona G	129
Anexo No. 4.9 Graficas derivadas de Plan de Riego por curvas de Retención de Humedad	130
Anexo No. 4.9.1 LAS con el tiempo para la Huerta	130

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE
LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE
OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO**

Anexo No. 4.9.2	LAS con el tiempo para la Zona P	130
Anexo No. 4.9.3	LAS con el tiempo para la Zona E	131
Anexo No. 4.9.4	LAS con el tiempo para la Zona C	131
Anexo No. 4.9.5	LAS con el tiempo para la Zona G	132
Anexo No. 4.9.6	Condiciones para la Zona Eucaliptos	133
Anexo No. 4.9.7	Condiciones para la Zona P	134
Anexo No. 4.9.8	Condiciones para la Zona E	135
Anexo No. 4.9.9	Condiciones para la Zona C	136
Anexo No. 4.9.10	Condiciones para la Zona Huerta	137
Anexo No. 4.9.11	Condiciones para la Zona G	138
Anexo No. 5 Tablas Utilizadas en el Diseño		139
<u>PLANOS</u>		141

LISTA DE TABLAS

Tabla No. 1	Interpretación conductividad Hidráulica	17
Tabla No. 2	parámetros admisibles de agua para riego	19
Tabla No. 3	Coeficiente de Cultivo (Kc)	20
Tabla No. 4	Valores de CC y PMP estándar para diferentes texturas	24
Tabla No. 5	Valores de Infiltración	26
Tabla. NO. 6	Clases texturales de suelo (Soil Survey Staff USDA) y densidad aparente (g/cm ³)	30
Tabla No. 7	Valores de porosidad para diferentes suelos	31
Tabla No. 8	Clasificación del agua según CSR y PSP	32
Tabla No. 9	Coeficiente experimental C	37
Tabla No. 10	Esfuerzo admisible vertical típico	38
Tabla No. 11	Coeficiente de fricción suelo Concreto	39
Tabla. No. 12	Relación entre el modulo de elasticidad del agua y del material de la tubería	40
Tabla No. 13	Análisis de suelos lotes de Eucaliptos	41
Tabla No. 14	Análisis de suelos lotes C en pasto Brechiaría	41
Tabla No. 15	Análisis de suelos lote Huerta	42
Tabla No. 16	Análisis de suelos lotes P-E	43
Tabla No. 17	Zona Eucaliptos	44
Tabla No. 18	Zona P	45
Tabla No. 19	Zona E	46
Tabla No. 20	Zona C	47

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE
LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE
OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO**

Tabla No. 21	Zona Huerta	48
Tabla No. 22	Zona G	49
Tabla No. 23	Resultados de análisis fisicoquímicos de agua	49
Tabla No. 24	Evapotranspiración para cada mes del año	50
Tabla No. 25	Precipitación Efectiva para cada Mes.	53
Tabla No. 26	Evapotranspiración, Precipitación Efectiva y Necesidad de Riego	56
Tabla No. 27	Requerimientos de riego para cada zona	59
Tabla No. 28	Plan de Riego	60
Tabla No. 29	% de humedad a diferentes presiones para cada Zona	61
Tabla No. 30	LAS a diferentes presiones	62
Tabla No. 31	Tiempo de riego para cada zona a diferentes presiones	64
Tabla No. 32	Tiempo Total de Riego según el número de aspersores	66
Tabla No. 33	Cantidad de material por metro cubico de concreto y costo	88
Tabla No. 34	Factor de fricción calculado	92
Tabla No. 35	Porcentaje de reducción de espaciamiento en función del la velocidad del viento	95

LISTA DE FIGURAS

Fig. No. 1	Localización del proyecto	7
Fig. No. 2	Pozo barrenado.	17
Fig. No. 3	Curva generalizada de Coeficiente de Cultivo Kc	20
Fig No. 4.	Norma de Riverside. Diagrama para la clasificación de aguas de Riego.	51
Fig. No. 5	Esquema del Canal	72
Fig. No. 6	Red de distribución.	90
Fig. No. 7	Esquema semimovil.	93
Fig. No. 8	Aspersor	94

LISTA DE GRAFICAS

Grafica No. 1	Precipitación para cada mes del año.	54
Grafica No. 2	Precipitación Efectiva	55
Grafica No. 3	Evapotranspiración del Cultivo Y Precipitación efectiva	57
Grafica No. 4	Necesidad del Riego mes a mes	58
Grafica No. 5	Incremento de LAS en el tiempo para la Huerta con la aplicación del riego.	68

RESUMEN

La Finca la Esperanza actualmente no tiene un sistema de riego que cubija el área productiva con la que cuenta, por lo que con el presente proyecto y con su posterior ejecución se prevé que la finca incremente su producción puesto que en épocas de sequia podrá suplir la necesidad hídrica del cultivo, teniendo una producción de forrajes constante. El costo del proyecto tiene un valor de aproximadamente veinticinco millones de peso y se beneficia un área aproximada a las quince hectáreas, obteniéndose un costo por hectárea menor a los dos millones de pesos, costo que se ve amortiguado por la ganancia que se tendrá al poder aumentar la productividad de la tierra y el cultivo representándose en peso para el ganado y finalmente en dinero, tanto del animal como en reducción en costos por concentrados.

El diseño como tal del sistema semimovil, brinda un ahorro en tubería, accesorios, mano de obra en instalación en comparación con los sistemas fijos, la elección de polietileno se realizo teniendo en cuenta las propiedades físicas y mecánicas de este que permiten soportar mejor la sobrepresión por golpe de ariete debido a que el modulo de elasticidad es más alto que el del PVC, en cuento a su ejecución los cambios de hidrantes son menores, puesto que en un solo hidrante se tendrán nueve posiciones de riego.

Las tablas generadas a través del plan de riego por el método de las curvas características de humedad, son de utilidad a los agricultores siempre y cuando el tiempo de riego no sea superior a un día. Por medio de ellas se puede conocer el tiempo de riego para cada zona, la lamina que tendrá cada zona, la presión y el porcentaje de humedad.

Palabras claves: Semimovil, curvas de retención humedad, riego.

SUMMARY

The Estate the Hope nowadays does not have a system of irrigation that shelters the productive area which it possesses, by what with the present project and with his later execution it is foreseen that the estate increases his production since in epochs of drought it will be able to replace the water need of the culture, having a constant production of forages. The cost of the project has a value of approximately twenty-eight millions of weight and one benefits an area come closer fifteen hectares, a cost being obtained by minor hectare to two million weight, cost that meets muffled by the profit that will be had to it be able to increase the productivity of the land and the culture being represented in weight for the cattle and finally in money, so much of the animal as in reduction in costs for concentrates.

The design as such of the semimobile system, it offers a saving in pipeline, accessories, workforce in installation in comparison with the fixed systems, the choice of polyethylene I realize bearing the physical and mechanical properties in mind of this one that they allow to support better the overpressure for water hammer due to the fact that the module of elasticity is high than that of the PVC, in story to his execution the changes of hidrantes are minor, since in an alone hidrante five positions of irrigation will be had.

The tables generated across the plan of irrigation by the method of the curves typical of dampness, are of usefulness to the farmers always and when the time of irrigation is not superior to one day. By means of them it is possible to know the time of irrigation for every zone, the sheet that will have every zone, the pressure and the percentage of dampness.

Key words: Semimobile, curves of retention dampness, irrigation.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema de riego por aspersión semimóvil en la finca la Esperanza en el municipio de Algeciras para lograr mayor productividad en la actividad ganadera y proponer una herramienta de riego más eficiente con el fin de brindarle al agricultor un método más exacto para la determinación de cuando y como regar.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Entregar un diseño económicamente viable para su construcción y ejecución, con planos topográficos, diseños y cálculos hidráulicos, así como un plan de manejo del sistema de riego como tal.
- Desarrollar una propuesta para la determinación del tiempo y momento del riego con ayuda de las curvas de humedad de cada una de las zonas utilizándose un tensiómetro como principal herramienta.

1. INTRODUCCIÓN

Colombia es un país que cuenta con épocas de invierno y verano, en esta última las necesidades de agua de los cultivos no pueden ser suplidas con las pocas precipitaciones que se presentan en estos lapsos de tiempo, por lo que riego llega como una solución para reducir pérdidas en los cultivos, como disminución de la producción y del área cultivada.

El riego por gravedad es aun hoy en día el método más utilizado para irrigar los cultivos de la mayoría de los agricultores colombianos, sin embargo la utilización de sistemas de riego a presión en sus diferentes modalidades va en aumento gracias a la efectividad y eficiencia que se ha obtenido durante los últimos años durante su implementación y utilización, en el caso particular del departamento del Huila el riego a presión a tomado gran peso, ya que los agricultores buscan día a día un mejor aprovechamiento del agua y rendimientos en sus cultivos.

En el presente documento se presenta un diseño de riego por aspersión semimovil a gravedad para pasto *Brachiaria Decumbes* que será utilizado para la producción de leche y carne bobina, donde se plantea un modelo para la determinación del tiempo y frecuencia de riego necesario que permite al agricultor realizar las operaciones de riego más adecuadas para las condiciones que se presente en la zona en un momento dado.

Se utilizaron las curvas características de humedad de las diferentes series de suelos presentes en la zona de estudio para poder elaborar un plan de operación del sistema que además le pueda brindar al agricultor de una forma más clara y sencilla la necesidad de riego que pueda tener la zona en un momento dado con la ayuda de un tensiómetro que debe ser instalado en un lugar estratégico dentro de la zona, se tuvieron en cuenta características físicas de los suelos para hacer una determinación lo más acertada posible de el tiempo de riego y volumen de agua a aplicar.

2. JUSTIFICACIÓN

En el departamento del Huila en los últimos seis años el gobierno en cabeza de la gobernación departamental ha hecho una gran inversión en la distribución del recurso hídrico a los diferentes agricultores huilenses, donde se han encargado de hacer la conducción hasta los predios terminando en un hidrante con una caudal limitado que pueden utilizar para irrigar sus cultivos. Sin embargo el agricultor generalmente no hace un adecuado aprovechamiento del recurso hídrico por la inversión que se ven obligados a hacer para la implementación de un sistema de riego y que en la mayor parte de los casos no están dispuestos a asumir, otro de los inconvenientes es el cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos para la determinación del tiempo de riego y la frecuencia del mismo.

Los sistemas de riego implementados en el departamento y la alta inversión que se ha hecho y que se planea seguir haciendo para la distribución del recurso hídrico no se está aprovechando de una forma racional, todo por desconocimiento y porque el sector agrícola ha fallado en cuanto al desarrollo de métodos que faciliten la operación de los sistemas y que no signifiquen una alta inversión para los agricultores.

Según la Gobernación del Huila, desde 2007 hasta 2010, 6292 ha correspondientes a 1532 usuarios aproximadamente fueron adecuados bajo lo que ellos llaman sistemas de riego por aspersión liviana, donde se encargan de hacer la conducción del agua hasta el predio y dejar instalado un hidrante, lo demás corre por cuenta únicamente del dueño de la finca, esto corresponde a una inversión que asciende a los \$ 21,362,309,707.00, recursos que han sido aportados por entes gubernamentales, privados y por los usuarios de los sistemas. Actualmente se hace el estudio de factibilidad para 4771 ha para la implementación de las mismas condiciones.

Correspondiente a la inversión y la productividad de las zonas bajo esta distribución del recurso hídrico no se observa una creciente elevación de la producción que sea notable, lo que lleva a pensar y a comprobar que efectivamente los usuarios en su mayoría no han sabido aprovechar el recurso hídrico y la causa más probable es el desconocimiento del agricultor en el manejo adecuado del recurso hídrico y la falta de herramientas para realizarlo.

3. REVISIÓN LITERARIA

El objetivo que se pretende con el riego es satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos, aplicando el agua uniformemente y de forma eficiente, es decir que la mayor cantidad de agua aplicada quede almacenada en la zona radicular a disposición del cultivo (Tarjuelo, 1992).

En el riego por aspersión, el agua se conduce a presión hasta las secciones laterales y de aquí a los aspersores o distribuciones, de manera controlada en volumen y tiempo, tratando de simular la lluvia. Estos operan a presiones y distanciamientos específicos de acuerdo con su diseño (Subiros, 1995).

Las instalaciones semifijas comprenden una tubería principal enterrada y unas alas portaaspersores móviles, que se van trasladando de una parcela a otra dentro de la finca a regar. Una vez terminada la campaña de riego, los equipos móviles se desmontan y almacenan fuera del cultivo. Por último, en las instalaciones móviles todos los elementos son desmontables y trasladables, utilizándose generalmente en cultivos de tamaño pequeño. Los caudales de cada ala de riego se limitan a cifras que varían entre 1 a 4 m³/hora, con diámetros de tubería superiores a 30 mm. Las conducciones subterráneas pueden ser de diferentes materiales, empleándose tuberías de fundición, acero al carbono o fibrocemento para los grandes diámetros y también cada vez más, materiales plásticos como cloruro de polivinilo (PVC) resistente a la presión y también polietileno de alta densidad, muy flexible y para diámetros inferiores (Hidalgo y otros, 2000).

Debido a la flexibilidad de su uso y el eficiente control de la aplicación del agua el método por aspersión permite el riego de una amplia gama de suelos que no pueden ser regados adecuada y eficientemente con métodos de riego superficiales; tal es el caso de suelos muy arenosos o muy arcillosos, de alta o baja velocidad de infiltración, suelos con pendientes pronunciadas que no pueden ser nivelados por la escasa profundidad del perfil, entre otros. Asimismo el riego controlado mediante el riego por aspersión, para la germinación, emergencia y establecimiento de empastadas, ha demostrado resultados sorprendentes al eliminar los problemas de arrastre de semillas, compactación del suelo y encostramiento de la superficie. Un sistema de riego por aspersión está integrado por muchos componentes, si se analiza desde el punto de vista de salida del agua pulverizada hasta la fuente de presión, se encuentra los aspersores o pulverizadores, los reguladores de flujo y de presión, el tubo elevador, las uniones, las cañerías y las conexiones derribadoras; el conjunto de estos elementos constituyen la parte del sistema que se llama lateral, conectada con una válvula a la tubería principal, que a su vez termina conectada a la fuente de agua a presión. La información básica para hacer un diseño de riego por aspersión son: tamaño y forma del área a regar, topografía de la superficie a regar, tipos de suelo,

disponibilidad de agua, condiciones de clima, ubicación del agua, energía disponible y su costo. (Gurovich, 1985)

Los incrementos de la producción por efecto del riego son muy variables. Sin embargo, se puede generalizar que en zonas de 3200 m de altitud, donde son menos frecuentes las bajas de temperatura o heladas durante el periodo de crecimiento de los cultivos, el riego puede contribuir en un 50 a 90% al incremento de la producción. Además, el riego de los pastizales con altura húmeda permite verdaderos “bancos de Forraje Verdes”. (Rincón, 1993)

En estudios realizados en el Valle del Cauca, se ha demostrado que la capacidad de carga y la cantidad de carne y leche por unidad de superficie se pueden aumentar con prácticas adecuadas de manejo como fertilización, rotación de potreros, riego, etc. Mediante estas prácticas se suministra mas forraje de mejor calidad a los animales. La fertilización adecuada y el riego oportuno han dado resultados espectaculares, lográndose aumentos considerables de los rendimientos en forraje. (IICA y otros, 1972)

VENTAJAS E INCONVENIENTES DEL RIEGO POR ASPERSIÓN

VENTAJAS:

- Ahorro en mano de obra.

Una vez puesto en marcha no necesita especial atención. Existen en el mercado eficaces Programadores activados por electro válvulas conectadas a un reloj que, por sectores y por tiempos, activará el sistema según las necesidades previamente programadas. Con lo cual la mano de obra es prácticamente inexistente

- Adaptación al terreno.

Se puede aplicar tanto a terrenos lisos como a los ondulados no necesitando allanamiento ni preparación de las tierras.

- La eficiencia del riego por aspersión.

Es de un 80% frente al 50 % en los riegos por inundación tradicionales. Por consecuencia el ahorro en agua es un factor muy importante a la hora de valorar este sistema.

Especialmente útil para distintas clases de suelos.

Puesto que permite riegos frecuentes y poco abundantes en superficies poco permeables.

INCONVENIENTES:

-Daños a las hojas y a las flores.

Las primeras pueden dañarse por el impacto del agua sobre las mismas, si son hojas tiernas o especialmente sensibles al depósito de sales sobre las mismas. En cuanto a las flores pueden, y de hecho se dañan, por ese mismo impacto sobre las corolas

-Requiere una inversión importante.

El depósito, las bombas, las tuberías, las juntas, los manguitos, las válvulas, los programadores y la intervención de técnicos hacen que en un principio el gasto sea elevado aunque la amortización a medio plazo está asegurada.

-El viento puede afectar.

En días de vientos acentuados el reparto del agua puede verse afectado en su uniformidad.

4. METODOLOGÍA.

4.1 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO:

El área a ser adecuada con el diseño de riego por aspersión semimovil se encuentra en la finca la esperanza de propiedad del señor Gilberto Álvarez Linares, ubicada en la vereda Andes bajos, a la margen derecha de la vía Algeciras Quebradon Sur en el kilometro 5 a partir del centro del casco urbano del municipio de Algeciras Huila.

Municipio de Algeciras se encuentra ubicado al oriente del departamento, sobre la parte media del valle del Magdalena, enmarcada entre la cordillera oriental y un ramal de la misma, que nace en esta misma cordillera en el Valle de Miraflores al sur del municipio, colindando con el departamento del Caquetá y muere en el Cerro de San Juan al norte del municipio.

La cabecera municipal se encuentra a 990 m.s.n.m a una distancia de 52Km de la ciudad de Neiva sobre una terraza de suelos de origen aluvial regada por los ríos Blanco y Neiva que nacen en los Cerros de Miraflores y La Siberia. El terreno sobre el cual se encuentran los mayores asentamientos de Algeciras son de topografía accidentada principalmente los núcleos de la Arcadia, El toro y el Paraíso; sus tierras son aptas para la agricultura y la ganadería; cuenta con extensión de 570 km², una población de 23.552 habitantes; En general la geografía se compone por montañas con pendientes moderadas a fuertes sobre las que se desarrollan diferentes actividades agropecuarias, con clima templado y temperatura media de 25°C.

El área de la finca a ser adecuada por el sistema de riego semimovil son aproximadamente 12 ha las cuales se encuentran distribuidas en las 20 ha que tiene la finca la Esperanza.

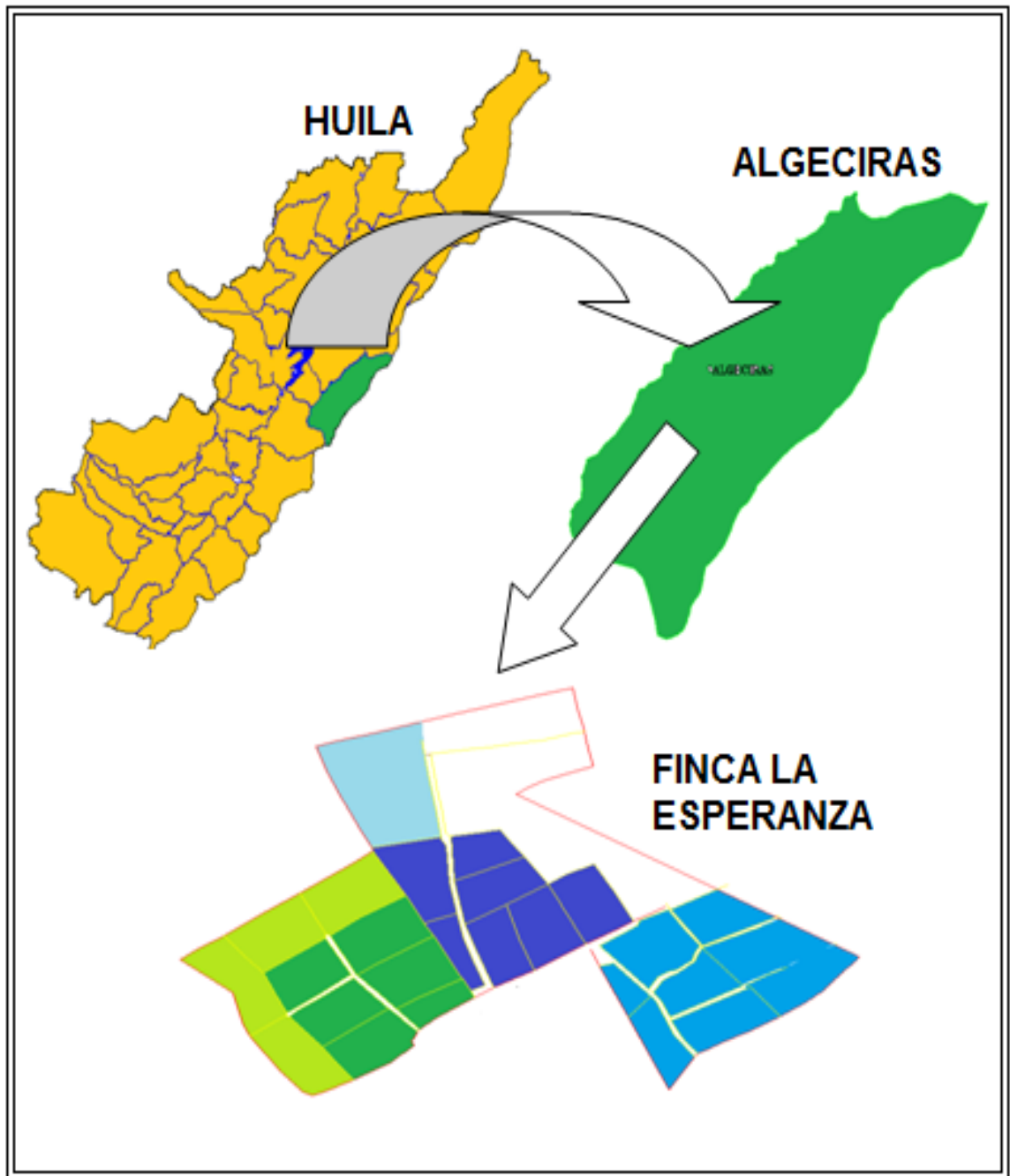


Fig. No. 1 Localización del proyecto

4.2 Cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET_0). Penman-Monteith.

Monteith (1965) desarrolló un modelo que incluye, en el modelo de Penman, la resistencia a la superficie de la cubierta vegetal. La ecuación utilizada por el SIAR para el cálculo de la ET_0 , revisada y actualizada por R. G. Allen y L. S. Pereira según queda registrado en la publicación nº 56 FAO (1998), es la que se presenta a continuación:

4.2.1 Ecuación para el cálculo de la ET_0 :

$$ET_0 = \frac{1}{\lambda} \left(\frac{\Delta(Rn - G) + \rho_a c_p \frac{(e_s - e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)} \right)$$

Donde:

ET_0 = evapotranspiración de referencia según la ecuación de FAO Penman-Monteith (mm día^{-1}).

γ = calor latente de vaporización (MJ kg^{-1})

D = pendiente de la curva que relaciona la presión de vapor con la temperatura del aire ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$)

Rn = radiación neta en la superficie del cultivo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)

G = flujo térmico del suelo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)

ρ_a = densidad del aire seco a presión constante (kg m^{-3})

c_p = calor específico del aire ($\text{MJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)

$(e_s - e_a)$ = déficit de presión de vapor (kPa)

g = constante psicométrica ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$)

r_s y r_a = resistencia superficial del cultivo de referencia y aerodinámica (s m^{-1})

4.2.2. La ecuación de resistencia aerodinámica del cultivo de referencia (r_a) en condiciones de estabilidad de la atmósfera es:

$$r_a = \frac{\ln \left[\frac{z_m - d}{z_{om}} \right] \ln \left[\frac{z_h - d}{z_{oh}} \right]}{k_2 u_z}$$

Donde:

Z_m = altura de medida del viento (m).

d = altura del plano cero (m).

Z_{om} = longitud de la rugosidad para transferencia de cantidad de movimiento (m).

Z_h = altura de medida de la temperatura y la humedad relativa (m).

Z_{oh} = longitud de la rugosidad para transferencia de calor sensible y calor latente.

k = constante de von Karman ($k=0,41$).

U_z = velocidad del viento a la altura z ($m\ s^{-1}$).

Donde:

$Z_{om} = 0,123\ hc$

$Z_{oh} = 0,0123\ hc$

$d = 0,67\ hc$

(*) hc = altura del cultivo (m)

Considerando que la superficie donde se ubica la estación agroclimática contiene una cubierta de gramíneas de unos 12 cm de altura y que los sensores de medida de la velocidad del viento, humedad y temperatura están colocados a 2 m de altura, la resistencia aerodinámica toma el siguiente valor:

$$r_a = \frac{208}{u_2}$$

Donde:

u_2 = velocidad del viento medida a dos metros de altura.

4.2.3. - La ecuación de resistencia superficial del cultivo de referencia (r_s) es:

$$r_s = \frac{r_1}{LAI_{activo}}$$

Donde:

r_1 = resistencia estomática con la hoja bien iluminada ($s\ m^{-1}$).

LAI_{activo} = índice de área foliar activo (m^2 (área foliar) m^{-2} (superficie del suelo)).

Donde:

$$LAI_{activo} = 0,5\ LAI$$

$$LAI = 24\ hc$$

y considerando $r_1 \approx 100\ s\ m^{-1}$ y $hc = 0,12\ m$, entonces:

$$r_s = 70 \text{ s m}^{-1}$$

Conocido ya los valores de r_s y r_a (s m^{-1}) y considerando que:

4.2.4. - La ecuación de densidad del aire seco a presión constante (ρ_a) es:

$$\rho_a = \frac{P}{T_{Kv} R}$$

Donde:

P= presión atmosférica (kPa).

T_{Kv} = temperatura en grados Kelvin (puede ser sustituida por: "1,01 (T (°C) +273)").

R = constante específica del gas. Su valor es 0,287 ($\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$).

4.2.5. - La ecuación de calor específico del aire (c_p) es:

$$c_p = \frac{\gamma \varepsilon \lambda}{P}$$

Donde:

γ = constante psicrométrica ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$).

ε = relación entre el peso molecular del aire húmedo y el aire seco. Su valor es 0,622.

λ = calor latente de evaporación (MJ kg^{-1}).

Se establece que,

$$\frac{\rho_a c_p}{r_a} = \gamma \frac{900}{T+273} \lambda u_2 \quad (\text{MJ m}^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \text{ día}^{-1})$$

Por lo anteriormente expuesto, ETo (mm día^{-1}):

$$ET_o = \frac{1}{\lambda} \left(\frac{\Delta(Rn - G) + \left(\gamma \frac{900 u_2}{(T_{med.} + 273,16)} \right) \lambda (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \right)$$

4.2.6. - La ecuación de calor latente de evaporación es:

$$\lambda = 2,501 - (2,361 \cdot 10^{-3}) T_{media}$$

Donde:

T = temperatura media del aire (°C).

4.2.7. - La ecuación de pendiente de la curva que relaciona la presión de vapor con la temperatura del aire (D) es:

$$\Delta = \frac{4098 [e^o (T) *]}{(T * + 237,3)^2}$$

Donde:

T= temperatura del aire (°C).

$e^o (T_{med.})$ = es la presión de vapor en saturación a temperatura del aire, cuyo valor es $0,6108 \exp ((17,27 T) / (T + 273,3))$, siendo $\exp = 2,7183$.

* **Nota:** Para el cálculo de este parámetro, se toma la temperatura del aire como la media entre la máxima y la media diaria ($T = (T_{máx.} + T_{mín.}) / 2$).

4.2.8. - La ecuación de radiación neta en la superficie del cultivo (R_n) es :

$$R_n = R_{ns} - R_{nl}$$

Donde:

R_{ns} = Radiación neta de onda corta ($MJ m^{-2} día^{-1}$).

R_{nl} = Radiación neta de onda larga ($MJ m^{-2} día^{-1}$).

Siendo,

$$R_{ns} = (1 - \alpha) R_s$$

Donde:

α = albedo. Su valor se aproxima a = 0,23 para el caso en el cual estamos trabajando.

R_s = Radiación solar global diaria ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$). Este dato lo proporciona la estación agroclimática.

y,

$$R_{nl} = \sigma \left(\frac{T_{\text{máx.}, K^{\dagger}} + T_{\text{mín.}, K^{\dagger}}}{2} \right) \left(0,34 - 0,14 \sqrt{e_a} \right) \left(1,35 \frac{R_s}{R_{s0}} - 0,35 \right)$$

Donde:

s = constante de Stefan-Boltzmann ($4903 \cdot 10^{-9} \text{ MJ K}^{-4} \text{ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$).

$T_{\text{máx.}, K}$ = temperatura máxima absoluta del día ($K = ^{\circ}\text{C} + 273,16$).

$T_{\text{mín.}, K}$ = temperatura mínima absoluta del día ($K = ^{\circ}\text{C} + 273,16$).

e_a = presión de vapor actual (kPa).

R_s = Radiación solar diaria ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$).

R_{s0} = radiación solar para un día sin nubes ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$).

4.2.9. - La ecuación de déficit de presión de vapor (e_a) es:

$$e_a = \frac{e^{\circ}(T_{\text{máx.}}) \frac{Hr_{\text{mín.}}}{100} + e^{\circ}(T_{\text{mín.}}) \frac{Hr_{\text{máx.}}}{100}}{2}$$

Donde:

$e^{\circ}(T_{\text{máx.}})$ = presión de vapor de saturación a temperatura máxima (kPa), Siendo

$e^{\circ}(T_{\text{máx.}}) = 0,6108 \exp((17,27 T_{\text{máx.}})/(T_{\text{máx.}} + 273,3))$, donde $\exp = 2,7183$.

$Hr_{\text{mín.}}$ = humedad relativa mínima diaria (%).

$e^{\circ}(T_{\text{mín.}})$ = presión de vapor de saturación a temperatura mínima (kPa), Siendo

$e^{\circ}(T_{\text{mín.}}) = 0,6108 \exp((17,27 T_{\text{mín.}})/(T_{\text{mín.}} + 273,3))$, donde $\exp = 2,7183$.

$Hr_{\text{máx.}}$ = humedad relativa máxima diaria (%).

4.2.10. - La ecuación de radiación solar para un día sin nubes (R_{s0}) es:

$$r_{s0} = (0,75 + 2 \cdot 10^{-5} z) R_a$$

z = altura sobre el nivel del mar en que se encuentra la estación (m).

R_a = radiación extraterrestre para periodos diarios ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$).
siendo,

$$R_a = \frac{24(60)}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s \text{sen}(\varphi) \text{sen}(\delta) + \text{cos}(\varphi) \text{cos}(\delta) \text{sen}(\omega_s)]$$

donde:

G_{sc} = constante solar ($0,0820 \text{ MJ m}^{-2} \text{ min}^{-1}$).

d_r = inversa de la distancia relativa entre la tierra y el sol. Su valor se obtiene según la siguiente fórmula:

$$d_r = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{2\pi}{365} J\right)$$

Donde:

j = día juliano, siendo el nº 1 el uno de enero y 366 ó 365 el 31 de diciembre según sea el año (bisiesto o no).

ω_s = ángulo a la hora de la puesta del sol (rad). su valor se obtiene según la siguiente fórmula:

$$\omega_s = \arccos [-\tan(\varphi)\tan(\delta)]$$

donde:

j = latitud en la que se encuentra la estación agroclimática (rad). Si el valor se expresa en grados sexagesimales hay que multiplicar por $\pi/180$ para pasarlos a radianes.

d = declinación solar (rad). Su valor se obtiene según la siguiente fórmula:

$$\delta = 0,049 \text{sen} \frac{2\pi}{365} J - 1,39$$

J = día juliano.

4.2.11. - La ecuación de flujo térmico del suelo (G) es:

$$G = c_s \frac{T_i + T_{i-1}}{\Delta t} \Delta z$$

Donde:

c_s = capacidad calorífica del suelo ($\text{MJ m}^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$).

T_i = temperatura media del aire del día actual ($^\circ\text{C}$).

T_{i-1} = temperatura media del aire del día anterior ($^\circ\text{C}$).

Δt = longitud del intervalo de tiempo (días), En nuestro caso, al realizar el cálculo diario el intervalo será de 1 día.

Δz = profundidad efectiva del suelo (m).

Debido a la variabilidad que podemos encontrarnos para los parámetros c_s e Δz (según las características fisicoquímicas del suelo), para el cálculo del flujo térmico en periodos cortos de tiempo se utilizará la ecuación simplificada:

$$G = 0,1 (T_i - T_{i-1})$$

Donde:

T_i = temperatura media del aire del día actual ($^\circ\text{C}$).

T_{i-1} = temperatura media del aire del día anterior ($^\circ\text{C}$).

0,1 = factor de conversión empírico (para transformar a $\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$, que son las unidades en las que se debe expresar este término, en este caso, y según los criterios con los que se viene trabajando).

4.2.12. - La ecuación de calor latente de vaporización constante es:

$$\gamma = \frac{c_p P}{\varepsilon \lambda}$$

Donde:

c_p = calor específico a presión constante ($1,013 \cdot 10^{-3} \text{ MJ kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$).

γ = calor latente de evaporación (MJ kg^{-1})

ε = relación entre el peso molecular del aire húmedo y el aire seco. Su valor es 0,622.

P = presión atmosférica (kPa). La cual se calcula por la siguiente expresión:

$$P = 101,3 \left(\frac{293 - 0,0065 z}{293} \right)^{5,26}$$

Donde,

P = presión atmosférica (kPa).

z = altura sobre el nivel del mar a la que se encuentra la estación (m).

Con lo que la fórmula para el cálculo de la constante psicrométrica, una vez tenidos en cuenta los coeficientes anteriores quedaría de la siguiente forma:

$$\gamma = 0,0016286 \left(P / \lambda \right)$$

Donde:

U_2 = velocidad del viento medida a 2 m de altura ($m s^{-1}$).

T = Temperatura media del aire medida a 2 m de altura ($^{\circ}C$).

e_s = presión de vapor de saturación (kPa).

e_a = presión de vapor actual (kPa) ecuación 1.2.9.

****Nota:** ($e_s - e_a$) = déficit de presión de vapor (kPa).

4.2.13. - La ecuación de e_s es:

$$e_s = \frac{e^{\circ}(T_{máx.}) + e^{\circ}(T_{mín.})}{2}$$

4.3. PRECIPITACION EFECTIVA

La precipitación efectiva es aquella fracción de la precipitación total que es aprovechada por las plantas. Depende de múltiples factores como pueden ser la intensidad de la precipitación o la aridez del clima, y también de otros como la inclinación del terreno, contenido en humedad del suelo o velocidad de infiltración (FAO, 1978).

Como primera aproximación, Brouwer y Heibloem, proponen las siguientes fórmulas para su aplicación en áreas con pendientes inferiores al 5 %. Así en función de la precipitación caída durante el mes tenemos:

$$Pe = 0.8 P - 25 \text{ Si: } P > 75 \text{ mm/mes}$$

$$Pe = 0.6 P - 10 \text{ Si: } P < 75 \text{ mm/mes}$$

Donde:

P = precipitación mensual (mm/mes)

Pe = precipitación efectiva (mm/mes)

4.4. Conductividad Hidráulica

La determinación de la conductividad hidráulica por los métodos de laboratorio presenta la desventaja de ser poco representativa debido al tamaño de la muestra de suelo, esto puede conducir a errores significativos en especial cuando en la pequeña muestra hay presencia de fragmentos de rocas y raíces, conviene entonces acudir al empleo de métodos de campo confiables como EL METODO DEL POZO BARRENADO, El cual ha tenido gran aceptación para mediciones de conductividad hidráulica por debajo del nivel freático (Forero,1998).

Se trata de un método relativamente simple, por medio de un barreno se perfora un pozo hasta una profundidad entre 60 y 90 cm por debajo del nivel freático o equivalente a 5 o a 10 veces el diámetro del pozo. Luego de perforado el pozo se introduce agua y con la ayuda de un fluxómetro se mide el descenso de la columna de agua en el tiempo. El cálculo de la conductividad hidráulica puede calcularse por diferentes ecuaciones que ya se han desarrollado, Olivera. 1997 describe la siguiente ecuación en la cual se relacionan muchos de los parámetros tomados en campo dando así una mayor confiabilidad en cuando a su resultado:

$$K_f = \frac{r * LN \left[\frac{h_0 + (\frac{r}{2})}{h_1 + (\frac{r}{2})} \right]}{(2 * \Delta t)}$$

Donde:

K_f = Conductividad Hidráulica (m/s)

r = radio del pozo (m)

Δt = Tiempo de descenso de la columna de agua en seg. de h_0 a h_1

h_0 = altura de la columna de agua donde se inicia la prueba de infiltración (m)

h_1 = altura de la columna de agua donde se termina la prueba de infiltración (m)

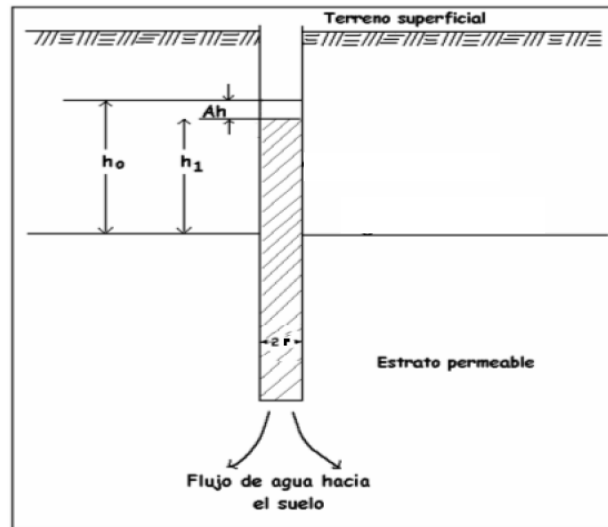


Fig. 2 Pozo barrenado

Tabla No. 1 Interpretación conductividad Hidráulica

Conductividad hidráulica ms^{-1}		Interpretación
FAO,1963	Kutílek&Nielsen, 1994	
$<0,23 \cdot 10^{-6}$	$< 10^{-7}$	muy baja
$0,23 \cdot 10^{-6} - 5,8 \cdot 10^{-6}$	$10^{-7} - 10^{-6}$	baja
$5,8 \cdot 10^{-6} - 1,6 \cdot 10^{-5}$	$10^{-6} - 10^{-5}$	media
$1,6 \cdot 10^{-5} - 2,2 \cdot 10^{-5}$		media-alta
$2,2 \cdot 10^{-5} - 3,5 \cdot 10^{-4}$	$10^{-5} - 10^{-4}$	alta
$> 3,5 \cdot 10^{-4}$	$> 10^{-4}$	excesiva

Fuente: FAO. 1963

4.5. HORIZONTES DEL SUELO

Se llama horizontes del suelo a una serie de niveles horizontales que se desarrollan en el interior del mismo y que presentan diferentes caracteres de composición, textura, adherencia, etc. El *perfil del suelo* es la ordenación vertical de todos estos horizontes (Edafología. 2011). Clásicamente, se distingue en los

suelos completos o evolucionados tres horizontes fundamentales que desde la superficie hacia abajo son:

- **Horizonte O**, "Capa superficial del horizonte A"
- **Horizonte A**, *o zona de lavado vertical*:
Es el más superficial y en él enraíza la vegetación herbácea. Su color es generalmente oscuro por la abundancia de materia orgánica descompuesta o humus elaborado, determinando el paso del agua arrastrándola hacia abajo, de fragmentos de tamaño fino y de compuestos solubles.
- **Horizonte B** *o zona de Precipitado*:
Carece prácticamente de humus, por lo que su color es más claro, en él se depositan los materiales arrastrados desde arriba, principalmente, materiales arcillosos, óxidos e hidróxidos metálicos, etc., situándose en este nivel los encostramientos calcáreos áridos y las corazas lateríticas tropicales.
- **Horizonte C** *o subsuelo*:
Está constituido por la parte más alta del material rocoso *in situ*, sobre el que se apoya el suelo, más o menos fragmentado por la alteración mecánica y la química (la alteración química es casi inexistente ya que en las primeras etapas de formación de un suelo no suele existir colonización orgánica), pero en él aún puede reconocerse las características originales del mismo.
- **Horizonte D**, horizonte R *o material rocoso*:
Es el material rocoso subyacente que no ha sufrido ninguna alteración química o física significativa. Algunos distinguen entre D, cuando el suelo es autóctono y el horizonte representa a la roca madre, y R, cuando el suelo es alóctono y la roca representa sólo una base física sin una relación especial con la composición mineral del suelo que tiene encima.

Los caracteres, textura y estructura de los horizontes pueden variar ampliamente, pudiendo llegar de un horizonte A de centímetros a metros.

CALIDAD DE AGUA

DECRETO 1594 DE 1984 Usos del agua y residuos líquidos

CAPITULO IV DE LOS CRITERIOS DE CALIDAD PARA DESTINACION DEL RECURSO

Artículo 40: Los criterios admisibles para la destinación del recurso para uso Agrícola son los siguientes:

Tabla No. 2 parámetros admisibles de agua para riego

PARAMETR	UNIDADE	VALORE	PARAMETR	UNIDADE	VALORE
O	S	S	O	S	S
Litio	mg/l	2.5	Aluminio	mg/l	5
Manganeso	mg/l	0.2	Arsénico	mg/l	0.1
Molibdeno	mg/l	0.01	Berilio	mg/l	0.1
Níquel	mg/l	0.2	Cadmio	mg/l	0.01
pH	Unidades	4.5 - 9.0	Cinc	mg/l	2
Plomo	mg/l	5	Cobalto	mg/l	0.05
Selenio	mg/l	0.02	Cobre	mg/l	0.2
Vanadio	mg/l	0.1	Cromo	mg/l	0.1
Boro	mg/l	0.3 – 0.4	Flúor	mg/l	1
Coliformes T	NMP	5000	Hierro	mg/l	5
Coliformes F	NMP	1000			

Fuente. Decreto 1594 de 1984

Parágrafo 1: Además de los criterios establecidos en el presente artículo, se adoptan los siguientes:

- a) El boro, expresado como B, deberá estar entre 0.3 y 4.0 mg/L dependiendo del tipo de suelo y del cultivo.
- b) El NMP de coliformes totales no deberá exceder de 5.000 cuando se use el recurso para riego de frutas que se consuman sin quitar la cáscara y para hortalizas de tallo corto.
- c) El NMP de coliformes fecales no deberá exceder 1.000 cuando se use el recurso para el mismo fin del literal anterior.

Parágrafo 2: Deberán hacerse mediciones sobre las siguientes características:

- a. Conductividad.
- b. Relación de absorción de sodio (RAS).
- c. Porcentaje de sodio posible (PSP).
- d. Salinidad efectiva y potencial.
- e. Carbonato de sodio residual.
- f. Radionucleídos.

4.6. COEFICIENTE DE CULTIVO (K_C) PARA PASTOS

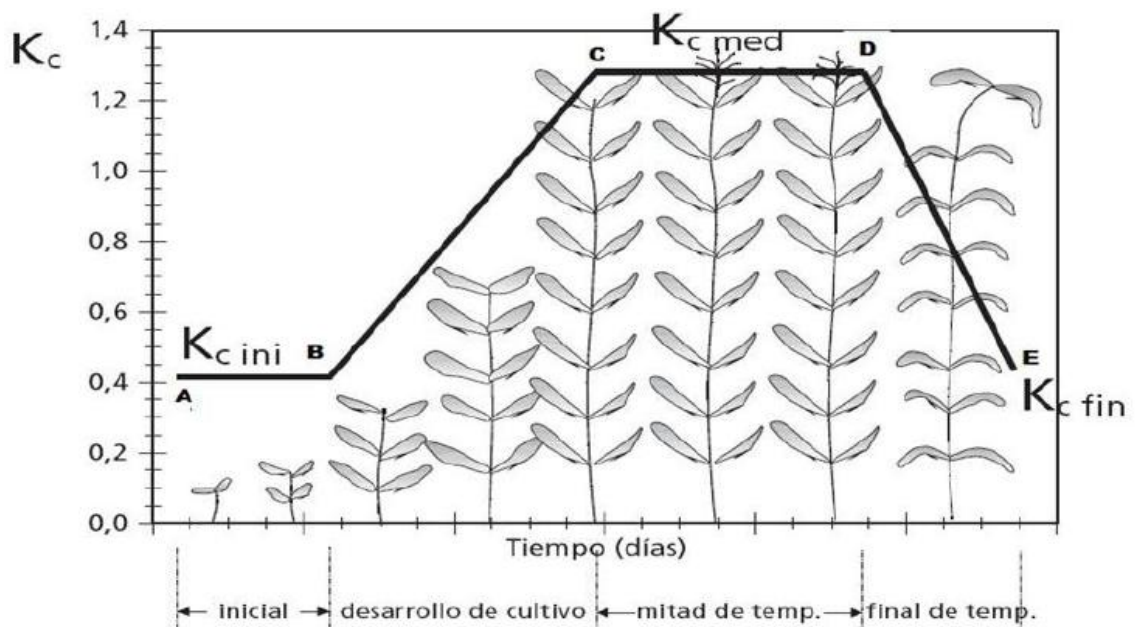


Fig. 3 Curva generalizada de Coeficiente de Cultivo K_c,
Fuente: Estudios FAO Riego y Drenaje 5

Debido a las variaciones en las características propias del cultivo durante las diferentes etapas de crecimiento, K_c cambia desde la siembra hasta la cosecha. En la siguiente figura se presenta en forma esquemática, dichos cambios.

Tabla No. 3 Coeficiente de Cultivo (K_c)

CULTIVO	% CICLO VEGETATIVO			K _c			
	B	C	D	B	C	D	E
PASTOS	25	50	75	0.95	0.95	0.95	0.95

Fuente: BISms spanish versión R.L. snyder et al(http://biomet.ucdavis.edu/irrigation_scheduling/bis/BIS.htm)

4.7. CONCEPTOS BÁSICOS DE SUELOS

4.7.1. EL AGUA EN EL SUELO

Siendo el agua constituyente esencial para el desarrollo y crecimiento de los vegetales, merece estudiarse desde el punto de vista físico y también de su aprovechabilidad para las plantas. En la clasificación física del agua se valoran la higroscópica, la capilar y la gravitacional y en el concepto de su disponibilidad por parte de las plantas, se consideran la aprovechable y la inaprovechable. Para su clasificación, se hace referencia a las tensiones con las cuales el agua está retenida por el suelo, datos aunados a los correspondientes de humedad, se emplean para trazar las llamadas curvas características de humedad de los suelos. Así mismo, teniendo en cuenta la tensión, se definen las constantes de humedad del suelo que fijan límites de aprovechabilidad, o a su clasificación física. (FEDEALGO, 1987)

4.7.2. TENSION DEL AGUA

El agua libre sobre la superficie del suelo desarrolla una presión. Sin embargo, por debajo del punto de saturación, el agua del suelo está sujeta a una presión negativa, o tensión, la cual es menor en contenidos altos de humedad y mayor en contenidos bajos. La tensión puede expresarse en varias dimensiones, las cuales se basan en la altura de una columna de agua de sección unitaria y en tal sentido se usan unidades de pF, o se emplean centímetros, bares o atmósferas, en altos contenidos de humedad, y 10000 atmósferas bajo condiciones secas. Por lo general, se hace caso omiso del agua de imbibición que forma parte de la organización estructural de ciertos compuestos del suelo. (FEDEALGO, 1987)

Así encontramos al agua retenida bajo tres condiciones:

- **Agua higroscópica:**
Es el agua del suelo sujeta a tensiones entre 31 a 10.000 atmósferas. Se encuentra en estado no líquido y su movimiento se realiza en forma de vapor. Esta clase de agua es completamente inaprovechable por parte de la planta.

- **Agua capilar :**

Es el agua sujeta a una tensión entre aproximadamente 1.1 y 31 atmósferas. Se presenta en estado líquido y su movimiento ocurre por capilaridad especialmente en los microporos. Parte de esta agua (no toda) es aprovechada por la planta y lleva consigo los elementos nutritivos necesarios para el crecimiento y desarrollo del vegetal.

▪ **Agua gravitacional:**

Es el agua sujeta a tensiones menores de 0.1 atmósferas, se presenta en forma líquida y cuyo movimiento, que se realiza a través de los macroporos, responde a la fuerza de la gravedad. Generalmente esta clase de agua se considera superflua y puede llegar a ser dañina porque arrastra compuestos solubles a estratos inferiores del suelo.

4.7.3. CAPACIDAD DE CAMPO

La capacidad de campo (CC) es el agua que permanece en el suelo cuando ha fluído el agua gravitacional o de drenaje. Por lo general, un suelo bien drenado llega a este punto aproximadamente a las 48 horas después de irrigarse o haber recibido una fuerte precipitación. La capacidad de campo no es un valor único del suelo, el sistema dinámico de remoción de agua por medio de drenaje, evaporación y transpiración, y el agua que se agrega por medio del rocío de lluvia y de irrigación, son factores diversos por los que nunca se logra el equilibrio entre la cantidad de agua del suelo y el campo de fuerza gravitacional. Hay otros factores que influyen en el equilibrio, incluyendo la histéresis, la temperatura del suelo, su textura y estructura, etc.

Como consecuencia del sistema dinámico y de los muchos factores modificantes, la Capacidad de Campo debe considerarse como característica de las condiciones de campo y, por lo tanto sólo se puede determinar con exactitud en el campo. Es la región del contenido de humedad del suelo en donde comienza a reducirse la velocidad de la remoción del agua del suelo, después de una irrigación o lluvia fuerte. El mejor uso de este término es para indicar una región general del contenido de humedad. Cuando se necesiten valores más exactos se deben usar términos más precisos de equilibrio, tales como porcentaje correspondiente a un tercio de bar.

La capacidad de campo se expresa en porcentaje sobre el peso seco del suelo y se determina en unidades de presión, por lo general con valores entre 0.06 y 0.6

atmósferas, si la textura del suelo es, en su orden, muy gruesa o muy fina, en casos excepcionales se determina su valor a una atmósfera. Por lo común los contenidos de humedad del suelo en la capacidad de campo son menores para suelos arenosos y de tenores bajos de materia orgánica y altos para los arcillosos y ricos en materia orgánica. Esta constante de humedad representa el máximo valor del agua aprovechable del suelo al relacionar la textura sobre el volumen del suelo, la curva asciende a medida que la textura es más fina y llega a su máximo contenido en suelos franco limoso o franco arcilloso, punto a partir del cual la línea permanece más o menos estable en las texturas más pesadas. (FEDEALGO, 1987)

4.7.4. PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE

Se conoce como tal al porcentaje o punto del agua del suelo cuando las plantas se marchitan permanentemente, es decir, representa el nivel mínimo del agua aprovechable del suelo. Se expresa en porcentaje sobre el peso seco del suelo y se determina en platos a presión con valores entre 13 y 31 atmósferas, siendo el nivel más aceptado el de 15 atmósferas. Los contenidos de humedad son bajos en suelos de textura gruesa y altos en los de textura fina. (FEDEALGO, 1987)

Si se expresan tales valores como porcentaje sobre el volumen del suelo, se obtiene una curva cuyos valores son máximos en las texturas finas. El término punto de marchitez es un término dinámico y debe considerarse como una región del contenido de humedad y como tal es característico del perfil, que incluye no solamente la cantidad de agua se moviliza a las raíces de la planta. Considera no solo la superficie del suelo, sino todo el suelo en el que crecen raíces de plantas. En regiones que poseen atmósfera con fuerza disecante baja, el suelo puede secarse más en las partes profundas antes que las plantas se marchiten y no se recuperen, en comparación con lo que puede ocurrir en regiones y períodos de transpiración alta.

Como el PMP es un valor dinámico que depende del suelo, de la planta y del clima, para muchos propósitos es mejor referirse a un valor de equilibrio que tiene lugar en el mismo rango del contenido de humedad. Tal como se ha indicado, el punto de marchitez corresponde aproximadamente, a la cantidad de agua en el suelo con un potencial de agua de 1500 julios/kg (es decir, en equilibrio con presión de 15 Bares a través de una membrana permeable al agua pero no al aire o suelo). Al hacer Referencia a la condición de la planta, se usará término "Punto de marchitez". Cuando se haga referencia a las condiciones de equilibrio serán

más apropiadas las expresiones como porcentaje de humedad correspondiente a 1500 julios/kg equivalentes a 15 bars. (FEDEALGO, 1987)

4.7.5. AGUA APROVECHABLE DEL SUELO

El agua aprovechable del suelo representa la diferencia entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente. Como se expresan estos últimos valores en porcentaje con base al peso seco del suelo, la diferencia se obtiene en la misma unidad, lo cual no ofrece significado práctico. Con el fin de adquirir una idea más comprensible acerca de los contenidos de agua aprovechable, estos comúnmente se indican en porcentaje sobre el volumen del suelo, para lo cual se multiplica el porcentaje con base al peso seco del suelo por la densidad aparente respectiva. Así mismo, a partir de esta expresión puede formularse el contenido de humedad como la lámina de agua. (FEDEALGO, 1987)

El contenido de agua aprovechable, expresado con base al volumen del suelo, se hace mayor a medida que aumenta la finura del suelo hasta el franco limoso, o franco arcilloso, donde se logra el máximo valor. De allí en adelante el agua aprovechable disminuye, pues, como se dijo anteriormente, los contenidos de la capacidad de campo en las texturas más finas se tornan más o menos constantes y los de punto de marchitez permanente son ascendentes. Desde el punto de vista de la economía de riego, las texturas franco limosa y franco arcillosa son las ideales debido a sus altos contenidos de agua aprovechable, contenidos que se reflejan en una frecuencia de riego más larga y por consiguiente en un menor número de riegos durante el periodo vegetativo del cultivo. (FEDEALGO, 1987)

Tabla No. 4 Valores de CC y PMP estándar para diferentes texturas

TEXTURA DEL SUELO	HUMEDAD DEL SUELO		
	CC	PMP	HUMEDAD DISPONIBLE
Arenoso	9%	2%	7%
Arenoso-Franco	14%	4%	10%
Franco Arenoso + Materia Orgánica (MO)	29%	10%	19%
Franco	34%	12%	22%
Franco – Arcilloso	30%	16%	14%
Arcilloso	38%	34%	14%
Arcilloso con buena estructura	50%	30%	20%

Fuente: Doorenbos y Pruitt, 1977

En la tabla anterior se muestran la CC y PMP para diferentes texturas de suelos según Doorenbos y Pruitt, 1977.

4.7.6. INFILTRACIÓN DEL AGUA EN EL SUELO

El movimiento del agua dentro de la masa del suelo se denomina percolación. Tal movimiento es prácticamente imposible de determinar, por lo cual se recurre a la infiltración que indica la entrada de agua al suelo y cuyo análisis se obtiene fácilmente por medio de infiltrómetros. La infiltración o penetración del agua al suelo depende de muchos factores, entre los cuales pueden citarse la textura, la estructura, la cantidad de materia orgánica, la presencia de grietas y costras, la pulverización del terreno motivada por las cultivadas, la presencia de capas impermeables o de niveles de aguas freáticas más o menos superficiales y la compactación provocada por el laboreo constante del terreno, especialmente por las aradas que pueden llegar a formar un piso de arado impermeable. (FEDEALGO, 1987)

Muchos investigadores han tratado de modelizar el fenómeno de infiltración, a través de formulaciones matemáticas usando algunos supuestos y simplificaciones entre los que se puede mencionar a Horton (1 933 - 1 939), Green y Ampt (1911), Kostiakov (1932), citados por Baver et al. (1973). Entre las fórmulas propuestas por estos investigadores, se destaca la ecuación de Kostiakov:

$$L = k * T^n$$

Donde:

L: es la lámina infiltrada.

T: es el tiempo.

k: es un parámetro que depende de la estructura y la condición del suelo en el momento en que se aplica el agua (Gavande et al. 1 972).

n: es un parámetro que depende de los cambios de estructura del suelo, resultantes de la mojadura (Gavande et al. 1 972).

Esta fórmula no tiene un fundamento físico, ni es dimensionalmente homogénea, pero se ajusta muy bien al fenómeno de infiltración, dentro de los límites agronómicos (Fernández et al. 1 971). La velocidad de infiltración depende de muchos factores, como ser el espesor de agua empleado para el riego o lluvia, la temperatura del agua y el suelo, la estructura y la compactación, textura, estratificación, contenido de humedad, agregación y actividades microbianas (Gavande et al. 1 972), además los distintos manejos que se le imponen al suelo modifican a estos factores y por ende las labranzas modifican la velocidad de entrada de agua al perfil de suelo.

Cuando las labranzas modifican la distribución del tamaño de los poros, en la capa arable, se produce un incremento en la capacidad del suelo para retener agua a bajas succiones lo que hace que incremente la infiltración, por debajo de la capa arable la capacidad de retención de agua es menor por lo que hace disminuir la infiltración, esto es debido a los cambios en la geometría del espacio poroso (compactación, piso de arado) inducidos por las labranzas (Pla Sentis, 1994).

También no hay que olvidarse que la infiltración del agua posee un rol fundamental en los procesos de escorrentía como respuesta a una precipitación dada en una cuenca, dependiendo de su magnitud; lluvias de iguales intensidades pueden producir caudales diferentes, esto es de gran importancia práctica dado que su velocidad determina generalmente la cantidad de agua de escurrimiento superficial y con ello el peligro de "erosión hídrica". A continuación se presenta la clasificación de la infiltración:

Tabla No. 5 Valores de Infiltración

Infiltración	Muy lenta	Lenta	Moderadamente lenta	Moderada	Moderadamente elevada	Elevada	Muy elevada
K (cm/h)	< 0,1	0,1 – 0,5	0,5 – 2,0	2,0 – 6,5	6,5 – 12,5	12,5 – 25,0	> 25,0

Fuente: I "Soil Conservation Service"² de los Estados

4.7.7. RELACIONES SUELO / AGUA / PLANTA

4.7.7.1. Zona de extracción de humedad

La zona de extracción de humedad por parte del cultivo varía de acuerdo con la especie vegetal, la etapa del periodo vegetativo y las características del perfil del suelo. (FEDEALGO Colombia, 1987). La zona de extracción de humedad no es sinónimo de profundidad radicular del cultivo, aun cuando se presume directamente proporcional a ella. Se define como aquella profundidad en la cual casi todas las raíces activas, de un grado promedio de madurez, extraen la humedad. Por lo general se fijan valores de 60 a 90 cm, como profundidad de la zona de extracción de humedad para la mayoría de los cultivos anuales, profundidad sobre la cual se establecen los datos referentes al consumo de humedad.

También se acepta en la práctica, una profundidad de la zona de extracción de humedad equivalente al 50% de la profundidad del sistema radicular. Se ha

establecido, en términos generales, que el vegetal absorbe en el primer cuarto de la zona radicular el 40% del agua que necesita, en el segundo cuarto el 30%, en el tercero el 20% y en el cuarto final solo el 10%, módulo con el cual se subraya la importancia de mantener un alto abastecimiento de humedad en la parte superficial del suelo. (FEDEALGO Colombia, 1987)

Según la profundidad efectiva de las raíces, las plantas pueden clasificarse en:

- 1- **Plantas de raíces superficiales:** su profundidad efectiva es solo de 40 a 50 centímetros, por lo tanto la profundidad de suelo que le sirve de depósito, es de 20 a 25 cm. Entre estas figuran las hortalizas y la mayoría de los pastos gramíneos.
- 2- **Plantas de raíces medias:** profundidad de penetración efectiva, de 60 a 120 cm. En este grupo están la papa, el maíz, **algodón**, caña de azúcar y otros. Para estos cultivos, el espesor de la zona de extracción en la práctica es de 60 cm.
- 3- **Plantas de raíces profundas:** penetración efectiva de 120 a 200 cm. Entre ellas están la alfalfa y los frutales.

4.7.8. EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO

El contenido de humedad de los suelos de campos con cultivos en desarrollo es función del tiempo y la posición en cambio constante. Las plantas que transpiran toman agua de la zona radicular al principio con mayor rapidez de las capas superficiales, y luego, conforme el potencial de agua es más difícil de obtener, de las partes más secas del suelo. Las raíces de las plantas extraen agua con mayor rapidez de las capas más profundas. (FEDEALGO Colombia, 1987). Es difícil evaluar la cantidad de agua en una cantidad dada de suelo, entre otras por las siguientes razones:

- a- El crecimiento desparejo de las plantas y la distribución no uniforme de las raíces producen variaciones en el contenido de humedad del suelo.
- b- Las diferencias de características de infiltración ocasionan, variaciones de campo después de una lluvia o irrigación.
- c- Las variaciones de suelo en cuanto a estructura, estratificación y textura, son causas de diferencia en la cantidad de agua retenida por el suelo.

- d- Las alteraciones y cambios en la densidad aparente, variación en volumen poroso y distribución de poros, son causa de que la condición de humedad del campo varíe considerablemente.
- e- La irregularidad en la topografía de la superficie da por resultado una mojadura despareja del suelo.
- f- La humedad del suelo está cambiando constantemente y solo se muestrea una vez en el sistema dinámico.

4.7.9. MOVIMIENTO DEL AGUA EN EL SUELO

El movimiento del agua ocurre cuando hay diferencias de potencial entre diferentes puntos del sistema. El agua tiende a moverse de alto a bajo potencial. Ya que la componente de succión (consistente sobre todo de gradientes matricial, osmótico o termal) puede exceder el componente gravitacional, el agua puede moverse verticalmente hacia arriba y hacia abajo o permanecer sin movimiento, cuando la gradiente de succión balancea la fuerza de gravedad. Según la naturaleza de los procesos y leyes de la fuerza, pueden reconocerse tres fases del movimiento del agua: movimiento del agua en el interior del suelo, movimiento y drenaje del agua a través de un suelo saturado, y ajuste del agua en los suelos no saturados, incluyendo varios efectos osmóticos y térmicos sobre el. (FEDEALGO Colombia, 1987)

4.7.10. FRENTE DE MOJADURA

Se ha observado que el agua avanza en el suelo como un frente de humedad. Cuando la humedad llega hasta el suelo seco del frente de mojadura, la conductividad disminuye bruscamente dando la impresión de que el agua se acumula detrás del frente hasta que el suelo tiene alrededor del 80% de saturación, después de lo cual se mueve bastante rápido hasta el próximo agregado o grano.

Si el suelo dentro del que se está infiltrando el agua estaba inicialmente húmedo, el movimiento del frente de mojadura hacia abajo es más gradual que en suelo seco. Los suelos húmedos transmiten agua mucho más rápidamente que los secos y, por lo tanto, el declive del frente de mojadura es más gradual. En general, los suelos arenosos mojados tienen propiedades más altas de transmisión de agua que las arcillas mojadas, pero propiedades más bajas de transmisión cuando ambos suelos están secos. (FEDEALGO Colombia, 1987).

4.7.11. PENETRACIÓN DEL AGUA EN EL SUELO

El agua se mueve en el interior de suelos homogéneos, que están uniformemente húmedos, a más o menos la misma velocidad en todas las direcciones. El agua que se aplica a la superficie del suelo franco arenoso entra más rápido que en los suelos finos. En este caso los poros son más grandes en los suelos franco arenosos y el movimiento del agua líquida libre está menos restringido que en suelos de textura fina con poros pequeños. Sin embargo el suelo fino con poros más pequeños tiene más espacio poroso libre a través del cual el agua puede moverse. Consecuentemente, en un tiempo dado de drenaje, el frente de mojadura se extiende más en un suelo arcilloso que en uno franco arenoso. La conductividad de la humedad del suelo es función del número y espesor de las películas conductoras; esto tiene relación, a su vez, con el potencial de humedad. (FEDEALGO Colombia, 1987)

4.7.12. ALMACENAMIENTO DEL AGUA

El suelo está compuesto de partículas sólidas de formas y tamaños, entremezclados con espacios porosos que pueden llenarse con cantidades recíprocas variables de solución del suelo o aire, de acuerdo con la situación de la humedad. Algunas veces se ha supuesto que toda el agua que entra en el suelo se almacena y, posteriormente, es aprovechable por las plantas. Este concepto ha conducido a la idea de que cuando se cubre la capacidad de almacenamiento no entra más agua en el suelo. No es raro encontrar que algunos agricultores aplican agua libre en exceso durante la época de preparación con la creencia errónea de que se almacena para uso futuro de las plantas. De ello resulta un considerable desperdicio de agua, lixiviación de sustancias nutritivas del suelo y formación de áreas anegadas y salinas en regiones irrigadas. (FEDEALGO Colombia, 1987).

4.7.13. DENSIDAD APARENTE

Si no se dispone de datos de densidad aparente, es posible obtener un valor aproximado de ésta por medio del valor de la textura. Si el único dato que tenemos es la clase textural del suelo es posible ofrecer una aproximación del valor de la densidad aparente mediante el empleo de la siguiente tabla USDA. NRCS en la que se expresan los valores de densidad aparente, además sirve para comparar la credibilidad de datos de laboratorio.

Tabla. NO. 6 Clases texturales de suelo (Soil Survey Staff USDA) y densidad aparente (g/cm³)

Clases texturales	da (g/cm ³)
Arena (<i>Sands</i>)	1.70-1.80
Arena gruesa (<i>Coarse sand</i>)	1.60-1.70
Arena y arena fina (<i>Sand and Fine Sand</i>)	1.55-1.65
Arena muy fina (<i>Very fine sand</i>)	
Arena franca (<i>Loamy sands</i>)	1.60-1.70
Arena franca gruesa (<i>Loamy coarse sand</i>)	1.55-1.65
Arena franca, Arena franca fina (<i>Loamy sand, Loamy fine sand</i>)	1.55-1.60
Arena franca muy fina (<i>Loamy very fine sand</i>)	
Franco arenosa (<i>Sandy loams</i>)	1.55-1.60
Franco arenosa gruesa (<i>Coarse sandy loam</i>) Franco arenosa y Franco arenosa fina (<i>Sandy loam Fine sandy loam</i>)	1.50-1.60
Franco arenosa muy fina (<i>Very fine sandy loam</i>)	1.45-1.55
Franca y franco limosa (<i>Loam and Silty loam</i>)	1.45-1.55
Limo (<i>Silt</i>)	1.40-1.50
Franco arcillosa (<i>Clay loam</i>)	1.40-1.50
Franco arcillo arenosa y franco arcillo limosa (<i>Sandy clay loam Silty clay loam</i>)	1.45-1.55
Arcilla arenosa (<i>Sandy clay</i>)	1.35-1.45
Arcilla limosa (<i>Silty clay</i>)	1.40-1.50
Arcilla (<i>Clay 35-50%</i>)	1.35-1.45
(<i>Clay 50-65%</i>)	1.25-1.35

Fuente: www.mn.nrcs.usda.gov

4.7.14. CANTIDAD Y DISTRIBUCIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA EN EL SUELO

Los contenidos son muy variables. Valores usuales 0.5 – 10%.

Se concentra en el horizonte superficial y disminuye gradualmente con la profundidad (a excepción de determinados tipos de suelos, como 30odzoles, turbas y fluvisoles). En los suelos de pradera el contenido en materia orgánica es mayor que en los de bosque y alcanza niveles más profundos (Dorronsoro, 2011).

En la cantidad y calidad de la materia orgánica intervienen numerosos factores.

- Del material orgánica original: cantidad, calidad, edad y tamaño de los restos.
- De las características del suelo: presencia de microorganismos, existencia de nutrientes, pH, aireación y minerales.
- De las carácter climáticas: humedad, temperatura y alternancias climáticas, fundamentalmente

4.7.15. POROSIDAD

Como consecuencia de la textura y estructura del suelo tenemos su **porosidad**, es decir su sistema de espacios vacíos o poros. Los poros en el suelo se distinguen en: **macroscópicos** y **microscópicos**. Los primeros son de notables dimensiones, y están generalmente llenos de aire, en efecto, el agua los atraviesa rápidamente, impulsada por la fuerza de la gravedad. Los segundos en cambio están ocupados en gran parte por agua retenida por las fuerzas capilares. Los terrenos arenosos son ricos en macroporos, permitiendo un rápido pasaje del agua, pero tienen una muy baja capacidad de retener el agua, mientras que los suelos arcillosos son ricos en microporos, y pueden manifestar una escasa aeración, pero tienen una elevada capacidad de retención del agua (Constantino 1970).

La porosidad puede ser expresada con la relación:

$$P = \frac{V_e}{V}$$

Donde:

P = porosidad

Ve = volumen de espacios vacíos, comprendiendo los que están ocupados por gases o líquidos

V = volumen total de la muestra, comprendiendo sólidos, líquidos y gases.

A continuación se presentan algunos valores de porosidad:

Tabla No. 7 Valores de porosidad para diferentes suelos

SUELOS	POROSIDAD TOTAL	CONDICIÓN
arenosos superficiales	35 - 50 %	Poca retención de agua Buena aireación
textura Fina	40 - 60 %	Buena retención de agua Mala aireación
Suelos Compactados	25 - 30 %	

Fuente: Constantino 1970

4.8. ANÁLISIS DEL AGUA

El análisis físico químico del agua a utilizar para el sistema de riego es de vital importancia debido a que este nos permite conocer las sustancias presentes y sus concentraciones, que pueden llegar a causar problemas tanto al desarrollo de la planta, al suelo, a la red de distribución, así como a los animales o personas que las consuman.

La normatividad colombiana en lo referente a la calidad del agua para uso agrícola y consumo humano se establece en el (decreto 1594 del 26 de junio de 1984), y (el decreto 1575 de 2007) respectivamente, el cual se basa en los estándares internacionales para la determinación de los límites máximos permisibles que no afecten a corto o largo plazo la producción agrícola y la integridad física de las personas, en vista de lo anterior expuesto se realizaron los respectivos análisis de aguas de la Quebrada la Esperanza en el laboratorio de aguas de la Universidad Surcolombiana, los resultados obtenidos de los parámetros se exponen en la (Tabla 23).

La clasificación de las aguas que se presenta no debe ser utilizada de forma absoluta ya que son criterios susceptibles de variación debido al comportamiento de las sustancias presentes en ella, al interactuar con los diferentes medios (suelo, clima, planta). Son variados los métodos que se utilizan para la evaluación y clasificación, Algunos métodos se basan en la calidad y cantidad de material en suspensión y solución; otros agrupan tolerancia del cultivo, propiedades del suelo a regar, condiciones de manejo del suelo y del agua y factores climáticos, el grado de afectación tienen estrecha relación con lo que son los materiales en suspensión, la cantidad de sales solubles, la clase de sales, la concentración absoluta y relativa de sodio y la presencia de iones tóxicos.(Rojas , Jaime).

Otro parámetro a tener en cuenta para la determinación de la calidad del agua para riego es el carbonato de sodio residual (CSR), ya que en las aguas en las que el contenido de bicarbonato sea elevado, habrá tendencia a que el calcio y el magnesio, se precipiten como carbonatos, reduciendo las cantidades solubles de calcio y magnesio e incrementando la relación de absorción de sodio (withers, 1982), la clasificación según (Augura) se presenta en la tabla siguiente:

Tabla No. 8 Clasificación del agua según CSR y PSP

CLASE	CSR (me/l)	PSP
Buena	< 1,25	< 50
Condicionada	1,25 – 2,50	> 50
No Recomendable	> 2,50	-

Fuente: Augura

4.9. ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS

El conocimiento de las concentraciones de los componentes nutricionales con que cuenta los suelos de la zona a beneficiar es de vital importancia tanto para el cultivo a implementar así también para comprender de forma más adecuada la interacción con las concentraciones de las sustancias que componen las aguas de riego, ya que este podría traer problemas de toxicidad, salinidad si llegan a sobrepasar los límites admisibles de los cultivos o deteriorar los suelos al desplazar los componentes que los constituyen.

Los suelos de la finca la esperanza se agruparon en cuatro zonas con el fin de reducir los análisis de suelos, la metodología que se siguió para la agrupación de los diferentes lotes se baso en la similitud de las propiedades como lo son la textura, la densidad aparente y la infiltración básica.

Los análisis de suelos de las diferentes zonas (Eucaliptos, Huerta, C, P-E) de la finca la Esperanza que se practicaron fueron realizados por el laboratorio de suelos de la universidad surcolombiana, los resultados obtenidos y el plan de manejo de fertilización se exponen en la tablas #.

4.10. BOCATOMA

Es una obra hidráulica de captación por medio de la cual se deriva el caudal de diseño que por lo general corresponde al caudal máximo diario más un 10% que representa las perdidas en la conducción, si se trata de proyectos rurales pequeños y medianos (López 2003).

La captación se realizara con bocatoma de fondo para garantizar el aprovisionamiento del fluido, debido a que el caudal medio de la quebrada la esperanza es de aproximadamente 20 l/s considerado un caudal bajo y el caudal a transportar es solo de 3.2 litros por segundo siendo de esta forma un caudal de diseño de 3.5 Litros/segundo. Este tipo de bocatoma se compone de presa, solados o enrocado superior e inferior, muros laterales, rejilla, canal de aducción, cámara de recolección.

Presa. Estructura construida en concreto dispuesta de forma perpendicular al flujo, en esta se encuentra el canal de aducción y la rejilla, la cual se encuentra a igual cota que el fondo del rio.

Solados. Estructura en concreto ciclópeo dispuesto de forma paralela al flujo a lado y lado del cauce, tiene como función proteger la estructura de la socavación y encauzar las aguas hacia la rejilla.

Rejilla. Estructura fabricada con barras de acero ubicada sobre el canal de aducción, de longitud menor o igual a la garganta o presa, siendo esta función del caudal a captar, las dimensiones deben ser las pertinentes para permitir un mantenimiento adecuado.

Canal de Aducción. Estructura ubicada en la presa encargada de recibir y conducir el caudal captado hacia la cámara de recolección, con pendiente entre 1 y 14% que permitiría la labor de mantenimiento.

Cámara de recolección. Estructura en concreto reforzado de sección rectangular, en la que se dispone un vertedero de excesos, la tubería de excesos, tubería de aducción, tapa de mantenimiento en la placa superior y escaleras para acceso.

4.11. DESARENADOR

Los desarenadores son estructuras en concreto reforzado, encargadas de recibir las aguas cargadas de sedimentos en suspensión, para permitir la decantación por efecto de la gravedad al pasar de flujo turbulento a laminar, permitiendo así mejorar la calidad del agua en un gran porcentaje, el cual depende de las estructuras, la disposición que se le dé y el dimensionamiento adecuado, deben ser ubicadas lo más cerca posible a la bocatoma para evitar problemas de obstrucción en la aducción por efecto de los sedimentos presentes.

El objetivo del desarenador como tal, es la remoción de partículas hasta el tamaño de arenas (López 2003). Este se compone de 5 zonas que serán descritas a continuación.

Zona 1: llamada cámara de aquietamiento, cuya función es disipar la energía de velocidad proveniente del flujo en la tubería, efecto que se consigue al producirse la expansión abrupta, el paso del agua de esta zona a la siguiente se efectúa a través de orificios sumergidos ubicados sobre un muro en concreto, los cuales tienen por función disminuir y distribuir de forma uniforme el flujo en toda la sección de la estructura, en esta zona se dispone un canal de excesos para evacuar el caudal sobrante y conducirlo de nuevo a la fuente.

Zona 2: entrada al desarenador comprendida entre la cámara de aquietamiento y una pantalla de concreto que obliga a descender el flujo para conseguir que se sedimente más rápido las partículas de mayor diámetro.

Zona 3: es donde se produce el efecto de sedimentación de las partículas restantes, de allí es donde adquiere el nombre (zona de sedimentación), esta zona permite que el flujo se estabilice para generar las condiciones de quietud adecuadas para que las partículas se precipiten, esta condición es función de la profundidad útil de sedimentación y del tiempo de retención del agua.

Zona 4: almacenamiento de lodos, es donde se recolectan las partículas sedimentadas, es la zona delimitada entre el fondo del tanque y la profundidad útil de sedimentación, esta se componen de lozas con pendientes en sentido longitudinal y transversal al canal y tubería de lodos.

Zona 5: Salida del desarenador, allí se obliga el flujo a ascender por efecto de la pantalla sumergida que evita el paso de material flotante hacia la tubería principal, seguida a la pantalla se encuentra un vertedero de salida y la tubería principal, esta zona es protegida por una placa para evitar la contaminación del agua.

Como primera medida se llevo a cabo el reconocimiento del terreno a beneficiar y las condiciones de climatología de la zona, seguido se realizo el levantamiento topográfico de planimetría y altimetría en la finca la Esperanza, los datos de climatología, planos de red de distribución y conducción principal se relacionan en los anexos.

4.12. DISEÑO SISTEMA DE RIEGO

El sistema se diseñara para captar y distribuir 3.2 litros por segundo, que serán conducidos por tubería de polietileno de alta densidad, contara con la estructura de canal de derivación paralelo al cauce, de bocatoma, desarenado, filtrado y red de distribución, para el diseño de las estructuras se tomo la metodología de López y corcho.

Los cálculos hidráulicos respectivos se realizaron con el software para simulación de redes hidráulicas Epanet 2.0 español, se escogió la ecuación de pérdidas que mejor se ajustara a las condiciones de la red a diseñar y el caudal a transportar, determinándose así la propuesta por los ingenieros Darcy – weisbach ya que es el modelo que mejor describe las pérdidas de energía en una tubería (López, 2003). Y por no presentar restricciones como las de la ecuación de Hazen – Williams que solo puede ser utilizada para agua, por presentar incertidumbre en la determinación del coeficiente C, con límites de aplicación en cuanto a diámetros comprendidos entre 50 mm y 350 mm (Corcho et al., 1993).

Debido a que el sistema de riego a diseñar es de categoría semimovil, la red se simulo hasta los hidrantes donde se entregara el caudal con la presión necesaria para vencer las pérdidas generadas en la parte semimovil y poner en marcha el aspersor, en adelante se conduce el agua a través de una manguera de PVC flexible de una pulgada que conectara al aspersor.

La red está comprendida desde el desarenador tomando el sector 1 que beneficia los lotes (C) hasta el cuarto sector de riego que se encuentra ya establecido en los lotes (P) de la finca permitiendo así la conexión a esta tubería.

La determinación de la tubería y sus especificaciones técnicas se basaron en la presión estática generada por la energía potencial presente, que para el sector tres que es el más crítico alcanza 81 mca, otro de las consideraciones a tener en cuenta para la elección de tubería de PE es la onda de energía producida por el sierre repentino de los hidrantes (golpe de ariete) que será amortiguado y soportada mejor debido a la elasticidad, propiedad que permite además de estos una manejo más fácil para su instalación y ahorro de accesorios por cambio de dirección en comparación con la tubería de PVC

4.12.1. Canal De Derivación

Un canal abierto es un conducto en el que el agua fluye con superficie libre. Clasificado de acuerdo a su origen, un canal puede ser natural o artificial (Ven Te Chow, 1982).

Se estableció la construcción de un canal de derivación artificial en tierra de sección trapezoidal que interceptara el cauce de la quebrada la esperanza, este se diseña para captar un caudal de 5 l/s previendo las pérdidas generadas en el tramo comprendido hasta la bocatoma garantizando de esta forma el caudal de diseño (3.5l/s).

4.12.2. Carga Vertical en Tuberías

Para la determinación de la carga vertical que el suelo genera sobre la tubería se tiene la siguiente ecuación

$$P = C \times \gamma \times B^2$$

Donde:

$$P = \text{carga vertical} \left(\frac{kg}{m} \right)$$

C = *coeficiente experimental (tabla#)*

γ = *peso especifico del material humedo*

$B =$ ancho de zanja

Tabla No. 9 Coeficiente experimental C

Material de relleno	H/B					
	1	2	4	6	8	10
Tierra ordinaria saturada	0.8	1.5	2.2	2.6	2.8	2.9
Arena y grava	0.8	1.5	2.3	2.8	3.1	3.2
Arcilla saturada	0.8	1.5	2.6	3.3	3.8	4.1

Fuente: Lopez. 2006

4.12.3. Apoyos en Tuberías

El empuje al que se someten las tuberías en los cambios de dirección horizontal o vertical producido por la presión estática y dinámica del fluido transportado debe ser absorbido por los anclajes o apoyos que se construyen generalmente de concreto ciclópeo o armado el cual depende la ubicación del mismo y del terreno sobre el cual se construya,.

La ecuación para la determinación del esfuerzo por presión estática es la siguiente:

$$E = 2 \times \gamma \times H \times A \times \text{sen} \left(\frac{\theta}{2} \right)$$

Siendo $E =$ esfuerzo estatico (kg)

$\gamma =$ peso especifico del agua ($1000 \frac{Kg}{m^3}$)

$H =$ altura de columna de agua (m)

$A =$ area de la seccion del tubo (m^2)

$\theta =$ angulo de cambio de direccion

La ecuación para la determinación del esfuerzo por presión dinámica generado por la fuerza centrífuga es la siguiente:

$$C = \frac{2 \times \gamma \times A}{g} \times V^2 \times \text{sen} \left(\frac{\theta}{2} \right)$$

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO

La suma de los dos tipos de esfuerzos representa el empuje total generado en el cambio de dirección de la conducción y que deberá ser soportado por el anclaje el cual transmitirá al suelo de diferentes maneras dependiendo del tipo de apoyo (horizontal, vertical inferior o vertical superior), a su vez el esfuerzo admisible del suelo y el esfuerzo de fricción suelo – concreto deben soportar el empuje.

En la mayor parte de los casos el empuje debido a la presión dinámica es despreciable, ya que la altura H es mucho mayor a la altura de velocidad (López, 2003).

Para la determinación del área (A) que soportará el empuje se utilizo la siguiente ecuación.

$$A = \frac{E}{\sigma_{adm}}$$

Esta es función del esfuerzo admisible máximo del suelo el cual varía dependiendo del tipo, tabla # y del empuje (E).

Tabla No. 10 Esfuerzo admisible vertical típico

Terreno	σ_{max} (kg/cm ²)
Arena suelta o arcilla blanda	<1
Arena fina compacta	2
Arena gruesa mediana mente compacta	2
Arcilla dura	4
Roca alterada	3 -10
Roca inalterada	20

Fuente: Lopez. 2006

La resistencia horizontal puede considerarse como 0.5 o 0.25 de la resistencia vertical calculada. Para la determinación de la fricción se tiene la siguiente ecuación:

$$E_h \pm E_v = P \times tg\varphi_{max}$$

Siendo.

E_h = componente horizontal del empuje

E_v = componente vertical del empuje

$tg\varphi_{max}$ = coeficiente de fricción concreto sobre el suelo

P = peso de anclaje

Tabla No. 11 Coeficiente de fricción suelo Concreto

TERRENO	$tg\phi_{max}$
Arcilla húmeda	0.30
Arcilla seca	0.35
Arena arcillosa	0.40
Arena sin limo ni arcilla	0.50
Grava	0.60

Fuente: Lopez 2006

Las dimensiones de los anclajes se establecen por tanteo de forma tal que se ajusten a las dimensiones de la tubería y que cumplan con los requerimientos para soportar las cargas.

Los cálculos para la determinación de las dimensiones de los apoyos y cantidad de concreto se realizo con la hoja de cálculo que suministra PAVCO (ver Anexos).

4.12.4. Golpe de Ariete.

En los sistemas de riego en las que se presenta regularmente cierres repentinos como en el caso de los semimovil debido a los hidrantes es de vital importancia tener en cuenta el golpe de ariete generado que no es más que el efecto de choque violento o sobre presión súbita producido sobre las paredes del conducto forzado, al modificarse de manera instantánea el movimiento del fluido, como ocurre en el cierre repentino de una válvula (López 2003).

Para evitar este fenómeno en la conducción se pueden tomar varias medidas, las que se exponen a continuación.

- Limitar las velocidades de 0.6 a 3.0 m/s
- Cerrar lentamente las válvulas
- Construir cámaras de aire o pozos

La ecuación para la determinación de la sobre presión es:

$$h_a = \frac{C \times V}{g}$$

donde h_a = sobre presión en metros de agua

V = velocidad ($\frac{m}{s}$)

C = celeridad de la onda ($\frac{m}{s}$)

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE
LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE
OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO**

Para el cálculo de la celeridad se tiene la ecuación que se presenta a continuación:

$$C = \frac{9900}{\sqrt{48.3 + K \times \frac{D}{e}}}$$

Siendo $D =$ *diámetro de la tubería*

$e =$ *espesor de la pared del tubo*

$K =$ *relación entre el módulo de elasticidad del agua y el material de la tubería* Tabla #

Tabla. No. 12 Relación entre el módulo de elasticidad del agua y del material de la tubería

Material de la tubería	K
Acero	0.5
Hierro fundido	1.0
Concreto	5.0
Asbesto – Cemento	4.4
Plástico	18

Fuente: Lopez. 2006

En el caso de generarse un cierre de la válvula demasiado rápido $t \leq \frac{2xL}{c}$ la sobre presión máxima será:

$$h_a = \frac{CxV}{g}$$

$h_a =$ *sobre presión (m de agua)*

$V =$ *velocidad* $\left(\frac{m}{s}\right)$

5. RESULTADOS

5.1. ANALISIS QUIMICO DE SUELOS

Tabla No. 13 Análisis de suelos lotes de Eucaliptos

ZONA		EUCALIPTOS		
Parámetros Químicos	Unidad	Resultado	Clasificación	Rango
pH	-	5.94	Moderadamente ácido	6.6-7.3
M.O	%	1.51	B	3-5
Fosforo (P)	ppm	15	M	15-40
Calcio (Ca)	Cmol*Kg ⁻¹	4.34	M	3-6
Magnesio (Mg)	Cmol*Kg ⁻¹	1.25	M	1.25-2.50
Sodio (Na)	Cmol*Kg ⁻¹	0.05	N	0.1-0.5
Potasio (K)	Cmol*Kg ⁻¹	0.07	B	0.2-0.4
Bases Totales (BT)	Cmol*Kg ⁻¹	5.71	-	
Relación Ca/Mg	-	3.47	I	2-4*
Relación (Ca +Mg)/K	-	79.86	D	10*
Relación Mg/K	-	17.86	-	3*
Textura	Clase	FA	FRANCO ARENOSA	

*Relación optima D: Deficiente N: Normal I: Ideal MB: Muy Bajo B: Bajo M: Medio A: Alto MA: Muy Alto
Fuente: Laboratorio de Aguas. Universidad Surcolombiana. 2011

Para la zona Eucaliptos se recomienda por parte del coordinador del laboratorio la aplicación de 5 bultos por hectárea de Urea, 2 bultos por hectárea de fosforita, 6 bultos por hectárea de cloruro de potasio, 1 bulto por hectárea de cal dolomita. La dosificación por planta es función del número de árboles por hectárea, de igual forma se recomienda aplicar la dosis en corona y fraccionada para evitar lixiviación.

Tabla No. 14 Análisis de suelos lotes C en pasto Brechiaría

ZONA		C		
Parámetros Químicos	Unidad	Resultado	Clasificación	Rango
pH	-	6.04	Moderadamente ácido	6.6-7.3
M.O	%	0.91	B	3-5
Fosforo (P)	ppm	7.3	B	15-40
Calcio (Ca)	Cmol*Kg ⁻¹	3.31	M	3-6
Magnesio (Mg)	Cmol*Kg ⁻¹	0.98	B	1.25-2.50
Sodio (Na)	Cmol*Kg ⁻¹	0.04	N	0.1-0.5
Potasio (K)	Cmol*Kg ⁻¹	0.06	MB	0.2-0.4
Bases Totales (BT)	Cmol*Kg ⁻¹	4.39	-	
Relación Ca/Mg	-	3.38	I	2-4*
Relación (Ca +Mg)/K	-	71.5	D	10*
Relación Mg/K	-	16.33	-	3*
Textura	Clase	FA	FRANCO ARENOSA	

*Relación optima D: Deficiente N: Normal I: Ideal MB: Muy Bajo B: Bajo M: Medio A: Alto MA: Muy Alto
Fuente: Laboratorio de Aguas. Universidad Surcolombiana. 2011

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO

Para la zona C (lotes C) se recomienda por parte del coordinador del laboratorio la aplicación de 5 bultos por hectárea de Urea, 2 bultos por hectárea de fosforita, 6 bultos por hectárea de cloruro de potasio, 1 bulto por hectárea de cal dolomita. La dosificación por planta es función del número de árboles por hectárea, de igual forma se recomienda aplicar la dosis en corona y fraccionada para evitar lixiviación.

Tabla No. 15 Análisis de suelos lote Huerta

ZONA		HUERTA		
Parámetros Químicos	Unidad	Resultado	Clasificación	Rango
pH	-	5.74	Moderadamente ácido	6.6-7.3
M.O	%	2.27	B	3-5
Fosforo (P)	ppm	12.3	B	15-40
Calcio (Ca)	Cmol*Kg ⁻¹	8.25	A	3-6
Magnesio (Mg)	Cmol*Kg ⁻¹	2.39	M	1.25-2.50
Sodio (Na)	Cmol*Kg ⁻¹	0.05	N	0.1-0.5
Potasio (K)	Cmol*Kg ⁻¹	0.03	MB	0.2-0.4
Bases Totales (BT)	Cmol*Kg ⁻¹	10.72	-	
Relación Ca/Mg	-	3.45	I	2-4*
Relación (Ca +Mg)/K	-	354.66	D	10*
Relación Mg/K	-	79.66	D	3*
Textura	Clase	FA	FRANCO ARENOSA	

*Relación optima D: Deficiente N: Normal I: Ideal MB: Muy Bajo B: Bajo M: Medio A: Alto MA: Muy Alto
Fuente: Laboratorio de Aguas. Universidad Surcolombiana. 2011

Para la zona Huerta se recomienda por parte del coordinador del laboratorio la utilización como fuentes: Nitrato de amonio, DAP y Sulfato de potasio, en las siguientes dosis anuales, (N 130 Kg/Ha, DAP 60Kg/Ha, Mg 10Kg/Ha, K₂O 150 Kg/Ha). Se recomienda aplicar la dosis en banda y fraccionada para evitar lixiviación.

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO

Tabla No. 16 Análisis de suelos lotes P-E

ZONA		P – E		
Parámetros Químicos	Unidad	Resultado	Clasificación	Rango
pH	-	5.97	Moderadamente ácido	6.6-7.3
M.O	%	2.15	B	3-5
Fosforo (P)	ppm	13.5	B	15-40
Calcio (Ca)	Cmol*Kg ⁻¹	1.97	B	3-6
Magnesio (Mg)	Cmol*Kg ⁻¹	0.79	B	1.25-2.50
Sodio (Na)	Cmol*Kg ⁻¹	0.07	N	0.1-0.5
Potasio (K)	Cmol*Kg ⁻¹	0.08	B	0.2-0.4
Bases Totales (BT)	Cmol*Kg ⁻¹	2.91	-	
Relación Ca/Mg	-	2.49	I	2-4*
Relación (Ca +Mg)/K	-	34.50	D	10*
Relación Mg/K	-	9.87	-	3*
Textura	Clase	FA	FRANCO ARENOSA	

*Relación optima D: Deficiente N: Normal I: Ideal MB: Muy Bajo B: Bajo M: Medio A: Alto MA: Muy Alto
Fuente: Laboratorio de Aguas. Universidad Surcolombiana. 2011

Para la zona P-E (lotes P-E) se recomienda por parte del coordinador del laboratorio la aplicación de 6 bultos por hectárea de Urea, 3 bultos por hectárea de fosforita 30P, 8 bultos por hectárea de cloruro de potasio, 2 bultos por hectárea de cal dolomita. Suplementar con 1 bulto /Ha de Agrimins menores. Aplicar la dosis al voleo y fraccionada para evitar lixiviación.

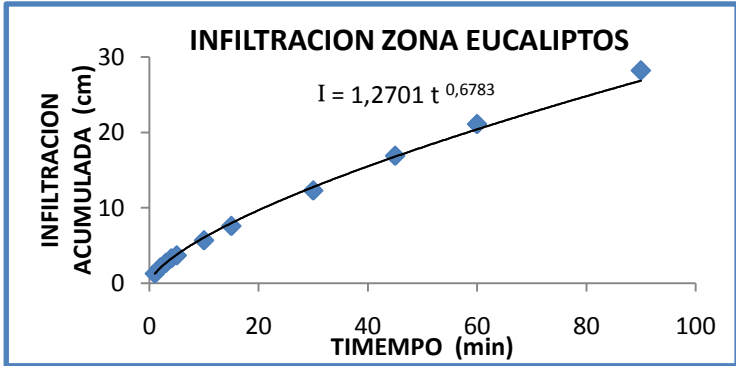
La relación agua suelo no presenta problemas debido a la buena calidad del agua y a las propiedades de textura franco arenosas, a la baja concentración de sales de los suelos y al clima presente en la finca la Esperanza.

5.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS SUELOS

Los suelos de la finca la esperanza en general presentan texturas franco arenosas, con problemas de compactación debidas a la explotación ganadera que se lleva a cabo, acarreado como consecuencia la reducción de la porosidad, afectando el movimiento tanto del agua como del aire.

Se analizaron las características físicas de los Suelos de la Finca la Esperanza, para una mayor confiabilidad de los datos se tomaron 10 muestras de suelos tomando en cuenta cambios de pendiente, vegetación y uso de suelo, haciendo énfasis de los primeros 25cm de suelo que es la profundidad efectiva del cultivo, luego de su análisis se unificaron muestras que tenían las mismas características físicas resultando 6 zonas, los parámetros físicos evaluados se presentan a continuación para cada zona:

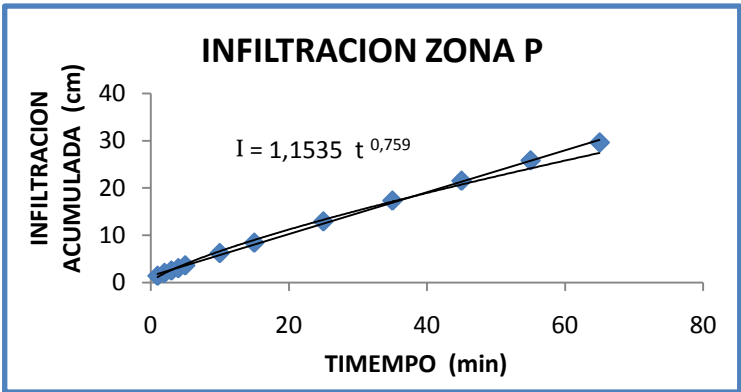
Tabla No. 17 Zona Eucaliptos

PARAMETRO	CONDICION
TEXTURA	FRANCO-ARENOSO (0 - 25 cm) FRANCO-ARCILLO-ARENOSO (25 - 30 cm)
DENSIDAD	$\rho_a = 1.67 \text{ g/cm}^3$
POROSIDAD	$\rho_r = 2.64 \text{ g/cm}^3$ 36.74 %
INFILTRACION	<div style="text-align: center;">  </div>
$t_b = 193 \text{ min}$	
$i_b = 9.51 \text{ cm/h}$	
CC	19,39 %
PMP	6.20 %
COLOR	5YR con H=10,4%
K_f Conductividad Hidráulica	$3,97 \times 10^{-6}$ (baja)
CE	199.33 Ms/m

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO

En la Tabla anterior se muestran las características físicas para la zona Eucaliptos, presentándose en los primeros 30cm dos horizontes, de los 0-25cm un horizonte A y desde los 25 en adelante el inicio de un horizonte B, siendo este horizonte favorable para la retención de humedad por la presencia de arcilla en mayor porcentaje, con una densidad y porosidad que puede clasificarse como aceptable, presentándose una infiltración baja consistente con la conductividad hidráulica, estas condiciones iniciales presentan un suelo con buenas condiciones de almacenamiento de agua para las plantas, sin embargo por su capacidad de campo (CC) y punto de marchites permanente (PMP) tiene una humedad disponible baja en relación con las demás zonas. Se muestra la humedad a la cual se determinó el color que se estipuló para el primer horizonte; en cuanto a la conductividad eléctrica es base para decir que es un suelo con ausencia de salinidad.

Tabla No. 18 Zona P

PARAMETRO	CONDICION
TEXTURA	FRANCO-ARENOSO (0 - 20 cm) ARENOSO-FRANCO (20 - 30 cm)
DENSIDAD	$\rho_a = 1.86 \text{ g/cm}^3$ $\rho_r = 2.65 \text{ g/cm}^3$
POROSIDAD	29.81 %
INFILTRACION	
$t_b = 145 \text{ min}$	
$i_b = 15.84 \text{ cm/h}$	
	
CC	15.43 %
PMP	4.84 %
COLOR	5YR con H= 15,34%
K_f Conductividad Hidráulica	$1,96 \times 10^{-5}$ (Media-Alta)
CE	130 Ms/m

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO

En la Tabla anterior se pueden observar las características físicas de la zona P, donde en los primeros 30cm se encuentran dos horizontes, de 0-20cm se presenta un horizonte A y de los 20cm en adelante un horizonte A₂ con predominancia de arenas, lo que permite decir que es un suelo con una infiltración alta que es confirmado tanto por la infiltración básica como por la conductividad hidráulica e incluso la densidad aparente que es media-alta y una porosidad media-baja, de lo anterior se explica su baja retención de humedad presentando una humedad disponible muy baja respectos a las demás zonas, el color para el primer horizonte es el predominante en la mayoría de las zonas para el cual se presenta la humedad a la cual se determinó el color; en cuanto a la conductividad eléctrica refiere que no hay presencia de sales en este suelo.

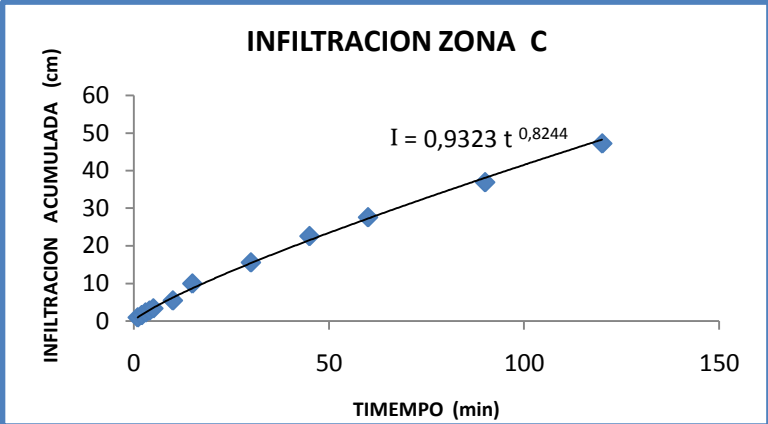
Tabla No. 19 Zona E

PARAMETRO	CONDICION
TEXTURA	ARENOSO-FRANCO (0 - 30 cm)
DENSIDAD	$\rho_a = 1.82 \text{ g/cm}^3$
POROSIDAD	$\rho_r = 2.65 \text{ g/cm}^3$
	31.30 %
INFILTRACION	
$t_b = 138 \text{ min}$	
$i_b = 15.25 \text{ cm/h}$	
CC	26.95 %
PMP	6.93 %
COLOR	10YR con H=21,7%
K_f	$8,72 \times 10^{-6} \text{ (Media)}$
Conductividad Hidráulica	
CE	241.33 Ms/m

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO

En la anterior tabla se presentan las características físicas de la Zona E, se encuentra un único horizonte A durante los primeros 30cm con predominancia de la fracción arenosa, una densidad aparente media-alta, porosidad media-baja, una infiltración alta consistente con su textura, mas no con la conductividad hidráulica que es media, situación que podría explicarse por la densidad que permite decir que el agua tiene más dificultad de pasar por el perfil del suelo posiblemente por la compactación que trae como consecuencia la modificación de la estructura del suelo, sin embargo tiene una buena retención de humedad y a pesar de la predominancia de arenas la compactación y la presencia la fracción arcillosa ayuda a la retención, en cuanto a su color es la única zona que tiene un color distinto y su conductividad eléctrica es una de las más altas pero no presenta problemas de salinidad.

Tabla No. 20 Zona C

PARAMETRO	CONDICION
TEXTURA	ARENOSO-FRANCO (0 - 30 cm)
DENSIDAD	$\rho_a = 1.71 \text{ g/cm}^3$
POROSIDAD	$\rho_r = 2.65 \text{ g/cm}^3$ 35.40 %
INFILTRACION	<div style="text-align: center;">  <p style="text-align: center;">INFILTRACION ZONA C</p> <p style="text-align: center;">$I = 0,9323 t^{0,8244}$</p> </div>
$t_b = 105 \text{ min}$ $i_b = 20.35 \text{ cm/h}$	
CC	14.11 %
PMP	4.42 %
COLOR	5YR con H=13,99%
K_f Conductividad Hidráulica	$1,77 \times 10^{-5}$ (Media-Alta)
CE	373 Ms/m

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO

En la anterior tabla se presentan las condiciones físicas de los suelos de la Zona C donde solo se encuentra un horizonte A durante los primeros 30cm, con una densidad aparente optima y porosidad media, la infiltración es la más alta de las seis zonas consistente con la conductividad hidráulica y con la textura por la cual se puede decir que hay predominio de la fracción arenosa, presenta una humedad disponible baja acorde con la situación antes mencionada, su color es el común de las zonas y aunque su conductividad eléctrica es la más alta no se presentan problemas de salinidad.

Tabla No. 21 Zona Huerta

PARAMETRO	CONDICION
TEXTURA	ARENOSO-FRANCO (0 - 30 cm)
DENSIDAD	$\rho_a = 1.55 \text{ g/cm}^3$ $\rho_r = 2.64 \text{ g/cm}^3$
POROSIDAD	41.35 %
PMP	10,14%
CC	33,78%
COLOR	5YR con H=15,38%
K _f Conductividad Hidráulica	$8,54 \times 10^{-6}$ (Media)

En la Zona Huerta se presenta un único horizonte A con predominancia de arenas presenta una de las más altas porosidades y podría decirse que es la más alta, tiene el color característico de la zona y posee una conductividad hidráulica media consistente con su porcentaje de agua disponible, la densidad aparente es la más baja, esto se debe a que es la zona de menos incidencia de bovinos, atribuyéndole a esto que presente mejores condiciones que las demás zonas por su menor grado de exposición a estos animales que son una gran aporte a la compactación y a la degradación de los suelos en Colombia y en especial en el departamento de Huila, sin embargo dentro de esta finca no se permite la

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE
LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE
OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO**

sobrecarga de animales por área y el periodo de tiempo que duran en la misma es corto, alrededor de 15 días por lote ayudando a la conservación de los suelos.

Tabla No. 22 Zona G

PARAMETRO	CONDICION
TEXTURA	ARENOSO-FRANCO (0 - 30 cm)
DENSIDAD	$\rho_a = 1.69 \text{ g/cm}^3$ $\rho_r = 2.65 \text{ g/cm}^3$
POROSIDAD	36.23 %
PMP	4,84 %
CC	19,16 %
COLOR	5YR con H=12,76%
K_f Conductividad Hidráulica	$4,32 \times 10^{-5}$ (Alta)

La zona G tiene la textura predominante en la finca, una densidad aparente media al igual que su porosidad, una humedad disponible aceptable, una conductividad hidráulica alta debido a que es un terreno que recientemente fue cincelado, razón por la cual en este lote no se determinó infiltración, puede haber alguna variación de los parámetros mostrado en la tabla anterior como la densidad aparente, su porosidad e incluso su conductividad hidráulica por lo expresado anteriormente.

5.3. ANALISIS DE AGUA

Tabla No. 23 Resultados de análisis fisicoquímicos de agua

PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADOS
Temperatura	°C	25
pH	Unidades	7.4
Turbiedad	NTU	14
Conductividad	Us/cm	230
Dureza Total	mg/l CaCO ₃	94
Alcalinidad Total	mg/l CaCO ₃	97
Calcio	mg/l Ca	21.6
Magnesio	mg/l Mg	9.7
Aluminio	mg/l Al	ND
Nitratos	mg/l NO ₃	0.55
Cloruros	mg/l Cl ⁻	1.0
S. Suspendidos	mg/l	4
Sólidos Disueltos	mg/l	228
Sólidos Totales	mg/l	232
Coliformes Fecales	NMP/100ml	230000
Coliformes Totales	NMP/100ml	1900
Sodio	mg/l	10.22
Potasio	mg/l	0.43

Fuente: Laboratorio de Aguas Universidad Surcolombiana 2011.

En el decreto 1594 de 1984 usos del agua y residuos líquidos Artículo 40: se establecen los criterios admisibles para la destinación del recurso para uso agrícola Tabla 2.

Con respecto a estos parámetros la calidad del agua a utilizar se pueden considerar que no presenta problemas con el aluminio ya que este no fue detectado y el pH se encuentra dentro de los rango aceptables, los valores de Coliformes totales y fecales no presentan una dificultad y/o obstrucción para que el agua pueda ser utilizada, siempre y cuando sea para riego.

5.3.1. CLASIFICACION

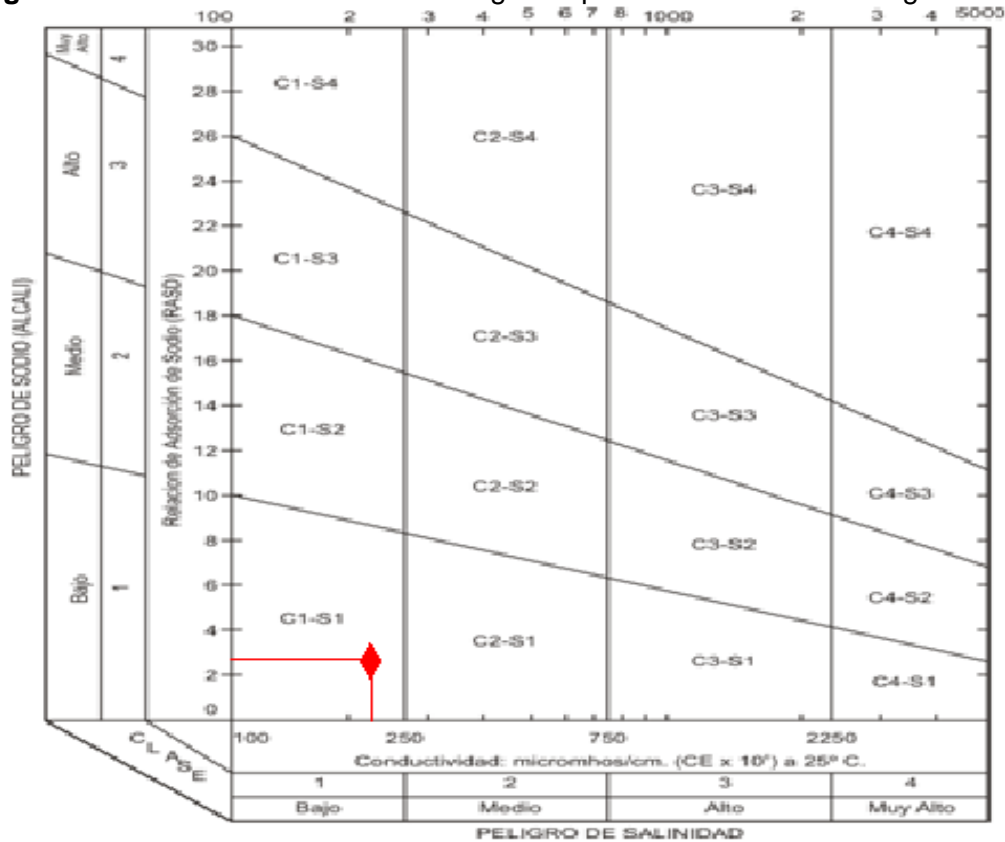
En la figura siguiente se presenta la clasificación en función de la conductividad eléctrica y la relación de absorción de sodio, encontrándose en la categoría C1-S1 que según la norma de Riverside representa baja peligrosidad de afectación por Sodio lo que permite considerar el agua de la quebrada la Esperanza como de buena calidad para el riego.

Determinación de RAS:

$$RAS = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

$$RAS = \frac{10.22}{\sqrt{\frac{21.6+9.7}{2}}} = 2.58$$

Figura No. 4. Norma de Riverside. Diagrama para la clasificación de aguas de Riego.



Fuente: U.S. Soil Salinity Laboratory.

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE
LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE
OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO**

El CSR calculado para el agua de la quebrada la esperanza, utilizando la alcalinidad total ya que esta representa la suma de los miliequivalentes de carbonatos más bicarbonatos más hidróxido, la ecuación representada a continuación calcula la CSR unidades en (meq/L).

$$CSR = (\text{carbonatos} + \text{bicarbonatos}) - (\text{calcio} + \text{magnesio})$$

$$CSR = 1.33 \text{ meq/L}$$

Este valor representa según la tabla anterior la calidad condicionada para la aplicación del agua. Debido a la posible acumulación de estos bicarbonatos no solubles en el suelo.

5.4. ANÁLISIS HIDROCLIMATOLOGICO

Con los datos proporcionados por el IDEAM (anexo 1) sobre la zona de Algeciras se hizo el análisis de variables agroclimatológicas importantes, donde los datos de cada mes son los históricos ponderados para 20 años.

Tabla No. 24 Evapotranspiración para cada mes del año

País	Colombia		Estación	Algeciras		Latitud	2.35 N	
Altitud	1100 M				Longitud	75.18 E		
Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento km/día	Insolación horas	Rad MJ/m ² /día	ETo mm/día	
Enero	12.8	17.0	58	60	11.9	26.5	3.92	
Febrero	11.6	17.0	57	56	11.0	26.2	3.90	
Marzo	12.4	17.0	58	56	11.9	28.1	4.16	
Abril	14.2	18.4	61	47	12.8	29.0	4.38	
Mayo	14.6	17.2	61	48	13.6	28.8	4.24	
Junio	14.0	16.4	59	46	13.9	28.3	4.05	
Julio	11.4	15.8	56	48	13.7	28.3	3.90	
Agosto	12.4	16.4	55	53	13.0	28.5	4.09	
Septiembre	12.8	16.0	54	55	12.1	28.1	4.11	
Octubre	13.0	17.2	56	63	11.2	26.5	4.01	
Noviembre	13.8	17.2	60	59	10.4	24.4	3.73	
Diciembre	13.0	17.0	60	58	10.1	23.4	3.54	
Promedio	13.0	16.9	58	54	12.1	27.2	4.00	

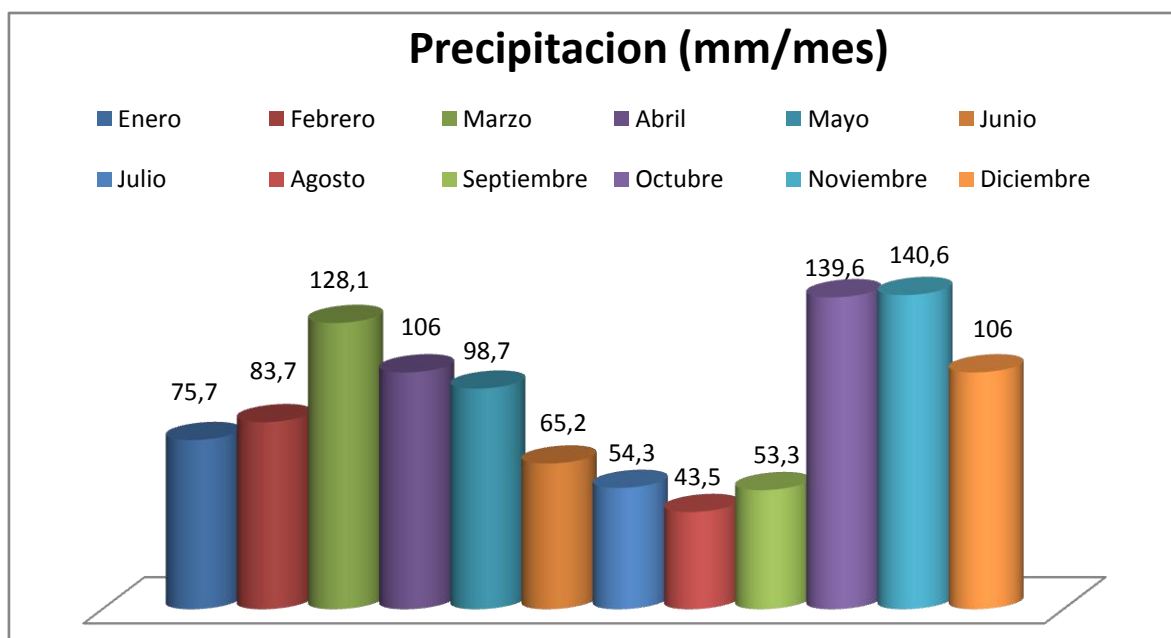
Para calcular la precipitación efectiva se utilizó el método recomendado por la USDA S.

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO

Tabla No. 25 Precipitación Efectiva para cada Mes.

Mes	Precipit. Mm	Prec. efec mm
Enero	75.7	66.5
Febrero	83.7	72.5
Marzo	128.1	101.8
Abril	106.0	88.0
Mayo	98.7	83.1
Junio	65.2	58.4
Julio	54.3	49.6
Agosto	43.5	40.5
Septiembre	53.3	48.8
Octubre	139.6	108.4
Noviembre	140.6	109.0
Diciembre	106.0	88.0
Total	1094.7	914.6

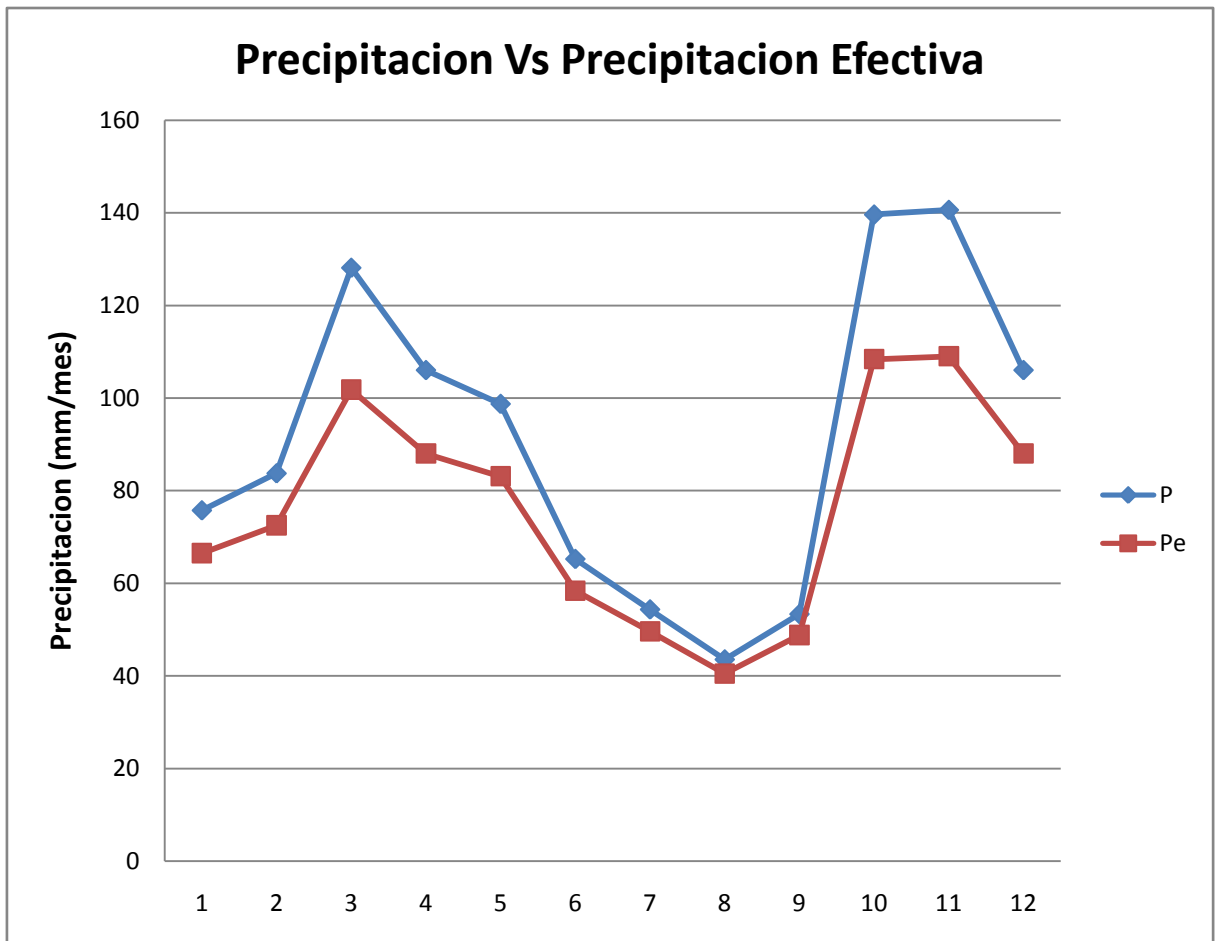
A continuación se presenta gráficamente la precipitación histórica para cada mes, según los datos presentados en la tabla anterior:



Grafica No. 1 Precipitación para cada mes del año.

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE
LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE
OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO**

Sin embargo como la precipitación no toda es aprovechable por lo que según Brouwer y Heibloem, la precipitación aprovechable es menor y es llamada precipitación efectiva, por lo que gráficamente sería:



Grafica No. 2 Precipitación Efectiva

Dado que se tienen valores de precipitación efectiva considerables se hace una comparación de ésta con la Evaporación del cultivo, ($ET_p = ETo \cdot K_c$, para pastos $K_c = 0,95$), se presenta en tablas y gráficamente a continuación.

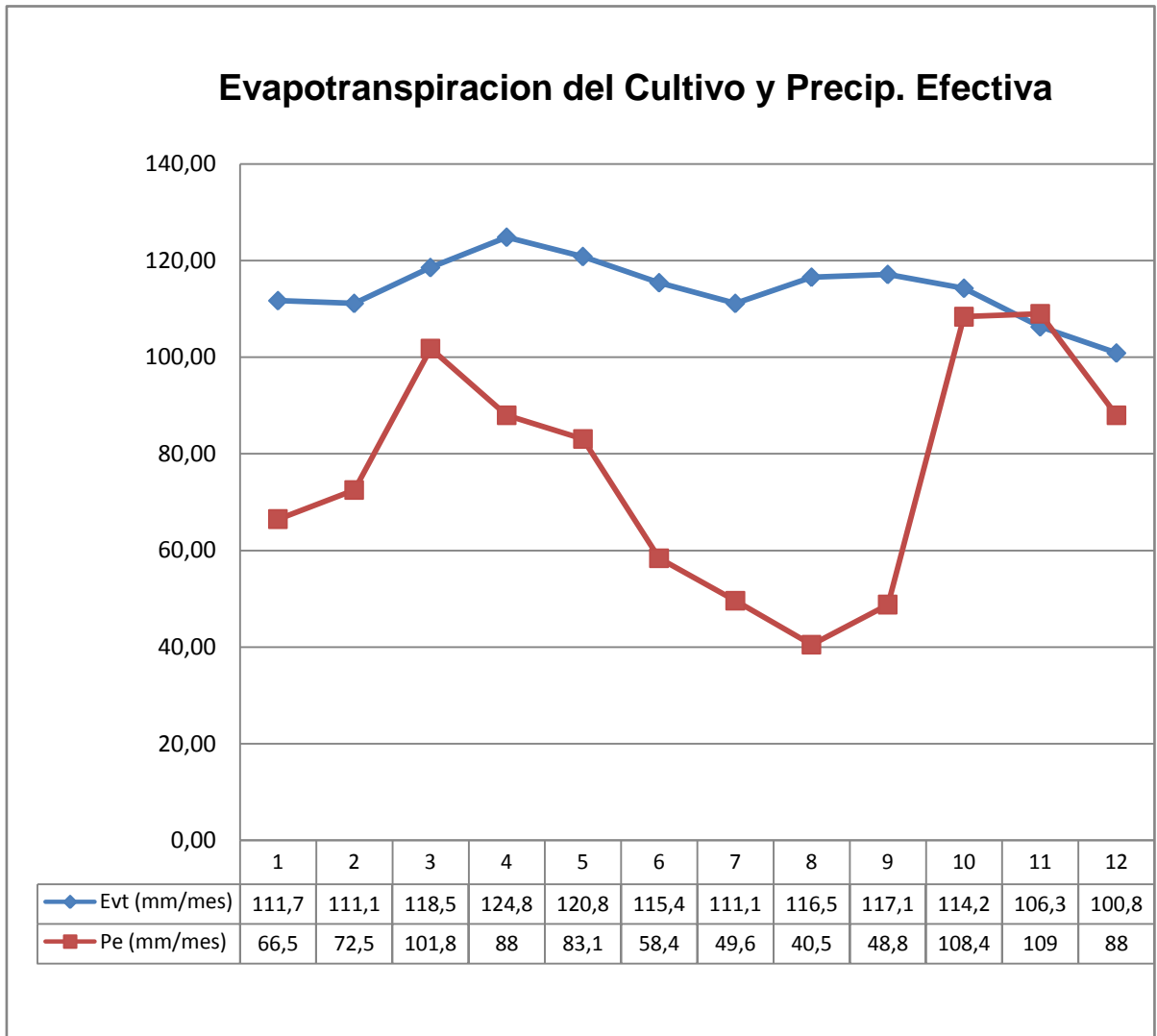
**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE
LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE
OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO**

Tabla No. 26 Evapotranspiración, Precipitación Efectiva y Necesidad de Riego

Mes	ETp (mm/mes)	Pe (mm/mes)	NR (mm/mes)
Enero	111.72	66.5	45.22
Febrero	111.15	72.5	38.65
Marzo	118.56	101.8	16.76
Abril	124.83	88	36.83
Mayo	120.84	83.1	37.74
Junio	115.43	58.4	57.03
Julio	111.15	49.6	61.55
Agosto	116.57	40.5	76.07
Septiembre	117.14	48.8	68.34
Octubre	114.29	108.4	5.88
Noviembre	106.31	109	-2.69
Diciembre	100.89	88	12.89

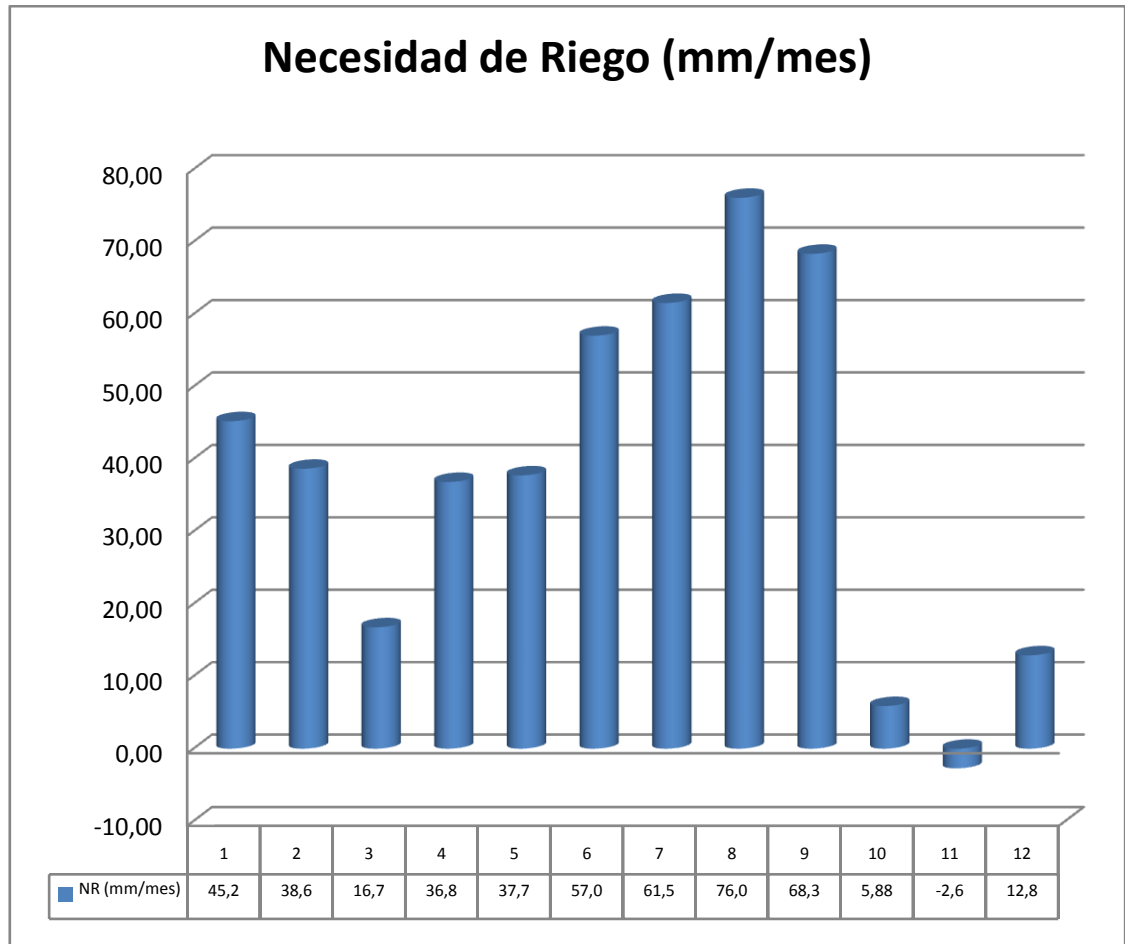
Según la grafica siguiente el riego mensual corresponde al área que existe entre las curvas de precipitación efectiva y evapotranspiración del cultivo, o lo que es igual es la diferencia entre la precipitación efectiva y la evapotranspiración del cultivo que corresponde a la necesidad de riego real mes a mes que requiere la zona y que se presenta en la tabla anterior como NR.

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO



Grafica No. 3 Evapotranspiración del Cultivo Y Precipitación efectiva

La lámina de reposición que se debe hacer mediante el riego mes a mes para no someter a estrés hídrico el cultivo teniendo en cuenta la precipitación histórica para cada mes que se muestra en el Anexo No. 1, es presentada gráficamente a continuación:



Grafica No. 4 Necesidad del Riego mes a mes

Según la grafica anterior el único mes donde habría necesidad de riego sería el mes 11 que corresponde al mes de noviembre, sin embargo hay que analizar que esto en la realidad no resulta real, puesto que durante el mes existen precipitaciones de alta intensidad y poca frecuencia que dejan una gran periodo del mes con ausencia de agua, generando estrés hídrico al cultivo y haciendo necesario el riego.

5.5. REQUERIMIENTOS DE RIEGO

Los requerimientos de riego dentro del sistema están condicionados por las condiciones físicas de los suelos, las condiciones que presenta la zona, en la tabla No.27 se muestra los requerimientos de riego para cada zona.

Tabla No. 27 Requerimientos de riego para cada zona

zona	LN (mm)	LB (mm)	TR (min/día)	FR (días)	TTR (para FR)
Eucaliptos	44.05	55.07	78	11	11d y 2 hrs
Zona P	34.47	43.09	60	8	12d y 4hrs
Zona E	63.76	79.70	60	15	17d y 4 hrs
Zona C	29.00	36.25	60	7	16d y 2 hrs
Zona G	42.35	52.94	60	10	15d y 0 hrs
Huerta	64.12	80.15	60	15	37.5 min

En la Tabla anterior se muestran los requerimientos de riego para cada zona, en el anexo No. 2 se muestra el procedimiento de cálculo para la obtención de cada valor, cada zona tiene su lamina neta (LN), su lamina bruta (LB), el tiempo de riego (TR) necesario para suplir la necesidad hídrica de un día, la frecuencia de riego (FR) y el tiempo total de riego (TTR) necesario para la frecuencia de riego de cada día. Como se puede observar los tiempos de riego son superiores a la frecuencia presentándose un déficit por lo que se hace necesario que el caudal disponible sea mayor o aumentar las jornadas de riego.

Hay que aclarar que la zona P no supe su requerimiento hídrico del sistema, por lo que dentro del plan de riego esta no compite en tiempo de aplicación con las demás, es decir que esta y otra zona puede ser irrigada al mismo tiempo. En cuanto a la huerta se hicieron los estudios pertinentes y cálculos de requerimientos hídricos pero esta zona por el momento no entra dentro del sistema de riego, en conclusión el total de las zonas a suplirse por el sistema de riego son 4.

5.6.1 PLAN DE RIEGO MES CRÍTICO

Se le denomino a este diseño plan de riego para el mes crítico por que para los cálculos se tomo en cuenta la evapotranspiración más alta correspondiente al mes más crítico y no se tomaron en cuenta los aportes hechos por la precipitación, previendo una época critica para el cultivo, donde las precipitaciones no se presenten en un periodo de tiempo más largo que el que el suelo pueda soportar, refiriendo así condiciones a la planta de estrés hídrico y pudiendo incluso pasar el suelo de su punto de marchites permanente. En conclusión con este método se le brinda un rango de seguridad muy amplio a la planta, presentándose en ocasiones debido a esto, sobresaturación y encharcamiento e incluso en periodos críticos estrés hídrico, pero es el método más utilizado por que brinda datos de tiempo y frecuencia de aplicación que son útiles y generalmente brindan al cultivo los requerimientos de riego que este necesita.

Puesto que la zona P, se puede manejar de forma independiente no entrara dentro del plan de riego, igualmente que la Huerta la cual tampoco hace parte del sistema de riego, por lo tanto el plan de riego quedara así:

Tabla No. 28 Plan de Riego

zona	Eucaliptos	Zona E	Zona C	Zona G	Zona P
Na	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6
LN (mm)	44.05	54.65	24.85	36.30	29.55
LB (mm)	55.07	68.32	31.07	45.38	36.93
TR (min)	78	60	60	60	60
FR (días)	9	13	6	9	7
TTR (días)	5	8	4	5	4
TTR (hrs)	15	18	2	0	4
JR (hrs)	24	24	24	24	24

Se cambiaron algunas condiciones de cada zona para que el sistema funcione, la desventaja de este plan es que se debe estar regando todo el tiempo para lo que se requiere un operario de tiempo continuo para las épocas críticas. La tabla anterior indica que es sistema puede funcionar siempre y cuando se riegue solo una zona o dos máximo, de lo contrario las zonas sufrirían de déficit.

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO

5.6. PLAN DE RIEGO CON CURVAS DE RETENCIÓN DE HUMEDAD

Teniendo las ecuaciones de retención de humedad para los suelos de cada zona (Anexo No. 4), se calcula el % de humedad para cada zona a diferentes presiones:

Tabla No. 29 % de humedad a diferentes presiones para cada Zona

PRESION (CBAR)	EUCALIPTOS % HUMEDAD	ZONA P % HUMEDAD	ZONA E % HUMEDAD	ZONA C % HUMEDAD	HUERTA % HUMEDAD	ZONA G % HUMEDAD
10	45.64	73.97	79.96	79.96	39.56	60.16
20	37.77	57.67	56.72	61.19	63.87	47.76
30	33.81	49.86	50.41	52.32	57.90	41.73
40	31.26	44.97	46.36	46.82	54.01	37.92
50	29.41	41.51	43.45	42.96	51.17	35.20
60	27.98	38.88	41.20	40.04	48.96	33.13
70	26.83	36.78	39.39	37.73	47.17	31.47
80	25.87	35.06	37.89	35.83	45.67	30.10
90	25.05	33.61	36.62	34.24	44.39	28.94
100	24.34	32.36	35.51	32.87	43.27	27.95
150	21.79	27.98	31.56	28.11	39.22	24.42
200	20.14	25.23	29.02	25.16	36.59	22.19
250	18.95	23.29	27.20	23.08	34.66	20.60
300	18.03	21.81	25.79	21.51	33.17	19.38
350	17.29	20.64	24.66	20.27	31.95	18.41
400	16.67	19.67	23.72	19.25	30.94	17.61
450	16.14	18.86	22.92	18.40	30.07	16.94
500	15.69	18.16	22.23	17.66	29.31	16.35
550	15.28	17.55	21.62	17.02	28.64	15.84
600	14.92	17.01	21.08	16.46	28.05	15.39
650	14.60	16.53	20.60	15.96	27.51	14.98
700	14.31	16.09	20.16	15.51	27.02	14.62
750	14.04	15.70	19.76	15.10	26.57	14.29
800	13.80	15.34	19.39	14.73	26.16	13.98
850	13.57	15.01	19.05	14.39	25.78	13.70
900	13.36	14.70	18.74	14.08	25.42	13.44
950	13.16	14.42	18.44	13.79	25.09	13.20
1000	12.98	14.16	18.17	13.52	24.78	12.98
1050	12.81	13.91	17.91	13.26	24.49	12.77
1100	12.65	13.68	17.67	13.03	24.22	12.58
1150	12.50	13.47	17.45	12.81	23.96	12.39
1200	12.35	13.26	17.23	12.60	23.71	12.22
1250	12.21	13.07	17.03	12.40	23.48	12.05
1300	12.08	12.89	16.83	12.21	23.26	11.90
1350	11.96	12.71	16.65	12.04	23.05	11.75
1400	11.84	12.55	16.48	11.87	22.85	11.61
1450	11.73	12.39	16.31	11.71	22.65	11.47
1500	11.62	12.24	16.15	11.56	22.47	11.34
1550	11.52	12.10	15.99	11.41	22.29	11.22
1600	11.42	11.96	15.85	11.27	22.12	11.10
1650	11.32	11.83	15.71	11.14	21.96	10.99
1700	11.23	11.70	15.57	11.01	21.80	10.88
1750	11.14	11.58	15.44	10.89	21.64	10.77
1800	11.06	11.47	15.31	10.77	21.50	10.67
HUM. DISP.	22.19	37.62	34.26	40.76	35.44	30.39

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO

En la tabla anterior, la zona huerta se encuentra seleccionada por que es la zona que cuenta con las mejores características de retención de humedad por lo que en esta se instalara el tensiómetro por medio del cual se preverán las condiciones de las demás zonas y de acuerdo a esto hacer la aplicación del riego. La presión se presenta en bares por que los tensiómetros generalmente se encuentran en centibares, 300 y 15000 corresponden a CC y PMP respectivamente.

Tabla No. 30 LAS a diferentes presiones

PRESION (CBAR)	EUCALIPTOS LAS mm	ZONA P LAS mm	ZONA E LAS mm	ZONA C LAS mm	HUERTA LAS mm	ZONA G LAS mm
10	284.03	287.02	290.33	292.40	66.25	206.26
20	218.33	211.25	184.61	212.16	160.45	153.87
30	185.29	174.93	155.89	174.26	137.32	128.38
40	163.96	152.18	137.47	150.76	122.23	112.28
50	148.54	136.08	124.21	134.24	111.22	100.81
60	136.61	123.85	113.99	121.76	102.67	92.04
70	126.98	114.12	105.77	111.87	95.72	85.04
80	118.97	106.11	98.94	103.77	89.91	79.26
90	112.13	99.36	93.13	96.96	84.93	74.37
100	106.20	93.56	88.10	91.13	80.60	70.15
150	84.90	73.18	70.12	70.76	64.93	55.24
200	71.16	60.41	58.59	58.13	54.71	45.82
250	61.22	51.38	50.28	49.26	47.26	39.10
300	53.54	44.52	43.89	42.55	41.46	33.98
350	47.33	39.06	38.74	37.24	36.75	29.88
400	42.16	34.56	34.46	32.89	32.82	26.50
450	37.76	30.78	30.83	29.23	29.45	23.63
500	33.94	27.52	27.68	26.10	26.52	21.17
550	30.57	24.68	24.91	23.37	23.93	19.01
600	27.58	22.17	22.45	20.97	21.61	17.10
650	24.88	19.93	20.24	18.82	19.53	15.39
700	22.44	17.91	18.24	16.90	17.63	13.84
750	20.21	16.08	16.42	15.16	15.90	12.44
800	18.17	14.41	14.75	13.57	14.30	11.16
850	16.28	12.87	13.20	12.11	12.83	9.98
900	14.52	11.46	11.78	10.77	11.46	8.89
950	12.89	10.14	10.44	9.53	10.18	7.87
1000	11.36	8.92	9.20	8.37	8.98	6.93
1050	9.92	7.78	8.04	7.29	7.85	6.04
1100	8.57	6.70	6.94	6.28	6.79	5.21
1150	7.30	5.70	5.91	5.34	5.78	4.43
1200	6.09	4.75	4.93	4.44	4.83	3.70
1250	4.95	3.85	4.00	3.60	3.93	3.00
1300	3.87	3.00	3.12	2.81	3.07	2.34
1350	2.83	2.19	2.29	2.05	2.25	1.71
1400	1.84	1.43	1.49	1.33	1.47	1.11
1450	0.90	0.70	0.73	0.65	0.72	0.54
1500	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1550	-0.86	-0.67	-0.70	-0.62	-0.69	-0.52
1600	-1.69	-1.30	-1.37	-1.22	-1.35	-1.02
1650	-2.49	-1.91	-2.01	-1.78	-1.99	-1.50
1700	-3.26	-2.50	-2.63	-2.33	-2.60	-1.96
1750	-4.00	-3.06	-3.22	-2.85	-3.19	-2.40
Na	0.6	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE
LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE
OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO**

En la tabla anterior se presenta la lámina de agua que tiene el suelo a diferentes presiones, para el cálculo de esta se tomo como base la humedad a diferentes presiones y la misma metodología para el cálculo de la lámina neta, sin embargo no se tuvo en cuenta el nivel de agotamiento (Na), entonces:

$$LAS = \left(\frac{\% \text{ de humedad a } n \text{ Cbar} - \% \text{ de humedad a } 1500 \text{ Cbar}}{100} \right) \times \rho_a \times Pe$$

Donde:

LAS = lamina de agua del suelo (mm)

% de humedad a n Cbar = corresponde a la humedad que tendrá una zona a la presión que se desea calcular lamina de agua del suelo

% de humedad a 1500 Cbar = es la humedad correspondiente a PMP

Pa = densidad aparente (g/cm³)

Pe = profundidad efectiva de raíces del cultivo (mm)

Los valores que se encontraron seleccionados aleatoriamente se encontraron variando su nivel de agotamiento ya que no se calculo la lámina de reposición del suelo, sino la lámina que tendrá el suelo a una presión determinada donde se hace necesario el riego, es decir lo que se calculo fue la lamina que tendrá el suelo cuando se hace necesario el riego, para poder conocer la presión que tendrá el suelo en este punto. Teniendo en cuenta lo anterior:

$$LR = \left(\frac{\% \text{ de humedad a } 300 \text{ Cbar} - \% \text{ de humedad a } 1500 \text{ Cbar}}{100} \right) \times \rho_a \times Pe \times Na$$

Donde:

LR = Lamina de riego

Na = Nivel de agotamiento

La lamina de riego para cada zona calculada y la seleccionada no son exactamente iguales, por que se aproxima a al valor más cercano para no hacer mas interpolaciones, sin embargo sus variaciones son mínimas.

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO

Tabla No. 31 Tiempo de riego para cada zona a diferentes presiones

PRESION (CBAR)	EUCALIPTOS TR (min)	ZONA P TR (min)	ZONA E TR (min)	ZONA C TR (min)	HUERTA TR (min)	ZONA G TR (min)
20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
40	43.15	39.60	34.66	42.56	14.12	29.04
50	74.36	67.62	59.62	72.47	24.41	49.73
60	98.49	88.90	78.85	95.07	32.42	65.52
70	117.97	105.84	94.32	112.97	38.92	78.15
80	134.20	119.78	107.18	127.64	44.36	88.58
90	148.03	131.53	118.11	139.96	49.01	97.40
100	160.03	141.62	127.58	150.52	53.07	105.00
150	203.12	177.11	161.42	187.39	67.73	131.89
200	230.93	199.33	183.12	210.25	77.29	148.88
250	251.04	215.05	198.75	226.32	84.27	160.98
300	266.59	226.99	210.78	238.46	89.69	170.22
350	279.14	236.50	220.47	248.08	94.09	177.61
400	289.60	244.32	228.52	255.96	97.78	183.71
450	298.51	250.91	235.36	262.59	100.93	188.87
500	306.25	256.58	241.29	268.26	103.68	193.32
550	313.05	261.52	246.50	273.20	106.10	197.21
600	319.12	265.89	251.13	277.55	108.26	200.66
650	324.57	269.79	255.28	281.43	110.21	203.74
700	329.51	273.30	259.05	284.91	111.99	206.52
750	334.02	276.49	262.48	288.07	113.61	209.05
800	338.16	279.40	265.62	290.94	115.10	211.37
850	341.99	282.07	268.53	293.58	116.48	213.50
900	345.54	284.54	271.22	296.01	117.77	215.47
950	348.84	286.82	273.72	298.26	118.96	217.29
1000	351.94	288.95	276.06	300.35	120.09	219.00
1050	354.84	290.94	278.26	302.30	121.14	220.59
1100	357.57	292.81	280.32	304.13	122.14	222.09
1150	360.15	294.56	282.26	305.85	123.08	223.49
1200	362.59	296.21	284.10	307.46	123.97	224.82
1250	364.90	297.78	285.84	308.98	124.81	226.08
1300	367.10	299.26	287.50	310.43	125.61	227.27
1350	369.19	300.66	289.07	311.79	126.38	228.40
1400	371.19	301.99	290.57	313.09	127.11	229.48
1450	373.09	303.27	292.01	314.33	127.81	230.51
1500	374.92	304.48	293.38	315.51	128.49	231.49
1550	376.67	305.64	294.69	316.63	129.13	232.42
1600	378.35	306.75	295.95	317.71	129.75	233.32
1650	379.96	307.81	297.16	318.74	130.34	234.19
1700	381.51	308.83	298.32	319.73	130.92	235.01
1750	383.01	309.81	299.44	320.68	131.47	235.81
1800	384.45	310.76	300.52	321.59	132.00	236.58

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO

En la tabla anterior se presentan el tiempo de riego necesario para suplir la lámina de agua necesaria para tener el suelo a capacidad de campo, si se tuviera la posibilidad de poder regar toda el área del sistema al tiempo. Para poder calcular esta lámina se utilizaron datos del requerimiento hídrico calculado para la época mas crítica de la zona, datos que se presentan en el anexo No. 4. Para poder realizar el cálculo se tiene:

$$TR = \frac{\left(\frac{LAS \text{ a } 300bar - LAS \text{ a } n \text{ bar}}{Ea} \right) \times TR_{MC}}{LB_{MC}}$$

Donde:

TR = Tiempo de riego en min

LAS a 300bar = lamina de agua del suelo a CC en mm

LAS a n bar = lamina de agua e la zona a la presión que se le está calculando el tiempo de riego en min.

$$\left(\frac{LAS \text{ a } 300bar - LAS \text{ a } n \text{ bar}}{Ea} \right) = LB_{Cz}$$

Ea = Eficiencia de aplicación del sistema (0.8)

LB_{MC} = Lamina bruta de riego que es calculada en el método convencional o tiempo critico de la zona en mm.

TR_{MC} = tiempo de riego necesario para incorporar al suelo la LB, calculado para cada zona por el método del mes critico.

En cuanto al tiempo de riego se utiliza el tiempo que es necesario suponiendo que el riego se presentara diariamente. Observando la ecuación anteriormente mostrada se puede observar una correlación lineal, puesto que se tiene la lámina bruta de aplicación para cada presión, por el método del mes critico se tiene la lamina bruta y el tiempo de aplicación para cada zona, puesto que el emisor tiene las mismas características y es el mismo cultivo, son relacionados por regla de tres diciendo:

$$\frac{LB_{mc}}{TR_{mc}} = \frac{LB_{cz}}{TR}$$

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO

Tabla No. 32 Tiempo Total de Riego según el número de aspersores

PRESION (CBAR)	EUCALIPTOS	ZONA P	ZONA E	ZONA C	HUERTA	ZONA G	TTR	
	TR (h)	TR (h)	TR (h)	TR (h)	TR (h)	TR (h)		
30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
40	485.42	692.97	476.64	691.64	14.12	435.60	34.82	hr
50	836.55	1183.30	819.82	1177.65	24.41	745.88	59.67	hr
60	1107.98	1555.77	1084.15	1544.82	32.42	982.82	78.66	hr
70	1327.17	1852.22	1296.95	1835.73	38.92	1172.24	93.87	hr
80	1509.72	2096.09	1473.72	2074.10	44.36	1328.64	106.44	hr
90	1665.31	2301.70	1624.05	2274.40	49.01	1460.93	117.08	hr
100	1800.31	2478.40	1754.22	2446.02	53.07	1574.96	126.26	hr
150	2285.09	3099.34	2219.54	3045.03	67.73	1978.28	158.80	hr
200	2597.92	3488.19	2517.94	3416.64	77.29	2233.16	179.43	hr
250	2824.20	3763.33	2732.78	3677.76	84.27	2414.71	194.16	hr
300	2999.12	3972.34	2898.26	3875.03	89.69	2553.35	205.43	hr
350	3140.37	4138.69	3031.48	4031.33	94.09	2664.18	214.46	hr
400	3258.01	4275.53	3142.15	4159.40	97.78	2755.69	221.92	hr
450	3358.28	4390.91	3236.26	4267.01	100.93	2833.10	228.24	hr
500	3445.28	4490.06	3317.75	4359.22	103.68	2899.82	233.70	hr
550	3521.86	4576.58	3389.35	4439.46	106.10	2958.19	238.48	hr
600	3590.05	4653.03	3453.00	4510.18	108.26	3009.89	242.72	hr
650	3651.36	4721.27	3510.15	4573.18	110.21	3056.14	246.51	hr
700	3706.94	4782.73	3561.88	4629.79	111.99	3097.87	249.94	hr
750	3757.69	4838.50	3609.06	4681.06	113.61	3135.81	253.06	hr
800	3804.30	4889.43	3652.34	4727.80	115.10	3170.52	255.92	hr
850	3847.35	4936.21	3692.26	4770.65	116.48	3202.46	258.55	hr
900	3887.29	4979.39	3729.26	4810.15	117.77	3231.98	260.98	hr
950	3924.49	5019.43	3763.69	4846.72	118.96	3259.39	263.24	hr
1000	3959.29	5056.70	3795.86	4880.71	120.09	3284.95	265.35	hr
1050	3991.94	5091.52	3826.02	4912.43	121.14	3308.85	267.32	hr
1100	4022.66	5124.16	3854.38	4942.12	122.14	3331.29	269.17	hr
1150	4051.66	5154.84	3881.13	4969.99	123.08	3352.40	270.92	hr
1200	4079.09	5183.76	3906.41	4996.23	123.97	3372.33	272.57	hr
1250	4105.11	5211.09	3930.37	5021.01	124.81	3391.17	274.13	hr
1300	4129.84	5236.97	3953.12	5044.44	125.61	3409.04	275.61	hr
1350	4153.38	5261.54	3974.77	5066.66	126.38	3426.02	277.01	hr
1400	4175.84	5284.89	3995.40	5087.76	127.11	3442.18	278.35	hr
1450	4197.30	5307.14	4015.11	5107.85	127.81	3457.58	279.63	hr
1500	4217.84	5328.37	4033.96	5127.00	128.49	3472.30	280.85	hr
1550	4237.52	5348.66	4052.01	5145.28	129.13	3486.37	282.02	hr
1600	4256.41	5368.08	4069.33	5162.76	129.75	3499.85	283.14	hr
1650	4274.57	5386.70	4085.97	5179.50	130.34	3512.78	284.21	hr
1700	4292.04	5404.56	4101.96	5195.56	130.92	3525.20	285.25	hr
1750	4308.86	5421.72	4117.36	5210.97	131.47	3537.14	286.24	hr
1800	4325.09	5438.23	4132.20	5225.78	132.00	3548.64	287.20	hr

En la tabla anterior se muestra el tiempo de riego total según el número de emisores que pueden ser operados al mismo tiempo, en el tiempo total de riego que aparece al final de cada fila no se tuvo en cuenta el tiempo de la zona huerta y zona P, puesto que como ya se ha mencionado anteriormente estas no están dentro del sistema de riego por lo que una no posee riego y la otra opera de forma individual, el cálculo de este tiempo se hizo de la siguiente forma:

$$TTR = TR \left(\frac{\text{No. posiciones por zona}}{\text{No. aspersores al tiempo}} \right)$$

Donde:

TTR = Tiempo Total de Riego

No. Posiciones por zona = cambian para cada zona según el área y el diseño

No. aspersores al tiempo = para el presente caso 4 para todas la zonas

5.6.1. Localización del Tensiómetro

Para que el plan de riego utilizando las curvas de retención de humedad de las diferentes zonas funcione se requiere la utilización de un tensiómetro, el cual debe estar ubicado en la zona que tenga la frecuencia de riego más baja, se ubicara en la parte media del radio de riego de un aspersor, donde se prevé que se presentaran condiciones de generalidad del riego en cuanto a las demás zonas.

5.6.2. Recomendaciones

- Se recomienda calibrar periódicamente el tensiómetro con la ayuda de otro tensiómetro para tener confiabilidad en las lecturas
- Lo más recomendable es realizar el riego de las zonas en una sola jornada de riego, es decir que el riego sea realizado para todo el sistema en 1 día para que no sea necesario hacer correcciones.
- Necesariamente el lote o zona donde se encuentre el tensiómetro debe ser el último en ser regado.
- La implementación del sistema debe ser para zonas con condiciones similares de suelos y para el mismo cultivo.
- Realizar su comprobación en campo, ya que este no se ha realizado.

5.6.3. Ventajas

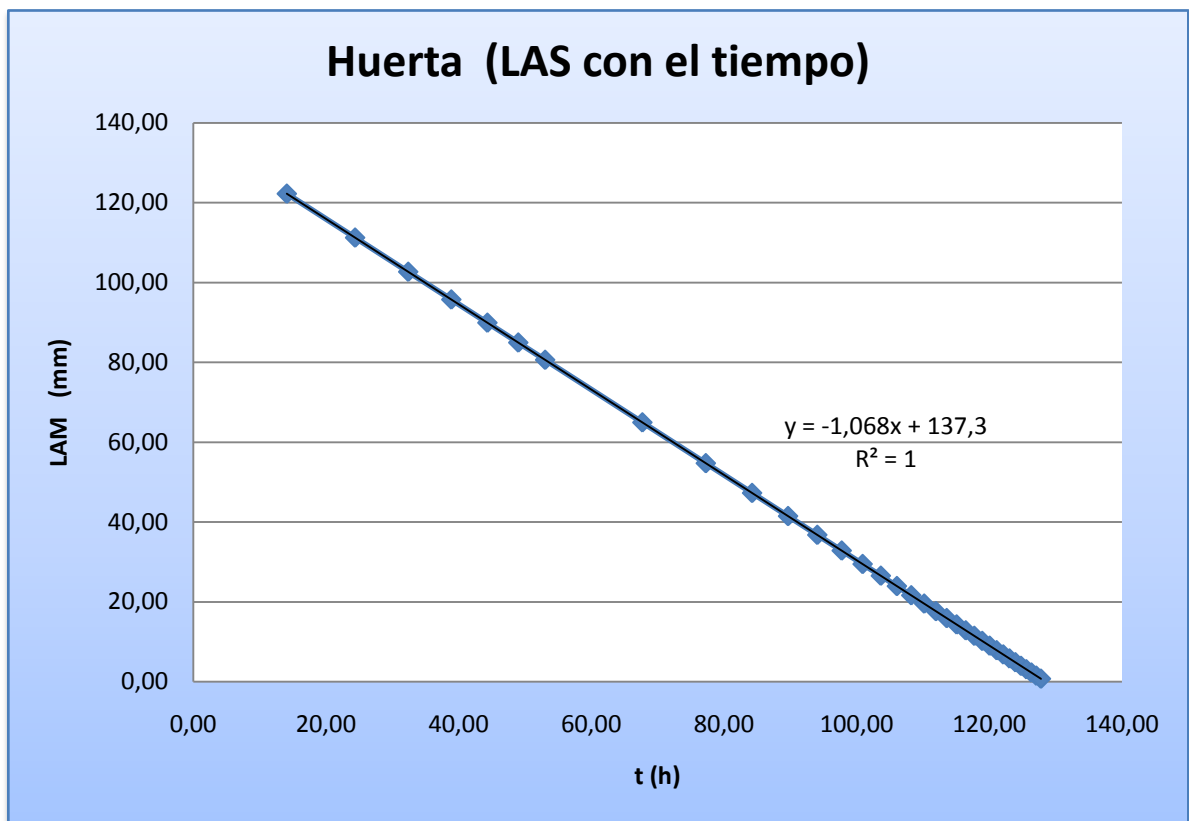
- Su aplicabilidad es muy importante dentro del sistema de agricultura de precisión, puesto que tiene un rango más amplio de cobertura de la variabilidad espacial del suelo, convirtiéndose en una herramienta de gran valor.
- Es útil en zonas donde hay ausencia de datos hidroclimáticos, poco confiables o la adquisición de ellos resulta dispendiosa o costosa y los beneficios no son representativos.

5.6.4. Desventajas

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO

- La utilización de un solo tensiómetro puede convertirse en una desventaja, puesto que si este falla, el plan de riego colapsa.
- Si el tiempo de riego para el sistema sobrepasa el día o el riego no se hace seguidamente para todas las zonas, se tendría que calibrar el sistema, convirtiéndose ya no en una herramienta útil al agricultor.

En caso de que el riego no sea realizado en un día, se debe hacer una corrección por la lámina que se pierde a través del tiempo, en la grafica que se muestra a continuación se puede observar que la relación de ganancia de lamina a través del tiempo en que se riega es lineal, presentándose una ecuación de esta situación muy confiable, puesto que el r^2 es 1, entonces:



Grafica No. 5 Incremento de LAS en el tiempo para la Huerta con la aplicación del riego.

Como se puede observar en la grafica anterior que el tiempo de riego es lineal con respecto a la LAS, es decir entre menor sea la lamina de agua que tenga el suelo,

mayor será el tiempo de aplicación necesario para que el suelo alcance la capacidad de campo, entonces para hacer una corrección cuando el tiempo de aplicación es muy largo, para el siguiente riego se debe:

$$\Delta P = PC_{\text{bar al final del riego}} - PC_{\text{bar al momento del riego}}$$

Donde:

ΔP = diferencia de presión en Cbar entre el momento del riego y el final del riego, de dar positivo este valor habrán existido salidas de agua del suelo, de dar negativa habrá existido una ganancia de agua del suelo por precipitación.

El ΔP puede relacionarse con una LAS, con la tabla Tiempo Total de Riego según el número de aspersores él ΔP se puede relacionar con un tiempo de riego, de no encontrarse el valor se puede hacer una interpolación o extrapolación potencial para encontrar el valor, y al tiempo de riego según el tensiómetro se deberá adicionar o restar según sea el caso.

La grafica anteriormente mostrada tiene además otra utilidad, con ayuda de esta se puede determinar el tiempo de riego para cada zona para que esta alcance condición de capacidad de campo, así para el caso de la zona huerta, si el suelo tiene una lamina de 40mm se deberá regar aproximadamente 6min para que el suelo quede a capacidad de campo. También se puede presentar la relación entre lámina y presión, para saber la lámina que tendrá el suelo a diferentes presiones, puesto que lo que se lee en campo es la presión con la ayuda del tensiómetro.

En caso de que el tensiómetro falle o se tenga duda en cuanto a su lectura, calcular humedad es un procedimiento bastante sencillo, con el que solo se requiere de una estufa o horno, una balanza de una precisión confiable y una muestra de suelo homogénea, se puede relacionar las presiones con los porcentajes de humedad, que luego se podrán relacionar con los tiempos de aplicación, todas estas relaciones se encuentran en el Anexo No. 4, la aplicabilidad de conocer estas tablas y graficas se puede observar que resulta bastante útil y practico.

5.7. DISEÑO DE SISTEMA DE RIEGO

Como primera medida se llevo a cabo el reconocimiento del terreno a beneficiar y las condiciones de climatología de la zona, seguido se realizo el levantamiento topográfico de planimetría y altimetría en la finca la Esperanza, los datos de climatología, planos de red de distribución y conducción principal se relacionan en los anexos.

El sistema se diseñara para captar y distribuir 3.2 litros por segundo, que serán conducidos por tubería de polietileno de baja densidad, contara con la estructura de canal de derivación paralelo al cauce, de bocatoma, desarenado y red de distribución, para el diseño de las estructuras se tomo la metodología de López y corcho.

Debido a que el sistema de riego a diseñar es de categoría semimovil, la red se simulo con ayuda del software Epanet 2.0 hasta los hidrantes donde se entregara el caudal con la presión necesaria para vencer las pérdidas generadas en la parte semimovil y poner en marcha el aspersor, en adelante se conduce el agua a través de una manguera de PVC flexible de una pulgada que conectara al aspersor.

La red está comprendida desde el desarenador tomando el sector 1 que beneficia los lotes (C) hasta el tercer sector de riego que se encuentra ya establecido en los lotes (P) de la finca permitiendo así la conexión a esta tubería.

La determinación de la tubería y sus especificaciones técnicas se basaron en la presión estática generada por la energía potencial presente, que para el sector dos que es el más crítico alcanza 85.6 mca, otro de las consideraciones a tener en cuenta para la elección de tubería de PE es la onda de energía producida por el sierre repentino de los hidrantes (golpe de ariete) que será amortiguado y soportada mejor debido a la elasticidad, propiedad que permite además de estos una manejo más fácil para su instalación y ahorro de accesorios por cambio de dirección en comparación con la tubería de PVC

5.7.1. Diseño Canal de Derivación

Para el diseño del canal se utilizara la ecuación de Manning

$$Q = \frac{A \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}}{n}$$

$$Q = \text{caudal} \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

$A = \text{área de la seccion de flujo} (m^2)$

$R = \text{radio hidraulico} (m)$

$S = \text{pendiente de lecho del canal} \left(\frac{m}{m} \right)$

$n = \text{coeficiente de rugosidad de Manning}$

Como primera medida se determino el talud de la sección transversal del canal trapezoidal que se construirá en tierra arenosa suelta obteniéndose una relación 2:1 donde **m= 2 cuadro 7-1 hidráulica de canales abierto Ven Te Chow** que implicara un ángulo de inclinación con respecto a la horizontal de 26°, el coeficiente de rugosidad se determino con base en el **cuadro 5-6 hidráulica de canales abierto Ven Te Chow**, se escogió canal escavado con pala sin vegetación teniendo para este un **n** de 0.033.

Para la determinación de las dimensiones del canal se despeja la ecuación de Manning así.

$$A \times R^{\frac{2}{3}} = \frac{Q \times n}{\sqrt{S}}$$

Teniendo que el caudal es = 5 l/s, $n = 0.33$ y la pendiente se considera 3%, se calcula entonces la sección izquierda de la ecuación para establecer las dimensiones que permitan igualarla, al calcular el área y radio hidráulico suponiendo la base y la profundidad del agua en el canal.

$$A \times R^{\frac{2}{3}} = 0.00095$$

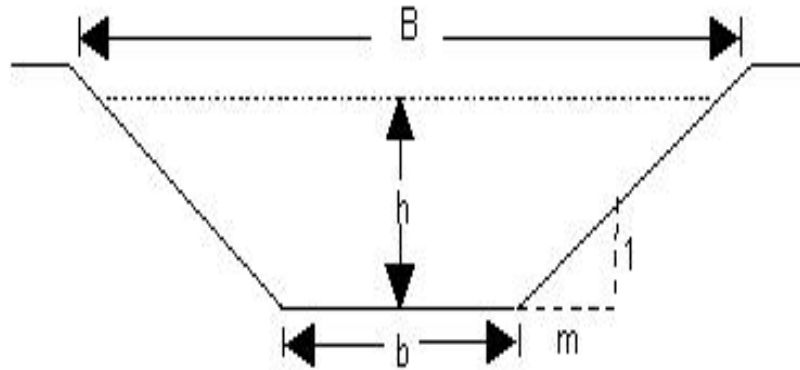


Fig. No. 5 Esquema del Canal

Como $A = (b + m \times h) \times h$

radio hidraulico:

$$R = \frac{A}{P}$$

Donde $P =$ perímetro húmedo $= b + (2 \times h) \times \sqrt{1 + m^2}$

Las dimensiones que permiten igualar la ecuación y que garantizan el transporte del caudal de 5 l/s son:

Base $b=0.16m$

Profundidad del agua $h= 0.05m$

Ancho superior:

$$B = (b + 2 \times m \times h) = 0.36m$$

Se dejara un borde libre de 30% de la altura (h) teniendo así una altura total del canal $H= 0.065m$ que se aproxima a 0.07m.

5.7.2. DISEÑO DE BOCATOMA DE FONDO

Debido a que el ancho del cauce de la quebrada la esperanza es mucho mayor al ancho de presa y rejilla que se requiere en función del caudal a captar, el alto costo que esta implicaría y la inestabilidad del terreno al presentar texturas arenoso francas, se propone la construcción de bocatoma de fondo paralela al cauce de secciones más acordes con el caudal de diseño el cual se derivará por canal en tierra.

El caudal asignado por la CAM para la finca la esperanza es de 3.2 litros/segundo, el caudal de diseño será de 3.5 litros/segundo en el que se incluye el 10% del mismo, como primera medida se diseñara la presa y garganta de la bocatoma, como un vertedero rectangular.

$$Q = 1.84 \times LH^{1.5}$$

Q= caudal de diseño (m³/s)

L= ancho de presa (m)

H= altura lamina de agua (m)

El ancho de la presa se determino inicialmente como de 40 cm, para lo cual la altura (H)

$$H = \left(\frac{0.0035}{1.84 \times 0.4} \right)^{\frac{2}{3}} = 0.028 \text{ m}$$

Se procede a calcular la velocidad del flujo sobre la presa (V) que debe cumplir con la condición de estar en el rango $0.3 \text{ m/s} < V < 3.0 \text{ m/s}$.

$$V = \frac{Q}{L \times H}$$

$$V_r = \frac{0.0035}{0.4 \times 0.028} = 0.31 \text{ m/s}$$

Diseño de la Rejilla

La longitud de la rejilla será igual al ancho de presa.

El ancho del canal de aducción (B) m se calcula a partir de la ecuación #

$$B = X_s + 0.1$$

$$X_s = 0.36 \times V_r^{\frac{2}{3}} + 0.60 \times H^{\frac{4}{7}}$$

X_s = La mayor distancia alcanzada por el flujo dentro del canal en (m).

$$X_s = 0.36 \times (0.31)^{\frac{2}{3}} + 0.60 \times (0.028)^{\frac{4}{7}} = 0.24 \text{ m}$$

X_i = La menor distancia alcanzada por el flujo dentro del canal en (m).

$$X_i = 0.18 \times V_r^{\frac{4}{7}} + 0.74 \times H^{\frac{3}{4}}$$

$$X_i = 0.18 \times (0.31)^{\frac{4}{7}} + 0.74 \times (0.028)^{\frac{3}{4}} = 0.14 \text{ m}$$

$$B = 0.24 + 0.1 = 0.34 \approx 0.35 \text{ m}$$

Longitud de la Rejilla y Número de Orificios.

Se utilizaran barra de $\frac{1}{4}$ de diámetro (0.00635 m) y separación de 1.0 cm

$$A_n = \frac{a}{a + b} \times B \times L_r$$

A_n = Area neta

V_b = velocidad de flujo entre barras

a = espacio entre barras

b = diametro de barras

L_r = longitud de la rejilla = 0.4 m

$$A_n = \frac{0.01}{0.01 + 0.00635} \times 0.35 \times 0.4 = 0.086 \text{ m}^2$$

Comprobación de la longitud.

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO

$$L_r = \frac{0.086 \times (0.01 + 0.00635)}{0.01 \times 0.35} = 0.402 \text{ m}$$

$V_b =$ velocidad entre la barras

$$V_b = \frac{Q}{0.9 \times A_n}$$

$$V_b = \frac{0.0035}{0.9 \times 0.086} = 0.045 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{Numero de orificios} = \frac{0.086 \text{ m}^2}{0.01 \times 0.4} 24.6 \approx 25 \text{ barras}$$

Nivel de agua en el canal de aducción.

Profundidad Aguas abajo (h_e).

$$h_e = h_c = \left[\frac{Q^2}{g \times B^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$h_e = h_c = \left[\frac{0.0035^2}{9.81 \times (0.35)^2} \right]^{\frac{1}{3}} = 0.022 \text{ m}$$

Profundidad Aguas arriba (h_0).

$$h_0 = \left[2 \times h_e^2 + \left[h_e - \frac{L_c \times i}{3} \right]^2 \right]^{\frac{1}{2}} - \frac{2}{3} \times i \times L_c$$

$i =$ pendiente del canal 3%

$L_c =$ longitud de canal (m) = $L_r + 0.3 = 0.402 + 0.3 = 0.702$

$$h_0 = \left[2 \times (0.022)^2 + \left[0.022 - \frac{0.702 \times 0.03}{3} \right]^2 \right]^{\frac{1}{2}} - \frac{2}{3} \times 0.03 \times 0.702 = 0.020 \text{ m}$$

Calculo de la altura total de los muros del canal.

Altura aguas arriba (H_0).

$$H_0 = h_0 + BL$$

$BL = \text{borde libre de } 0.10\text{m}$

$$H_0 = 0.020 + 0.10 = 0.12 \text{ m}$$

Altura aguas abajo (H_e).

$$H_e = H_0 + i \times L_c$$

$$H_e = 0.12 + 0.03 \times 0.702 = 0.14 \text{ m}$$

Calculo de la velocidad al final (V_e) del canal.

$$V_e = \frac{Q}{B \times h_e}$$

$$V_e = \frac{0.0035}{0.35 \times 0.022} = 0.45 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Se cumple la condición de $0.3 \text{ m/s} < V_e < 3 \text{ m/s}$

Diseño de la cámara de recolección

El ancho de la cámara (B') m se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$B' = X'_s + 0.2$$

$$X_s = 0.36 \times V_e^{\frac{2}{3}} + 0.60 \times h_e^{\frac{4}{7}}$$

X_s = La mayor distancia alcanzada por el flujo dentro de la cámara en (m).

$$X_s = 0.36 \times (0.45)^{\frac{2}{3}} + 0.60 \times (0.022)^{\frac{4}{7}} = 0.28 \approx 0.3 \text{ m}$$

X_i = La menor distancia alcanzada por el flujo dentro de la cámara (m).

$$X_i = 0.18 \times V_e^{\frac{4}{7}} + 0.74 \times h_e^{\frac{3}{4}}$$

$$X_i = 0.18 \times (0.45)^{\frac{4}{7}} + 0.74 \times (0.022)^{\frac{3}{4}} = 0.17 \text{ m}$$

$$B' = 0.28 + 0.2 = 0.48 \approx 0.50 \text{ m}$$

Calculo de la Altura de los Muros de Contención.

El caudal derivado del cauce a través del canal paralelo es de 5 L/s tomando este como caudal máximo (Q_{max}), para el diseño, se prevé un borde libre de 10 cm, la altura se determina entonces.

$$H' = \left(\frac{Q_{max}}{1.84 \times L} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$H' = \left(\frac{0.005}{1.84 \times 0.4} \right)^{\frac{2}{3}} = 0.036 \text{ m}$$

Altura total (H'_t)

$$H'_t = H' + 0.1$$

$$H'_t = 0.036 + 0.1 = 0.136 \approx 0.14 \text{ m}$$

Calculo del caudal de excesos, se utiliza para ello la (H') este se puede calcular con el caudal medio o máximo según criterio del diseñador

$$Q_{captado} = C_d \times A_n \times \sqrt{2 \times g \times H'}$$

Donde

C_d = coeficiente de descarga = 0.3

A_n = Area neta de la rejilla

g = gravedad

H' = Altura de lamina de agua

$$Q_{captado} = 0.3 \times 0.086 \times \sqrt{2 \times 9.81 \times 0.036} = 0.02 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$Q_{excesos} = Q_{captado} - Q_{diseño}$$

$$Q_{excesos} = 0.02 - 0.0032 = 0.018 \frac{m^3}{s}$$

Calculo de la altura en lámina de agua sobre el vertedero de excesos (H_{exc})

$$H_{exc} = \left(\frac{Q_{excesos}}{1.84 \times B'} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$H_{exc} = \left(\frac{0.018}{1.84 \times 0.5} \right)^{\frac{2}{3}} = 0.073 \approx 0.07 \text{ m}$$

Calculo de la velocidad de exceso (V_{exc})

$$V_{exc} = \frac{Q_{excesos}}{H_{exc} \times B'}$$

$$V_{exc} = \frac{0.016}{0.07 \times 0.5} = 0.46 \frac{m}{s}$$

$$X_s = 0.36 \times (V_{exc})^{\frac{2}{3}} + 0.60 \times (H_{exc})^{\frac{4}{7}}$$

$$X_s = 0.36 \times (0.46)^{\frac{2}{3}} + 0.60 \times (0.07)^{\frac{4}{7}} = 0.34 \approx 0.35 \text{ m}$$

5.7.2.1. Calculo de la tubería de aducción

Para la determinación de las cotas de la cámara de supone 25 cm de lamina de agua y borde libre de 10 cm, obteniendo con estos datos las siguientes cotas de la bocatoma.

Cota del cauce es la 1171.68

Cota de tubería de aducción 1171.18

Cota descarga desarenador 1168.32

Determinación de pendiente.

$$S = \frac{(1171.18 - 1168.32)}{35.99} \times 100 = 7.95\% \approx 8.0\%$$

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE
LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE
OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO**

Calculo de Diámetro.

$$D = 1.548 \times \left(\frac{n \times Q}{S^{0.5}} \right)^{\frac{3}{8}}$$

Dónde.

D = diametro tuberia de aduccion en (m)

n = coeficiente de rugosidad de Manning = 0.009 plastico

Q = caudal de diseño = $0.0033 \text{ m}^3/\text{s}$

S = pendiente de la tuberia

$$D = 1.548 \times \left(\frac{0.009 \times 0.0035}{0.08^{0.5}} \right)^{\frac{3}{8}} = 0.051 \text{ m diametro comercial } 2\frac{1}{2}$$

Condición de flujo a tubo lleno con diámetro comercial $2\frac{1}{2}$, cálculo del caudal.

$$Q_0 = 0.312 \frac{D^{\frac{8}{3}} \times S^{0.5}}{n}$$

$$Q_0 = 0.312 \frac{0.0635^{\frac{8}{3}} \times 0.08^{0.5}}{0.009} = 0.0063 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Determinación de velocidad (V_0):

$$V_0 = \frac{Q_0}{A_0}$$

Siendo A_0 = area de la tuberia m^2

$$V_0 = \frac{0.0063}{0.0032} = 1.97 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Calculo de relaciones hidráulicas para ingresar a la tabla 9.0 del anexo 5

Relación de caudal de diseño con caudal a tubo lleno.

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{0.0035}{0.0063} = 0.55$$

Relación de número de Manning a tubo lleno con número de Manning a caudal de diseño.

$$\frac{n_0}{n} = 0.05$$

De la tabla 9.0 anexo 5 se obtiene

$$\frac{V}{V_0} = 0.875 \quad \frac{d}{D} = 0.594$$

La velocidad mínima para aducciones debe ser de 0.6 m/s con el objetivo de evitar acumulación de sedimentos, se comprueba luego la velocidad en la aducción a partir de la relación $\frac{V}{V_0}$.

$$V = 0.875 \times V_0$$

$$V = 0.875 \times 1.97 \frac{m}{s} = 1.72 \frac{m}{s} > 0.6 \text{ m/s}$$

Calculo de la lámina de agua (d') en la cámara de recolección a partir de la relación $\frac{d}{D}$ donde (d) es lámina de agua en la tubería.

$$d = 0.594 \times D$$

$$d = 0.594 \times 0.0635 = 0.038$$

$$d' = d + \left(1.5 \times \frac{V^2}{2 \times g} \right)$$

$$d' = 0.038 + \left(1.5 \times \frac{1.72^2}{2 \times 9.81} \right) = 0.26 \text{ m}$$

La altura de lámina obtenida se aproxima de forma aceptable a la supuesta inicialmente (25 cm) permitiendo tomar esta como dimensión de diseño.

5.7.2.2. Diseño Estructural.

Como ya se mencionó la cuenca de la quebrada la Esperanza genera arrastre de materiales aptos para la construcción de la bocatoma y el ahorro en cuanto a transporte que esto implica, se tomo la decisión de construirla en concreto ciclópeo reforzado con hieros en malla y concreto de 3000 psi, se hará el diseño de mezcla que cumpla con esta especificación de resistencia, reforzadas con acero que fue

calculado utilizando la cuantía mínima para la zona de riesgo sísmico, que está determinada en 0.0033 y 0.0018 para retracción, Norma Sismo Resistente Colombiana 98 arrojando hierros de N° 3, se realizaron los cálculos de estabilidad para las dimensiones establecidas arrojando las condiciones necesarias para su cumplimiento ver plano 2/3 y 3/3.

5.7.3. DISEÑO DESARENADOR

Consideraciones iniciales:

Se diseñara solo un modulo de desarenador por ser estructura rural de caudal pequeño.

Se diseñara el paso directo del flujo para evitar con esto el posible corte en periodos críticos de demanda.

La estructura será de sección rectangular con relación (L/B) =3/1

Se tomara una profundidad mínima de 0,7 m

Borde libre de 0.1 m

Se tomara la relación de longitud a profundidad de almacenamiento de lodos de 10/1.

La pendiente de la zona de lodos es de 5% permitiendo que la labor de mantenimiento sea más fácil.

Para las condiciones de la tubería de entrada, se tomara los datos del cálculo de la bocatoma en el diseño de la tubería de aducción.

$$Q = 0.0035 \frac{m^3}{s} \quad Q_0 = 0.0063 \frac{m^3}{s}$$

$$V = 1.72 \frac{m}{s} \quad V_0 = 1.97 \frac{m}{s}$$

$$D = 0.0635 \text{ m} \quad d' = 0.26 \text{ m}$$

Calculo de los variables de sedimentación.

Velocidad de sedimentación (V_s) $\frac{cm}{s}$

$$V_s = \frac{g}{18} \times \frac{(\rho_s - \rho)}{\mu} \times d^2$$

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE
LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE
OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO**

Siendo

$$g = \text{aceleracion gravedad } 981 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

$$\rho_s = \text{peso especifico de la particula arena} = 2.65$$

$$\rho = \text{peso especifico del fluido agua} = 1.00$$

$$\mu = \text{viscosidad cinematica del fluido en funcion de la temperatura } (18^\circ\text{C}) \left(\frac{\text{cm}^2}{\text{s}}\right)$$

.Tomado de la tabla 9.2 anexo 5

d = diametro de la particula a remover arena muy fina 0.05 mm . (Tomado de la tabla 9.1 anexo 5)

$$V_s = \frac{981}{18} \times \frac{(2.65 - 1.00)}{0.01059} \times 0.005^2 = 0.21 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

Se determina de la tabla 9.3 anexo 5, con un porcentaje de 87.5 % y con clasificación de desarenador n=1 (sin deflectores), el numero de Hazen

$$\left(\frac{V_s}{V_0}\right) = \frac{\theta}{t} = 7.00$$

Donde.

V_s = velocidad de sedimentacion efectiva

V_0 = velocidad de sedimentacion teorica

Como la profundidad útil de sedimentación (H) supuesta inicialmente es de 0.70 m

$$t = \frac{H}{V_s} = \frac{70}{0.42} = 333.33 \text{ s}$$

El periodo de retención hidráulico es de:

$$\theta = 7.00 \times 333.33 \text{ s} = 2333.31 \text{ s} = 39 \text{ min}$$

Volumen del tanque.

$$V = \theta \times Q = 2333.31 \times 0.0032 = 7.5 \text{ m}^3$$

Área superficial del tanque.

$$A_s = \frac{V}{H} = \frac{7.5}{0.7} = 10.7 \text{ m}^2$$

Determinación de las dimensiones.

B = ancho

L= largo

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE
LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE
OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO**

$$B = \sqrt{\frac{A_s}{4}} = \sqrt{\frac{10.7}{4}} = 1.64 \approx 1.65 \text{ m}$$

$$L = 3 \times B = 3 \times 1.64 \text{ m} = 4.92 \approx 4.9 \text{ m}$$

Comprobación de la carga hidráulica (q) que debe estar en el rango de 15 a 80 $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$

$$q = \frac{Q}{A_s} = \frac{0.0032}{10} = 0.00032 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \times \text{s}} = 27.65 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \times \text{d}} \text{ ok}$$

Calculo del vertedero de salida.

$H_v =$ altura de la lamina de agua sobre el vertedero

$$H_v = \left(\frac{Q}{1.84 \times B} \right)^{\frac{2}{3}} = \left(\frac{0.0032}{1.84 \times 1.2} \right)^{\frac{2}{3}} = 0.010 \text{ m}$$

Determinación de la velocidad en el vertedero (V_v).

$$V_v = \frac{Q}{B \times H_v} = \frac{0.0032}{1.2 \times 0.010} = 0.27 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Calculo de la vena vertiente (X_s).

$$X_s = 0.36 \times (V_v)^{\frac{2}{3}} + 0.60 \times (H_v)^{\frac{4}{7}}$$
$$X_s = 0.36 \times (0.27)^{\frac{2}{3}} + 0.60 \times (0.010)^{\frac{4}{7}} = 0.19 \text{ m}$$

$$L_v = 0.2 \text{ m}$$

Diseño pantalla de salida.

$$\text{Profundidad} = \frac{H}{2} = \frac{0.7}{2} = 0.35 \text{ m}$$

$$\text{Distancia al vertedero de salida} = 15 \times H_v = 15 \times 0.010 = 0.15 \text{ m}$$

Diseño pantalla de entrada.

$$\text{Profundidad} = \frac{H}{2} = \frac{0.7}{2} = 0.35 \text{ m}$$

$$\text{Distancia a la cámara de aquietamiento} = \frac{L}{4} = \frac{4.90}{4} = 1.23 \text{ m}$$

Almacenamiento de lodos.

Relación de longitud profundidad. 10/1

$$\text{Profundidad maxima} = \frac{L}{10} = \frac{4.90}{10} = 0.49 \approx 0.50 \text{ m}$$

$$\text{Profundidad minima adoptada} = 0.40 \text{ m}$$

$$\text{Distancia del punto de salida a la cámara de aquietamiento} = \frac{L}{3} = \frac{4.90}{3} = 1.63 \text{ m}$$

$$\text{Distancia del punto de salida al vertedero de salida} = \frac{2L}{3} = \frac{2 \times 4.90}{3} = 3.26 \text{ m}$$

$$\text{Pendiente Transversal} = \frac{0.5-0.4}{1.65} \times 100 = 6.06 \%$$

$$\text{Pendiente longitudinal en } \left(\frac{L}{3}\right) = \frac{0.1}{1.63} \times 100 = 6.13\%$$

$$\text{Pendiente longitudinal en } \left(\frac{2L}{3}\right) = \frac{0.1}{3.26} \times 100 = 3.06\%$$

Cámara de Aquietamiento.

$$\text{Profundidad de aquietamiento} = \frac{H}{3} = \frac{0.7}{3} = 0.23 \approx 0.25 \text{ m}$$

$$\text{Ancho} = \frac{B}{3} = \frac{1.65}{3} = 0.55 \text{ m}$$

Largo (adoptado) = 0.6 m

Calculo de vertedero de excesos.

$$Q_{\text{excesos}} = Q_0 - Q = 0.0063 - 0.0032 = 0.0031 \text{ m}^3$$

Calculo del vertedero de excesos.

H_{exc} = altura de la lamina de agua sobre el vertedero de excesos

$$H_{exc} = \left(\frac{Q}{1.84 \times L} \right)^{\frac{2}{3}} = \left(\frac{0,0031}{1.84 \times 0.6} \right)^{\frac{2}{3}} = 0.020 \text{ m}$$

Determinación de la velocidad en el vertedero (V_v).

$$V_{exc} = \frac{Q}{L \times H_{exc}} = \frac{0.0031}{0.6 \times 0.020} = 0.26 \frac{m}{s}$$

Calculo de la vena vertiente (X_s).

$$X_s = 0.36 \times (V_{exc})^{\frac{2}{3}} + 0.60 \times (H_{exc})^{\frac{4}{7}}$$
$$X_s = 0.36 \times (0.26)^{\frac{2}{3}} + 0.60 \times (0.020)^{\frac{4}{7}} = 0.21 \approx 0.2 \text{ m}$$

$$L_r = 0.25 \text{ m}$$

Calculo de pérdidas de carga hidráulica a la entrada de la cámara de quietamiento.

Considerando la reducción de la velocidad se adopta un coeficiente menor de perdida ($K=0.2$)

$$h_m = K \frac{V^2}{2g}$$

Velocidad de descarga de la aducción $V = 1.72 \frac{m}{s}$

V_2 = velocidad en la camara de aqueitamiento.

$$V_2 = \left(\frac{Q}{b \times h} \right) = \frac{0.0032}{0.5 \times 0.25} = 0.026 \frac{m}{s}$$

$$h_m = 0.2 \times \frac{V^2 - V_2^2}{2 \times 9.81}$$

$$h_m = 0.2 \times \frac{1.72^2 - 0.026^2}{2 \times 9.81} = 0.030 \text{ m}$$

Perdidas en la zona de sedimentación.

$$V_2 = V_1 = 0.026 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$V_h = \left(\frac{Q}{b \times h} \right) = \frac{0.0032}{1.65 \times 0.45} = 0.0043 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$h_m = 0.1 \times \frac{V_2^2 - V_h^2}{2 \times 9.81}$$

$$h_m = 0.1 \times \frac{0.026^2 - 0.0043^2}{2 \times 9.81} = 0.0000033 \text{ m} \approx 0.0 \text{ m}$$

Calculo de perdidas por pantallas.

Por analogía con orificio sumergido de grandes dimensiones, se calculan las perdidas con la siguiente ecuación.

$$Q = C_d \times A_0 \sqrt{2 \times g \times H}$$

C_d = coeficiente de descarga = 0.6

A_0 = Área del orificio

H = perdida de carga hidraulica

g = aceleración de la gravedad

$$H = \left(\frac{1}{2 \times 9.81} \right) \times \left(\frac{Q}{C_d \times A_0} \right)^2 = 0.051 \times \left(\frac{0.0032}{0.6 \times (1.65 \times 0.35)} \right)^2 = 0.00047 \text{ m}$$

Calculo de tuberías de excesos y lavado.

El diámetro de la tubería de excesos se calculo siguiendo los mismos procedimientos del cálculo de la tubería de lavado, dando como resultado $D = 2^{1/2}$

Datos primarios:

Cota de entrega del desagüe de lavado = 1167.52 m

Cota de la columna de agua sobre tubería excesos. 1168.32 m

Longitud de la tubería = 4 m

Carga hidráulica disponible $1168.32 - 1167.62 = 0.7$ m

Tubería de lavado.

Datos primarios

Cota de entrega del desagüe de lavado = 1167.52 m

Cota de la columna de agua del desarenador 1168.32 m

Longitud de la tubería = 5 m

Carga hidráulica disponible $1168.32 - 1167.52 = 0.8$ m

Diámetro = 3" PVC"

Longitud equivalente:

Tubería: 5m

Válvula de globo = 3.5m

Salida = 5 m

Entrada normal= 2 m

L.E= 15.5m

J= 0.8/15.5 m/m

Determinación de caudal por la ecuación de Hazen – Williams

$$Q_{inicial} = 0.2785 \times C \times D^{2.63} \times (J)^{0.54}$$

$$Q_{inicial} = 0.2785 \times 150 \times 0.0762^{2.63} \times (0.052)^{0.54} = 0.0097 \frac{m^3}{s}$$

$$V = \frac{0.0097 \times 4}{\pi \times 0.0762} = 0.16 \frac{m}{s}$$

Tiempo de descarga por la ecuación de orificio sumergido.

$$C_d = \frac{Q}{A_0 \times \sqrt{2 \times g \times H}} = \frac{0.0097}{0.0045 \times \sqrt{2 \times 9.81 \times 0.8}} = 0.54$$

$$t_{vaciado} = \frac{2 \times A_s}{C_d \times A_0 \times \sqrt{2 \times 9.81}} \times H^{0.5}$$

$$t_{vaciado} = \frac{2 \times 1.6 \times 3.2}{0.54 \times 0.0045 \times \sqrt{2 \times 9.81}} \times 0.8^{0.5} = 850.92 \text{ s} = 14.2 \text{ min}$$

5.7.3.1. Diseño Estructural.

Como ya se mencionó la cuenca de la quebrada la esperanza genera arrastre de materiales aptos para la construcción de la bocatoma lo que implica el ahorro en cuanto a transporte, se tomo la decisión de construirla en concreto ciclópeo reforzado con seis columnas dispuesta en la mitad de las muros laterales y en las aristas del mismo conformadas por 4 barras N° 3 y tres flejes de hierros N°2 cada

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO

20 cm, las vigas y columnas se construirán en concreto de 3000 psi, reforzadas con acero que fue calculado utilizando la cuantía mínima para la zona de riesgo sísmico, que está determinada en 0.0033 y con la cuantía mínima para retracción que se estableció en 0.0018 por la Norma Sismo Resistente Colombiana 98, se realizaron los cálculos de estabilidad para las dimensiones establecidas arrojando las condiciones necesarias para su cumplimiento ver plano 2/3 y 3/3.

5.7.3.2. Diseño de Mezcla para Bocatoma y Desarenador

Diseño para resistencia de 3000 psi, con las características que a continuación se mencionan y que se debe rediseñar si estas varían.

Asentamiento de 3"

Tamaño de agregado grueso $\frac{3}{4}$ " densidad de 2,44 gr/cc, peso promedio de 1600Kg /m³

% de aire atrapado = 2

Arena con modulo de finura = 3, densidad promedio de 2.51gr/cc

Tabla No. 33 Cantidad de material por metro cubico de concreto y costo

Material	Peso Seco (Kg)	Densidad (gr/cc)	Volumen (Pg/Da) Lit	Costo (pesos)
Cemento	400	3,10	129	152000
Agregado Fino	683	2,51	272	6000
Agregado Grueso	960	2,44	393	18500
Agua	186	1,0	186	0
Aire (2%)	-----	-----	20	
TOTAL	2230		1000	176500

5.7.4. DISEÑO CONDUCCION PRINCIPAL

Se diseño en tubería de polietileno PE 100 RDE 26 de Acuaflex PAVCO inicia en la cota 1168.32 msnm (desarenador), hasta la cota 1127.76 msnm donde se conecta al tercer sector que ya se encuentra establecido. En diámetros de 75mm soportando presiones de trabajo de 40 mca sobre la tubería principal se colocaran 6 hidrantes, la tubería se enterrara a una profundidad de 40cm debido a que la carga esperada no requiere que sea mayor ya que las mayoría de esta se ubicara en zona de cargas bajas, se enterrara para protegerla del desgaste provocado por

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE
LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE
OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO**

el clima y para ser protegida de daños causados por incendios, animales o personas, para la determinación del ancho de la zanja se tomo el diámetro de la tubería mas 30cm.

Con las dimensiones de profundidad, ancho y tipo de terreno que en su mayoría es de textura arenoso franca se calcula la carga vertical del suelo.

Relación H/B = 40cm/30cm =1.333

Teniendo para este valor un C=1.0331

$$\gamma = 2.65$$

$$P = 1.0331 \times 2.9 \times 0.375m^2 = 0.42 \text{ kg/m}$$

Se establecerán dos válvulas ventosas doble propósito para permitir la extracción o ingreso de aire que podría causar rupturas o colapsos por succión de las tuberías al ser esta descargada, se recomienda que la ubicación no se haga en tramos horizontales ya que se requiere una pendiente mínima la cual depende de la dirección del aire, para aire desplazándose en la misma dirección de agua la pendiente mínima es de 0.04% y de 0.1% cuando el aire se desplaza en la dirección contraria a la del agua (López, 2003).

Para la ubicación de las válvulas de aire o ventosas se tiene en cuenta la pendiente y el sentido del flujo como se menciono anteriormente, factores determinantes para su correcto funcionamiento, una estará ubicada en la cota 1164.87 msnm con pendiente positiva de 1.3% en el tramo anterior, con movimiento de la burbuja en sentido del flujo y a una distancia del desarenador de 81.37m, la segunda válvula se instalara en la cota 1148.81msnm con pendiente positiva en el tramo siguiente de 4.53% con movimiento de la burbuja en sentido del flujo y a una distancia de la primera válvula de 228.12 m.

Para la seguridad de las ventosas estas serán fijadas con mortero 1:3 y tubería de PVC de 4 pulgadas que se dispondrá como molde y cajilla de protección rellena de mortero.

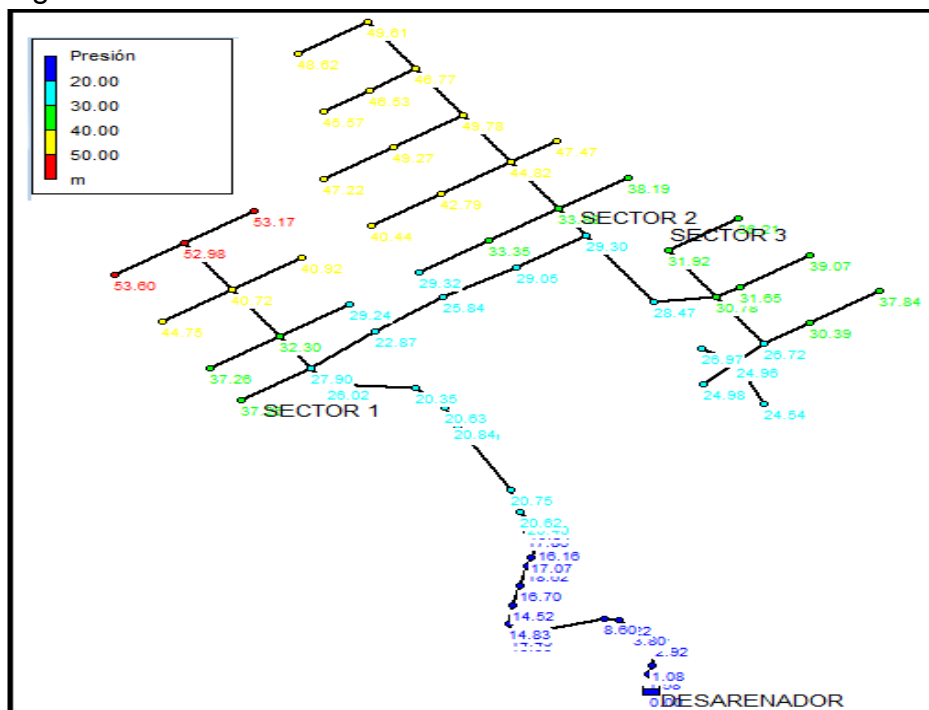
La determinación y ubicación de la válvula de purga se escogió la cota 1146.64 msnm a 282.52 m del desarenador por ser este un punto bajo en la conducción, para la determinación del diámetro se opta por dar el mismo diámetro de tubería

apoyado en lo expuesto por (López, 2003) para tubería de diámetro de 3" pulgadas, la válvula de purga es igual al diámetro de la tubería en la red.

5.7.5. DISEÑO DE RED HIDRÁULICA

Una vez realizado el levantamiento topográfico se escogió el aspersor IT 70 - 10-30G, hecho en material de plástico de impacto con rotación de círculo completo Rosca macho 1" NPT, con 2 salidas. Ideal para el riego de cultivos industrializados como cultivos de caña de maíz, pasto, algodón y similares.

Figura 6 Red de distribución



Fabricado en plásticos de ingeniería que proporcionan resistencia a la corrosión, radiación solar y productos químicos. Ideal para grandes extensiones con boquillas de 6.35mm y 3.1 mm, presión de trabajo de 30 psi, descarga de 12.9 galones por minuto (0.8L/s) y diámetro húmedo de 33.2 metros.

Como ya se menciona anteriormente la conducción y la red se simularon con el software Epanet 2.0 figura 6, utilizando la configuración necesaria para que realizara los cálculos hidráulicos con la ecuación de pérdidas de energía propuesta por Darcy – weisbach, en la que se requiere el caudal en unidades de litros por segundo⁻¹ y rugosidad de 0.0025 correspondiente al material de

polietileno, estos datos se deben tener en cuenta para no generar errores de cálculo por el programa.

5.7.5.1. Calculo De Las Pérdidas De Energía En La Sección Semimovil

Para así poder determinar la presión necesaria a la salida de los hidrantes y permitir el correcto funcionamiento del aspersor.

Determinación de la velocidad.

$$V = \frac{Q}{A}$$

Donde A= área de la manguera de pvc = 0.000314 m²

Q= caudal demanda aspersor = 0.0008 m³/s

V= velocidad del fluido m/s

$$V = \frac{0.0008}{0.000314} = 2.55 \text{ m/s}$$

Determinación del número de Reynolds (Re)

$$Re = \frac{V \times D}{\nu}$$

Siendo V= velocidad del fluido m/s = 2.55 m/s

D= diámetro tubería en m = 0.02m

ν = viscosidad cinemática para una temperatura de 15 °C = 0.1⁻⁶ m²/s

$$Re = 510000 \text{ Flujo turbulento}$$

Cálculo factor de fricción

$$f = \left[-2 \log_{10} \times \left[\frac{K_s}{3.7 \times D} \times \frac{2.51}{Re \times \sqrt{f}} \right] \right]^{-2}$$

Siendo f= factor de fricción

K_s= rugosidad absoluta en (m) =0.0025

D = diámetro tubería

Tabla No. 34 Factor de fricción calculado

Calculo de factor de fricción por iteración	
factor de fricción (i)	factor de fricción (i+1)
0.0010	0.0090
0.0090	0.0075
0.0075	0.0076
0.0076	0.0076

Calculo de la perdida de energía generada en el tramo de 25 metros de manguera de PVC flexible que comprende la parte semimovil.

$$h_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2 \times g}$$

Donde h_f = perdida de energía en (m)

L = longitud tubería (m)

g = aceleración de la gravedad (m/s²)

$$h_f = 0.0076 \times \frac{25}{0.02} \times \frac{2.55^2}{2 \times 9.81} = 3.15 \text{ m}$$

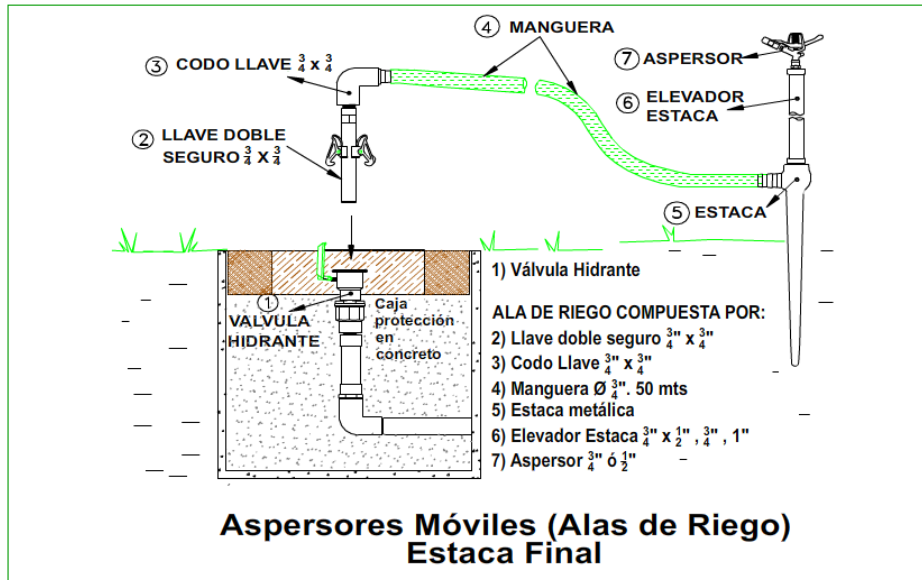
A esta pérdida se le debe sumar las perdidas por elevación del aspersor y accesorios que se calcularan a continuación.

$$h_m = k \times \frac{V^2}{2 \times g}$$

Donde h_m = perdida de energía por accesorios (m)

k = coeficiente de perdidas menores

Fig. No. 7 Esquema semimovil



El ala regadora semimovil se compone de llave bayoneta de $\frac{3}{4}$ " , valvula reguladora de presión de $\frac{3}{4}$ " , unión macho doble, codo llave- acople a manguera, tee registro de presión (manómetro), estaca final, adaptador macho y hembra figura 6, representando un total de perdidas por estos accesorios de = 3 mca figura 7.

La presión que debe ser entregada en el hidrante es la suma de las anteriores perdidas mas la requerida por el aspersor y la altura de elevación, siendo esta igual a.

$$Presion\ requerida = h_f + h_m + +elevacion\ aspersor + presion\ aspersor = 29\ mca.$$

La red está diseñada para soportar la puesta en marcha de cuatro aspersores ubicados de la forma que el agricultor lo desee dentro de los sectores 1 y 2, se presenta solo una restricción en los hidrantes ubicados sobre la tubería principal en la que solo se pueden poner en marche dos aspersores por no generarse la suficiente presión en estos puntos.

Fig. No. 8 Aspensor



El aspensor de la figura 8 cumple con la condición de pluviometría media que debe ser menor a la velocidad de infiltración básica más baja de los lotes a beneficiar para evitar que se produzca pérdidas tanto de agua como de suelo por efecto de la escorrentía que debe ser evitada debido a la pendiente de los lotes de la finca comprendidas entre el 15% al 20%.

Calculo de pluviometría media para aspensor con descarga de 0.8 L/s.

$$pp = 3600 \times \frac{Q}{\pi \times R^2} = 3600 \times \frac{0.8}{\pi \times 16.6^2} = 3.33 \frac{mm}{h}$$

$pp = \text{pluviometria individual del aspensor} \frac{mm}{h}$

$Q = \text{caudal de descarga del aspensor L/s}$

$R = \text{Radio de alcance del aspensor m}$

El tramo móvil de la red de distribución está compuesta de la bayoneta seguido del montaje de la válvula reguladora de presión $\frac{3}{4}$ ", codo y tee-registros de presión en los cuales se colocarán el manómetro para calibrar la conducción en adelante y así evitar la ruptura de la manguera de 25 metros que tiene una presión de trabajo permisible de 60 psi y que conduce el fluido hasta el aspensor que se encuentra a una altura de 1.5 metros, la elevación se hace a través de tubo de PVC de RDE 21 y diámetro de $1\frac{1}{2}$ ".

La distribución de los hidrantes se realizó en cuadro espaciados a 69 metros, las ubicaciones para las posiciones semimovil se establecen en el plano que se determinaron en espacios que corresponde al 60% del diámetro húmedo del aspensor la parte semimovil se compone de 33 metros de manguera mas 16.6

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE
LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE
OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO**

metros de radio húmedo del aspersor, obteniendo un diámetro de riego de la parte semimovil de 98 metros.

Para la determinación de los espaciamientos se utilizó la metodología de la velocidad del viento como se presenta en la tabla N° 35, la zona en la que se encuentra la finca La Esperanza se generan velocidades de viento de 0.74 m/s datos que se obtuvieron de la información entregada por el IDEAM y que se encuentran en Anexos, para esta velocidad el espaciamiento entre laterales y emisores es del 60% del diámetro húmedo (espaciamiento de 23m), permitiendo un ajuste aceptable al área del terreno sin llegar a invadir predios vecinos y permitir de igual forma asegurar un riego uniforme, ya que (Tarjuelo. 2005) indica según recomendaciones de Strong, separaciones del 60% del diámetro húmedo efectivo del aspersor para marcos cuadrados o en triangulo para velocidad menor de 2.0 m/s. este espaciamiento debe reducirse en el siguiente orden de porcentaje de acuerdo a la velocidad de viento como se establece en la tabla presentada a continuación.

Tabla No. 35 Porcentaje de reducción de espaciamiento en función de la velocidad del viento

% de reducción	Velocidad viento (m/s)
10-12	4-6
18-20	8-9
25-30	10-11

Fuente: Tarjuelo

La red está compuesta por dos sectores de riego, el sector número uno es el que se encuentra en la parte izquierda del plano, la tubería secundaria se encuentra conectado a la línea principal en la cota 1133.64 y va hasta la cota 1108.56 sobre esta se colocarán 4 hidrantes de 1" por ¾" espaciados cada 69 metros, este sector beneficiara los lotes desde el C1 al C9 (ver plano 1), se compone de 7 laterales distanciados a 69m, con dos hidrantes de 1" por ¾", para un total de 10 hidrantes.

El sector número dos se conecta a la principal por una tubería secundaria en la cota número 1129.24 msnm terminando en la cota 1082.74 msnm, los diámetros nominal que la componen son: en la parte inicial 75mm seguido de 50mm y 40mm, sobre estas se colocaran 5 hidrantes de 1" por ¾" espaciados a cada 69 m, a la

misma distancia se dispondrán los hidrantes en los 7 laterales que comprende el sector, esto laterales se encuentra dispuestos a igual distancia que entre hidrantes debido a la distribución en cuadro, este sector beneficiara los lotes G, y E con un total de 16 hidrantes.

Los hidrantes se protegerán con el anclaje a través de una tubería de tres pulgadas que será enterrada junto con mortero 1:3 para su debido aseguramiento, esta tubería permitirá realizar la abertura del hidrante y en el momento que no se esté operando será tapado con un losa cuadrada en concreto de 5 centímetros de espesor y de 15 centímetros de lado reforzada con cuatro barras numero 3.

5.7.5.2. Muestra de Cálculo de Apoyo para La Conducción Principal.

Se calculo el apoyo para el ángulo mas critico presente en la conducción ubicado en la cota 1152.62 con un cambio de dirección en 107°. Aplicamos la ecuación de esfuerzo estático.

$$E = 2 \times 1000 \times 14.43 \times 0.0038 \times \text{sen} \left(\frac{107}{2} \right) = 87.25 \text{ kg}$$

Esfuerzo por presión dinámica.

$$C = \frac{2 \times 1000 \times 0.0038}{9.81} \times 0.85^2 \times \text{sen} \left(\frac{107}{2} \right) = 0.45 \text{ kg}$$

El esfuerzo generado por la presión dinámica es mucho menor al generado por la presión estática razón por la cual esta se desprecia para realizar los cálculos de los apoyos.

El área que soportara el empuje para un terreno de arena gruesa medianamente compactada que presenta un esfuerzo admisible igual a 2 kg/cm² tabla # es:

$$A = \frac{87.25 \text{ kg}}{2 \text{ kg/cm}^2} = 43.63 \text{ cm}^2$$

Debido a que esta área es para resistencia vertical, el área real para la resistencia horizontal debe ser multiplicada por 4 siendo 174.52 cm².

La determinación de las dimensiones se hace teniendo en cuenta las dimensiones del accesorio o tubería a apoyar a través de ensayo - error hasta cumplir con el peso y área necesaria que iguale o sea mayor a la capacidad portante del suelo y fuerza de rozamiento.

5.7.5.3. Muestra de Cálculo de Sobre Presión por Golpe de Ariete

Determinación de la celeridad de la onda, la Relación entre el modulo de elasticidad del agua y del material de la tubería plástica $K=18$ para tubería de 50mm de diámetro nominal y espesor de pared de 11.6mm, que soporta una presión de 80 mca.

$$C = \frac{9900}{\sqrt{48.3 + 18 \times \frac{50mm}{11.6mm}}} = 882.4$$

Sobre presión:

$$h_a = \frac{882.4 \times 0.69}{9.81} = 62.1 \text{ m de agua } \quad ok$$

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE
LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE
OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO**

6. PRESUPUESTO

DESCRIPCION GENERAL	UND	CANT.	V/U (\$)	Valor Total (\$)
UNIDAD SEMIMOVIL DE RIEGO.				
ASPERSOR IT 70 10-30 G	Und	4	\$ 10,400.00	\$ 41,600.00
CODO 90° 1" PVC	Und	4	\$ 400.00	\$ 1,600.00
ACOPLE CODO A MANGUERA DE 1"	Und	8	\$ 600.00	\$ 4,800.00
MANGUERA DE PVC FLEXIBLE 1"	ml	132	\$ 2,800.00	\$ 369,600.00
ESTACA FINAL 1" X 1"	Und	4	\$ 4,000.00	\$ 16,000.00
BAYONETA 3/4" X 1"	Und	4	\$ 10,000.00	\$ 40,000.00
TUBO DE PVC 1 1/2" RDE 21	Und	1	\$ 44,500.00	\$ 44,500.00
ACOPLE MACHO 1"	Und	8	\$ 600.00	\$ 4,800.00
VALVULA REGULADORA DE PRESION 1"	Und	4	\$ 245,000.00	\$ 980,000.00
TEE TOMA PRESION	Und	4	\$ 2,000.00	\$ 8,000.00
MANOMETRO 60 PSI	Und	1	\$ 35,000.00	\$ 35,000.00
SUMA PARCIAL				\$ 1,545,900.00
CONDUCCION MUERTA				
MANGUERA DE POLIETILENO DE 75 mm Rollos de 50 m, RDE 26	Und	21	\$ 348,400.00	\$ 7,316,400.00
VALVULA DE CORTINA DE 3"	Und	1	\$ 280,000.00	\$ 280,000.00
REDUCCION 75mm A 25 mm	Und	1	\$ 3,000.00	\$ 3,000.00
UNION 75 mm	Und	20	\$ 4,000.00	\$ 80,000.00
TEE 75 mm	Und	3	\$ 5,600.00	\$ 16,800.00
VAVULA VENTOSA 1"	Und	2	\$ 49,800.00	\$ 99,600.00
SILLETA DE 3"x 1"	Und	8	\$ 10,400.00	\$ 83,200.00
SUMA PARCIAL				\$ 7,879,000.00
RED DE DISTRIBUCION SECTOR 1				
MANGUERA DE POLIETILENO DE 75 mm Rollos de 50 m, RDE 26	Und	2	\$ 348,400.00	\$ 696,800.00
MANGUERA DE POLIETILENO DE 50 mm Rollos de 50 m, RDE 26	Und	1.5	\$ 158,850.00	\$ 238,275.00
MANGUERA DE POLIETILENO DE 40 mm Rollos de 50 m, RDE 26	Und	8.5	\$ 150,000.00	\$ 1,275,000.00
HIDRANTE 1" x 3/4"	Und	10	\$ 23,000.00	\$ 230,000.00
REDUCCION 50 mm A 40 mm	Und	3	\$ 3,500.00	\$ 10,500.00
REDUCCION 75mm A 40 mm	Und	1	\$ 7,500.00	\$ 7,500.00
REDUCCION 75mm A 50 mm	Und	1	\$ 7,500.00	\$ 7,500.00
UNION 40mm	Und	6		
UNION 50mm	Und	2		

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO

UNION 75mm	Und	1		
TEE 40 mm	Und	1	\$ 2,500.00	\$ 2,500.00
TEE 50 mm	Und	2	\$ 2,500.00	\$ 5,000.00
TEE 75 mm	Und	3	\$ 3,500.00	\$ 10,500.00
SILLETAS 3" x 1 3/4"	Und	3	\$ 10,400.00	\$ 31,200.00
SILLETAS 1 3/4" x 1"	Und	5	\$ 5,000.00	\$ 25,000.00
SILLETAS 2" x 1"	Und	2	\$ 6,500.00	\$ 13,000.00
SILLETAS 3" x 1"	Und	3	\$ 10,400.00	\$ 31,200.00
TAPON 2 1/2"	Und	1	\$ 500.00	\$ 500.00
ACOPLE MACHO 2 1/2"	Und	1	\$ 3,600.00	\$ 3,600.00
TAPON 1 3/4 "	Und	6	\$ 500.00	\$ 3,000.00
ACOPLE MACHO 1 3/4"	Und	6	\$ 3,600.00	\$ 21,600.00
SUMA PARCIAL				\$ 2,612,675.00
RED DE DISTRIBUCION SECTOR 2				
MANGUERA DE POLIETILENO DE 75 mm Rollos de 50 m, RDE 26	Und	2.5	\$ 251,050.00	\$ 627,625.00
MANGUERA DE POLIETILENO DE 50 mm Rollos de 50 m, RDE 26	Und	7	\$ 158,850.00	\$ 1,111,950.00
MANGUERA DE POLIETILENO DE 40 mm Rollos de 50 m, RDE 26	Und	11.5	\$ 150,000.00	\$ 1,725,000.00
HIDRANTE 1" x 3/4"	Und	16	\$ 23,000.00	\$ 368,000.00
REDUCCION 50mm A 40 mm	Und	1	\$ 3,500.00	\$ 3,500.00
TEE 40 mm	Und	2		
TEE 50 mm	Und	3		
TEE 75 mm	Und	1	\$ 5,200.00	\$ 5,200.00
REDUCCION 50mm A 40 mm	Und	3		
REDUCCION 75mm A 50 mm	Und	2		\$ 0.00
SILLETAS 3" x 1 3/4"	Und	1		\$ 0.00
SILLETAS 1 3/4" x 1"	Und	9	\$ 5,000.00	\$ 45,000.00
SILLETAS 2" x 1"	Und	6	\$ 6,500.00	\$ 39,000.00
SILLETAS 75x 1"	Und	1	\$ 8,300.00	\$ 8,300.00
UNION 50 mm	Und	1		
UNION 50 mm	Und	5		
UNION 40 mm	Und	7	\$ 3,500.00	\$ 24,500.00
TAPON 2"	Und	1		
ACOPLE MACHO 2"	Und	1		
TAPON 1 1/2"	Und	6	\$ 500.00	\$ 3,000.00
ACOPLE MACHO 1 1/2"	Und	6	\$ 3,600.00	\$ 21,600.00
SUMA PARCIAL				\$ 3,982,675.00

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE
LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE
OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO**

MANO DE OBRA NO CALIFICADA				
EXCAVACION Y TAPADO DE MANGUERA	ML	3450	\$ 1,500.00	\$ 5,175,000.00
SUMA PARCIAL				\$ 5,175,000.00
MANO DE OBRA CALIFICADA				
TRAZADO EN TERRENO PARA EXCAVACIONES Y PUNTOS DE RIEGO	Ha	11	\$ 30,000.00	\$ 330,000.00
INSTALACION DE MANGUERA	ML	3450	\$ 200.00	\$ 690,000.00
INSTALACION DE HIDRANTES	Und	45	\$ 500.00	\$ 22,500.00
SUMA PARCIAL				\$ 1,042,500.00
OBRA CIVIL				
ANCLAJES PARA MANGUERA, HIDRANTES Y CAMBIOS DE DIRECCION (concreto 3000 psi)	m ³	0.46	\$ 180,000.00	\$ 82,800.00
CONCRETO BOTOMA Y DESARENADOR (concreto 3000 psi)	m ³	4.55	\$ 180,000.00	\$ 819,000.00
HIERROS BOTOMA Y DESARENADOR (concreto 3000 psi)	ml	179.4	\$ 1,600.00	\$ 287,040.00
HIERROS REJILLA N° 2	kg	2.2	\$ 2,400.00	\$ 5,280.00
HIERROS TAPAS DE HIDRANTES	ml	27	\$ 1,600.00	\$ 43,200.00
CONCRETO TAPAS DE HIDRANTES	m ³	0.071	\$ 180,000.00	\$ 12,780.00
TUBERIA DE 4" RDE 51	Und	3.5	\$ 56,600.00	\$ 198,100.00
TUBERIA DE 3" RDE 51	Und	1.5	\$ 35,200.00	\$ 52,800.00
SUMA PARCIAL				\$ 901,800.00
PROYECTO RIEGO ASPERSION SEMIMOVIL				
SUMATORIA DE SUMAS PARCIALES			\$ 23,139,550.00	
COSTO GRAVADO			\$ 23,139,550.00	
COSTO NO GRAVADO			\$ 19,437,222.00	
IMPREVISTOS (5%)			1,156,978	
COSTO TOTAL			24,296,528	

7. CONCLUSIONES

Los suelos de la finca la esperanza en cuanto a sus condiciones químicas presentan deficiencias considerables de elementos mayores y menores, concentraciones altas de calcio, bajas concentraciones de materia orgánica (menor de 3), moderadamente ácidos (5.74 – 6.04), en general suelos con deficiencias representativas que deben ser tenidas en cuenta para la productividad y/o establecimiento de cualquier cultivo.

Las características físicas de los suelos dan indicios de suelos pobres que son comprobadas con los estudios químicos, tiene una alta fracción de arenas por los que todos tienen una tendencia arenosa, poca presencia de arcillas y esto acompañado de poca presencia de materia orgánica deja un suelo con bajo contenido de coloides llevando a que la retención de agua no sea la mejor, incluso podría presentarse valores reales de retención de agua mucho menores a los calculados por el método de los platos de Richard, la mayor retención de humedad se da en la huerta y es de 20,30 y una muy baja en el zona eucaliptos de 11,83. A esto se le suma una alta condición de infiltración y conductividad hidráulica que paradójicamente lo contrarresta la compactación que ya se presenta debido a la explotación ganadera que se da en esta zona.

De acuerdo a las condiciones hidroclimatológicas de la zona, esta cuenta con la presencia de precipitaciones mensuales representativas del orden de los 43,5 para el mes de agosto y de 140,6 para el mes de noviembre, que ayudan en gran manera a suplir los requerimientos hídricos de los cultivos y minimizan los tiempo de riego y la frecuencia, presentándose incluso periodos de tiempo en los que el riego no se hace necesario puesto que la precipitación de la zona suple todos los requerimientos hídricos del cultivo.

Las curvas de retención de humedad resultan una herramienta muy útil y eficiente de determinación de tiempo y cantidad de riego, sin embargo los frágiles que resultan los tensiómetros en campo y el alto costo que implica tener uno por zona o lote para hacer eficiente la irrigación hace que su utilización sea poco frecuente, con el método que aquí se presenta estos costos se reducen, puesto que solo se requiere uno para todas las zonas, lo que hace que la utilización de estos equipos en campo sea más factible.

La calidad de agua de la fuente la Esperanza presenta condiciones aptas para la utilización en la irrigación de pastos y no contiene elementos tóxicos como el aluminio que afecten la actividad productiva ganadera ni los suelos de la zona.

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE
LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE
OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO**

El número más probable en cien mililitros de Coliformes fecales presentes es de 230000 esta se consideran altas para la utilización de esta como potables según lo establecido en el decreto 1594 de 1984 requiriéndose el tratamiento previo de la misma.

La concentración de sodio 10.22 mg/L y calcio de 21.6 mg/L en el agua para riego permite establecer una posible afectación al suelo, permitiendo la acumulación de este elemento que afectara las características físicas y afectando la disponibilidad de agua para las plantas.

El área beneficiada con la puesta en marcha del sistema semimovil de riego por aspersión en la finca la esperanza es de 15.5 hectáreas distribuidas en 5 Zonas de las cuales el Diseño del sistema que se presenta se encargará de 4 de estas y la zona (P) faltante será puesta en marcha con el acueducto rural.

La selección del material de la tubería, polietileno de alta densidad RED 26 PAVCO y sus propiedades se realizó basada en las condiciones del terreno en el que se instalará y la presión estática máxima obtenida siendo de 82.44mca.

La velocidad máxima en la conducción principal es de 0.82 m/s y la presentada en los sectores es de 2,76 m/s, la presión estática de la red se presenta en el sector 2 siendo de 85.6 mca y la menor presión se encuentra sobre el hidrante de la tubería principal siendo de 30.41 mca.

El diseño estructural para bocatoma y desarenador se realizó utilizando la cuantía mínima de 0.0033 correspondiente para la zona, permitiendo establecer en su mayoría barras N° 3 debido a las pequeñas dimensiones de las mismas que no exceden los 2 metros de largo y 0.6 m de ancho para la bocatoma y para el desarenador son de 1.95 m de ancho 5.85m de largo y 0.80 m de profundidad.

El costo total del proyecto es de 25´296,528 peso m/c determinándose un costo por hectárea de 1´800,381 pesos m/c.

8. RECOMENDACIONES

Puesto que se presentan deficiencias de materia orgánica se hace necesaria la aplicación de abonos y fertilizantes, preferiblemente biológicos y/o orgánicos que ayuden a conservar y mejorar su estructura ya que esta permite el flujo del agua, mejora las condiciones hidrodinámicas de los suelos permitiendo así elevar la productividad del suelo representándose esto en los cultivos.

Es importante y es recomendable hacer un plan de rotación de los lotes de acuerdo a la condiciones de cada zona, para ayudar a mitigar la presencia de la compactación que se está empezando a presentar en la finca, puesto que esta es una característica que afecta otros factores como las propiedades hidrodinámicas y presencia de encharcamientos que crean un desnivel en las condiciones del suelo.

De llegarse a implementar el plan de riego utilizando tensiómetros, es recomendable, tener al menos un tensiómetro más en caso de presentarse daños o descalibración del mismo, en el caso de los dos planes de riego se recomienda hacer un replanteo del mismo mínimo cada 5 años puesto que estos están en base a las condiciones del suelo y si estas cambian estos métodos se hacen ineficientes, por lo que es necesario realizar los estudios de las condiciones presentes en el suelo.

Se recomienda realizar análisis de aguas cada año debido a que estas pueden cambiar sus concentraciones en elementos debido a las actividades que se realizan en la cuenca.

Para una operación adecuada del sistema se recomienda colocar solo dos aspersores por lateral, conectando los dos restantes en cualquier otro lateral disponible.

La calibración de la presión a la salida del hidrante debe ser verificada para un correcto funcionamiento de la unidad semimovil y evitar así la sobre presión que pueda romper la manguera o afectar la uniformidad del riego.

Puesto que para que el sistema sea lo más eficiente se requieren jornadas de riego de 24 horas para épocas críticas se recomienda hacer utilización de la automatización del riego.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Tarjuelo Martin Jose Maria. El Riego por Aspersión: Generalidades. Editorial Univ de Castilla. La Mancha. 1992. Pág. 15
- Subiros Ruiz Fermín. El cultivo de la caña de azúcar: Riego por aspersión. Editorial Universidad Estatal a distancia. San José, Costa Rica. 1995. Pág. 195-196.
- Hidalgo Fernández Luis, Hidalgo Togores José. Ingeniería y mecanización vitícola: Sistemas de riego por aspersión semi-permanentes. Ediciones mundi-prensa. Madrid, España. 2000. Pág. 376-378
- Gurovich Luis Alfredo. Fundamentos y Diseños de Sistemas de Riego: Riego por Aspersión. Centro Interamericano de documentación e Información Agrícola CIDIA. San José, Costa Rica. 1958. Pág. 363-368
- Rincón Hernán. El Agroecosistema andino: Problemas, Limitaciones Perspectivas: Agricultura Eminente. Lima, Perú. 1993. Pág. 55-56
- IICA, CIRA, OEA. IV Reunión Regional de Investigadores en pastos y Forrajes Tropicales: Justificación Pecuaria y Agronómica. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. Colombia, Bolivia, Brasil, Ecuador, Perú, Venezuela. 1972. Pág. 61-62
- Euroresidentes. El riego por aspersión. España. 2000. Disponible en: http://www.euroresidentes.com/jardinaria/sistemas_de_riego/riego/riego_por_aspersion.htm
- Jose Antonio Forero. Conductividad hidráulica para drenaje de campos agrícolas: Métodos de Campo, pozo barrenado. Editorial Universidad Nacional. Bogota, Colombia. 1998.
- Feitoo Olivera, Rafael. Cuaderno sobre galerías filtrantes. Organización panamericana de la salud/ Organización mundial de la salud. Julio 1997.
- LEDESMA LL, ZURITA JJ. 1994. Carta de Suelos de la República Argentina. Provincia del Chaco. Los Suelos del Departamento 9 de Julio. pp 223.

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE
LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE
OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO**

- Wikipedia. 2011. Edafología, Términos de geografía, Pedología, Ciencias del Suelo, Horizontes. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Suelo&printable=yes>

- FEDEALGO – Federación de aldoneros de Colombia, “Bases Técnicas para el cultivo del algodón en Colombia” – Bogotá, Colombia, 1987.

- hidráulica aplicada a proyectos de riego. Miguel Ángel Martínez Cañadas, universidad de Murcia, 1993 pg 104- 120

- Colombia ministerio de proteccion social decreto 1575 de 2007

- Colombia ministerio de agricultura decreto 1594 de 1984

- colombia congreso de la republica ley 373 de 1997

- instituto colombiano agropecuario (ica), el analisis de suelos, plantas y aguas para riego, manual de asistencia tecnica No 47 bogota octubre de 1989

- fundamentos para la interpretacion de analisis de suelos, plantas y aguas para riego, sociedad colombiana de la ciencia del suelo. tercera edicion 1990 capitulo IV pg 245.

- corcho, romero, freddy.; Duque, Serna, Jose. 1993. acueductos teoria y diseño, universidad de medellin, centro general de investigaciones. capitulos 2-3-4-5.

- ven te chow. 1982. hidraulica de canales abiertos. editorial Diana mexico. pag 100-155.

- el riego por aspesion y su tecnologia, J.M.Tarjuelo Martin - Benito tercera edicion. editorial mundi-prensa pg 190

- C. Dorronsoro, 2011. Lección 2. CONSTITUYENTES DEL SUELO. FASE SOLIDA. Materia Organica. Departamento de edafología y química agrícola. Universidad de Granada. España.

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE
LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE
OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO**

- Constantino Costantinidis. Bonifica ed Irrigazione. Edagricole. Bologna, 1970

- This electronic document has been scanned using optical character recognition (OCR) software and careful manual recorection. Even if the quality of digitalisation is high, the FAO declines all responsibility for any discrepancies that may exist between the present document and its original printed version. 1978.

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE
LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE
OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO**

ANEXOS

ANEXO NO. 1 DATOS HIDROCLIMATOLOGICOS DE LA ZONA

Los datos hidroclimaticos de la zona fueron solicitados al IDEAM, dichos valores se presentan a continuación:

Anexo No. 1.1 Valores de Precipitación mensuales para 20 años

I D E A M													
SISTEMA DE	INFORMACION												
VALORES TOTALES	MENSUALE DE PRECIPITACION (mms)												
FECHA DE PROCESO	10/03/2010 ESTACION ALGECIRAS												
LATITUD	231 N				HUILA				FECHA-INSTALACION				1971-ABR
LONGITUD	7519 W				ALGECIRAS				FECHA-SUSPENSION				
ELEVACION	1155 m.s.n.m												
AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	AB.	MAYO	JUNIO	JULIO	AG.	SEPTI	OCT.	NOV.	DIC.	VR ANUAL
1990	35.6	94.7	61.8	111.1	117.0	42.0	51.0	33.8	32.4	158.2	85.6	165.4	988.6
1991	42.6	32.0	255.7	65.4	72.4	67.9	57.1	79.4	27.4	18.0	133.6	136.0	987.5
1992	83.6	60.5	50.1	81.3	54.7	28.7	28.5	56.9	53.1	32.6	202.6	110.7	843.3
1993	32.0	157.7	143.4	99.6	136.5	46.1	102.5	49.8	60.9	117.7	164.9	92.9	1204.0
1994	96.4	27.8	97.2	95.8	148.0	81.4	69.9	20.1	65.8	147.0	105.9	59.7	1015.0
1995	21.1	63.3	136.3	126.3	96.5	55.3	97.6	61.9	42.7	108.2	94.4	108.5	1012.1
1996	132.6	147.4	178.6	107.7	97.8	92.7	42.1	58.1	60.8	338.9	89.6	110.2	1456.5
1997	180.6	66.1	197.7	152.2	74.1	74.6	31.6	27.4	3.1	45.7	207.3	21.7	1082.1
1998	40.5	49.9	199.9	54.2	109.6	62.6	91.3	79.1	33.2		90.9	219.2	1030.4
1999	168.9	194.2	128.8	85.6	76.8	70.3	42.2	17.0	85.1	107.2	146.0	115.0	1237.1
2000	151.5	141.2	104.2	95.7	168.4	52.8	34.9	76.8	112.8	94.8	56.1	71.1	1160.3
2001	4.0	123.3	81.5	58.9	100.8	40.4	43.1	15.4	88.7	140.3	155.9	61.6	913.9
2002	32.9	52.5	59.6	170.8	117.6	109.6	42.7	23.0	59.4	167.4	31.8	81.3	948.6
2003	42.2	58.0	142.3	105.8	103.8	85.6	19.4	15.8	48.0	154.9	104.5	169.9	1050.2
2004	105.6	57.0	51.0	157.9	67.2	44.7	75.0	28.5	35.1	88.6	260.2	90.0	1060.8
2005	88.7	56.8	81.7	127.2	76.2	42.8	38.8	22.4	53.4	191.9	124.3	106.2	1010.4
2006	100.2	71.9	127.0	126.5	61.4	84.6	57.9	29.4	55.4	315.9	105.6	62.6	1198.4
2007	4.1	32.9	69.3	108.7	117.4	94.3	40.4	52.5	31.8	165.1	162.2	174.0	1052.7
2008	76.0	88.0	228.2	101.3	88.9	32.1	76.1	82.3	56.4	68.7	420.6	120.8	1439.4
2009	75.2	98.0	167.2	87.5	88.4	95.7	44.8	39.5	59.7	190.9	70.7	43.4	1061.0
MED.	75.7	83.7	128.1	106.0	98.7	65.2	54.3	43.5	53.3	139.6	140.6	106.0	1094.6
MAX.	180.6	194.2	255.7	170.8	168.4	109.6	102.5	82.3	112.8	338.9	420.6	219.2	420.6
MIN.	4.0	27.8	50.1	54.2	54.7	28.7	19.4	15.4	3.1	18.0	31.8	21.7	3.1

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO

Anexo No. 1.2 Temperaturas mensuales para 20 años

I D E A M													
VALORES MENSUALES	D E TEMPERATURA (oC)												
FECHA DE PROCESO :	21105030 ALGECIRAS FECHA-INSTALACION: 1971-ABR												
LATITUD 231 N	DEPTO HUILA												
LONG. 7519 W	MUNICIPIO ALGECIRAS												
ELEV. 1155 m.s.n.m	HUILA-CAQUET NEIVA												
AÑO	ENERO	FEBR E	MARZ O	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULI O	AGOS T	SEPT I	OCTUB	NOVI E	DICI E	Vr. Anua I
1990					15.8	15.6	13.6	14.2	14.0	16.2	15.8	16.2	13.6
1991	14.8	15.2	16.4	16.2	16.2	15.4	14.6	13.2	12.8	13.2	15.4	14.8	12.8
1992	13.4	14.2	14.4	15.8	16.2	15.0	13.4	15.0	13.6	15.8	14.8	16.8	13.4
1993	14.6	16.2	16.8	15.8	16.2	15.2	12.8	13.4	13.4	13.0	15.8	13.6	12.8
1994	14.0	13.8	13.6	14.2	17.2	14.0	15.0	13.4	14.2	15.2	16.2	15.0	13.4
1995	12.8	11.6	15.8	16.4	15.8	16.0	15.4	14.2	14.2	13.8	14.4	15.2	11.6
1996	14.4	16.6	15.4	16.2	15.6	16.0	12.8	14.4	13.6	15.2	14.6	14.0	12.8
1997	16.4	12.4	12.4	16.4	15.0	14.4	13.4	12.4	13.6	14.0	16.6	14.4	12.4
1998	14.0	16.4	13.8	18.4	16.2	15.6	15.6	15.0	14.2	14.6	15.6	14.8	13.8
1999	17.0	16.2	16.4	15.8	15.0	14.0	11.4	13.2	16.0	15.4	15.8	16.6	11.4
2000	14.6	13.8	16.0	16.4	16.4	15.2	14.0	14.8	13.6	15.2	17.2	14.6	13.6
2001	13.6	14.6	14.2	15.6	14.6	14.4	13.6	12.6	13.8	14.6	15.8	17.0	12.6
2002	14.2	15.6	16.2	17.0	16.8	16.4	15.8	14.0	13.2	14.6	15.0	14.0	13.2
2003	13.4	16.2	17.0	17.0	17.0	15.8	13.4	15.2	13.8	16.0	15.6	14.8	13.4
2004	15.4	15.8	14.2	16.4	16.0	14.4	15.2	15.6	15.0	16.0	14.0	16.2	14.0
2005	15.2	16.4	15.4	17.0	17.0	16.0	14.8	15.4	15.0	17.2	16.8	16.6	14.8
2006	15.8	14.2	17.0	16.6	15.0				14.0	15.8	15.6	15.0	14.0
2007	13.8	12.8	17.0	16.4	16.0							16.8	12.8
2008	17.0	17.0						16.4	15.2	15.8		15.6	15.2
2009	15.2	15.2	15.4	15.2	15.2	15.4	15.6	15.6	13.0	13.0	13.8	13.0	13.0
2010	13.4	16.0	13.0	14.8	16.0	14.0	14.0			13.8			13.0
MEDIOS	14.7	15.0	15.3	16.2	16.0	15.2	14.1	14.3	14.0	14.9	15.5	15.3	15.0
MAXIMOS	17.0	17.0	17.0	18.4	17.2	16.4	15.8	16.4	16.0	17.2	17.2	17.0	18.4
MINIMOS	12.8	11.6	12.4	14.2	14.6	14.0	11.4	12.4	12.8	13.0	13.8	13.0	11.4

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO

Anexo No. 1.3 Velocidad del Viento mensuales para 20 años

I D E A M													
VALORES	TOTALES	MENSUALES			DE	RECORRIDO	DEL	VIENTO (Kms)					
FECHA DE PROCESO	11/02/2011	ESTACION			21105030	ALGECIRAS							
LAT.	231 N	DEPTO			HUILA	FECHA-INSTALACION		1971-ABR					
LON.	7519 W	MUNICIPIO			ALGECIRAS	FECHA-SUSPENSION							
ELEV.	1155 m	m.s.n.m			HUILA-CAQUET	NEIVA							
AÑO	ENERO	FEBR E	MARZ O	ABRI L	MAYO	JUNI O	JULI O	AGOS T	SEP TI	OCTU B	NOVI E	DICI E	Vr. Anual
1990	1647	1913	1780	1566	1725	1513	1627	2206	2402	2249	1964	1426	22018
1991	1510	2270	2389	1785	1730	1691	1616	1873	2028	2568	2401	2037	23898
1992	1708	1893	2026	1809	1872	2048	2096	2237	2469	2680	2461	2271	25570
1993	2237	2036	1765	1480	1714	1522	1804	1968	1700	2009	2331	2130	22696
1994	1987	2072	1918	1593	1604	1593	1669	1814	2059	2187	2064	1979	22539
1995	2073	2286	1956	1634	1586	1664	1643	1717	1881	2096	2079	2057	22672
1996	2156	1456	1747	1645	1617	1402	1437	1514	1627	1569	1426	1547	19143
1997	1619	1565	1971	1360	1505	1454	1490	1718	1852	2083	1885	1709	20211
1998	1737	1558	1736	1346	1206	1177	1010	1187	1152		1624	1554	15287
1999	1392	1411	1356	980	1067	1087	995	1232	1232	1244	1559	1577	15132
2000	1396	1282	1283	992	859	972	1154	1125	952	1184	1130	1103	13432
2001	1571	1566	1172	866	841	829	983	1294	1341	1757	1531	1642	15393
2002	1962	1817	2122	1820	1440	1505	1559	1762	1685	1686	1553	1790	20701
2003	1841	1544	1513	1300	1404	1144	1158	1341	1191	1140	1005	982	15563
2004		1313	2156	1704	1724	1746	1677	1882	1949	2005	1819	1702	19677
2005	1281	1281	1080	1072	1358	1082	1113	1210	1665	1879	1604	1835	16460
2006	1571		1608	1478	1485	1405	1360	1550	1150	1229			12836
2007	961	736	865	929	992	1605	1254	1158	1827	10327			
2009												1990	1990
2010	2651	2124	1716	1602	1492	1266	1444	1885	1727			1832	17739
MEDIOS	1785	1682	1679	1416	1425	1371	1454	1598	1647	1882	1777	1725	19442
MAXIMOS	2651	2286	2389	1820	1872	2048	2096	2237	2469	2680	2461	2271	2680
MINIMOS	1281	961	736	865	841	829	983	1125	952	1140	1005	982	736

ANEXO NO. 2 HERRAMIENTAS DE CÁLCULO PARA REQUERIMIENTO DE RIEGO

Anexo No. 2.1 Ecuaciones de Requerimiento Hídrico

La lámina neta es la lámina de reposición que requiere el suelo para llenar su almacén de agua aprovechable para las plantas, siendo esta recarga limitada por el nivel de agotamiento que determina el riego a un gasto x del agua disponible para impedir el estrés hídrico de los cultivos.

$$LN = \frac{(CC - PMP)}{100} \times \frac{\rho_a}{\rho_{H_2O}} \times Prof. \times Na$$

Donde:

LN = Lamina Neta de Riego (mm)

CC = Capacidad de Campo (%)

PMP = Punto de Marchites Permanente (%)

ρ_a = Densidad aparente (g/cm^3)

ρ_{H_2O} = Densidad del agua (g/cm^3) = 1.0 g/cm^3

Prof. = Profundidad efectiva de raíces (mm)

La lámina bruta de riego es la lámina que se le debe aplicar al suelo para garantizar que este tenga la lámina neta, está determinada por la eficiencia o homogeneidad de aplicación de agua del método de riego.

$$LB = \frac{LN}{E_a}$$

Donde:

LB = Lamina Bruta (mm)

E_a = Eficiencia de aplicación del emisor de riego (adimensional)

El uso consumo, como su nombre lo indica es el agua que usa la planta o consume la planta, esta la multiplicación de la evapotranspiración del cultivo de

referencia que para el presente caso de determino por el método Penman-Monteith, donde para los cálculos se escoge ETo mas alto o critico y el Kc que es el requerimiento hídrico del cultivo, este ultimo varia con la etapa en que se encuentre el cultivo pero para efectos de cálculos se puede escoger el valor de Kc más alto, también es definido por otros autores como evaporación potencial.

$$UC = ETo \times Kc$$

Donde:

UC = Uso Consumo

ETo = Evapotranspiración del cultivo de referencia

La frecuencia de riego es el tiempo que el cultivo permanece sin aplicación de riego, es decir, es el intervalo de tiempo en que se hace necesario la aplicación de riego, es la solución a una de las respuestas que se hacen muy frecuentemente cuando se tiene un sistema de riego y es: ¿Cuándo regar?.

$$FR = \frac{LN}{UC}$$

Donde:

FR = Frecuencia de riego

Para el cálculo del tiempo del riego es necesario calcular la evapotranspiración máxima del cultivo por día (ETc), para este cálculo se tiene en cuenta el nivel de cobertura del cultivo, se utiliza:

$$ETc = ETp \times Kc \left(Nc \times \frac{1}{2} (1 - Nc) \right)$$

Donde:

ETc = Evapotranspiración máxima del cultivo (mm/día)

Nc = Nivel de cobertura que depende del cultivo, para pastos apropiadamente 0.8

Nota: Se coloca un Nc bajo teniendo en cuenta que el pasto cuando esta recientemente sembrado o cuando ya ha sido aprovechado por los rumiantes tiene un nivel de cobertura mucho más.

Teniendo el ET_c se puede calcular el volumen de agua por área de emisor y dividido por la eficiencia de aplicación del sistema es posible calcular el tiempo de riego de por emisor, así:

$$\text{Volumen de agua por emisor} = \left(\frac{ET_c}{1000} \right) * Ae$$

Donde:

Volumen de agua por emisor (V_{ae}) = m³/día/emisor

1000 = Factor de conversión para ET_c (mm/día) de mm a m

Ae = Área del emisor, que es:

$$Ae = \pi r^2$$

Donde:

Ae = m²

r = radio de aplicación del emisor (m)

El Volumen total por emisor será:

$$Vt = \frac{Vae}{Ea}$$

Donde:

V_t = Volumen total por emisor m³/día/ emisor

E_a = Eficiencia de aplicación que depende del método de riego (adimensional)

Nota: la eficiencia de aplicación para aspersión se estima entre 0.75 y 0.9, se toma para efectos de cálculos una eficiencia de aplicación de 0.8 teniendo en cuenta que el suelo tiene alto contenido de arena, pero se presenta compactación, la velocidad del viento no presenta valores altos.

El tiempo de riego corresponde al tiempo de aplicación por emisor para suplir la necesidad de agua del cultivo para un día, este será:

$$Tr = \frac{Vt}{\left(\frac{Qm}{1000} \times 60\right) \times n}$$

Donde:

Tr = Tiempo de riego en min/día/emisor

Qm = Caudal medio del emisor en lps

n = No. de emisores por planta, para este caso n=1

60 y 1000 son factores de conversión del caudal

También se puede calcular el tiempo de riego por pluviometría, entonces:

$$P = Q/S$$

Donde:

Q= Caudal del aspersor de 360° en l/h.

S= Superficie transformada regada en m².

$$Tr = ND/P$$

Donde:

ND= Necesidades diarias de agua en mm/día.

P= Pluviometría en mm/h.

TR = Tiempo de Riego

Teniendo el tiempo de riego por emisor, se calculo el tiempo de riego total, que corresponde al tiempo de riego necesario para suplir las necesidades del riego del cultivo según la frecuencia de riego, entonces:

$$TTr = Tr \times Fr$$

Donde:

TTr = Tiempo Total de riego en min/aspersor

El número de posiciones de riego por día será:

$$No. \text{ posiciones por dia} = \left(\frac{JR}{TTr}\right) \times No. \text{ asperores al tiempo}$$

Donde:

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE
LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE
OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO**

No. posiciones por día o NPD

JR = Las jornadas de riego en hr.

El numero de aspersores al tiempo corresponde a No. de aspersores que pueden estar funcionando al mismo tiempo.

Como el sistema de riego es semimimovil, se requieren de 5 posiciones por ala aspersora para poder cubrir toda el área de esta, el ala aspersora se moverá en crus y la otra posición será en el centro, el tiempo que se tarda en regar en área de cada zona estará determinado por las posiciones de cada zona, entonces:

$$\text{dias de riego por zona} = \frac{\text{Posiciones por zona}}{\text{No. de posiciones por dia}}$$

Anexo No. 2.2 Valores de Requerimiento de riego para cada zona

Para los cálculos se requieren conocer la cantidad de hidrantes de cada zona y las características del aspersor, que son mostrados a continuación:

Anexo No. 2.2.1 Cantidad de Hidrantes, área y posiciones por zona

Zonas	AREA (ha)	Hidrantes	Posiciones por zona (Hidrantes * 5)
ZONA C	3.03	13	65
EUCALIPTOS	2.4	9	45
ZONA P	3.6	10	50
ZONA E	4.1	11	55
HUERTA	1	1	5
ZONA G	2.3	12	60
Total	16.43	56	280

La zona P y la Zona huerta no hacen parte del sistema de riego, la primera ya esta constituida y la segunda no se prevé en constituir a futuro, por las buenas condiciones de almacenamiento las cuales pueden ser comprobadas por con el presente trabajo.

Anexo No. 2.2.2 Características del aspersor

Q (PLS)	r (m)	Área influencia (m ²)
0.8	33.2	865.7

Fuente: INTECMECOL 2011.

Cabe destacar que el área de aplicación de cada aspersor es mayor, puesto que cada aspersor tiene un ala semimovil de 20m.

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO

Anexo No. 2.2.3 Valores de cálculo de requerimiento hídrico para Eucaliptos

CC (%)	PMP (%)	Pa (g/cm ³)	ET _o (mm/día)	Kc	Na	Ea	Prof. Ef. (mm)
19,39	6,2	1,67	4,38	1,15	0,4	0,8	500

LN	LB	UC (mm/día)	ET _c (mm/día)	Vae (m ³ /día/emisor)	Vt (m ³ /día/emisor)	Tr (min/día/emisor)	TTr (hr)
44,05	55,07	5,04	4,34	3,76	4,7	78	11,4

Asper/día	JR (hr)	Tiempo de Riego	5 días	FR
8	24		15 hr	9 días

Para la zona eucaliptos se hizo necesario hacer el requerimiento hídrico para el cultivo de eucalipto por su alto requerimiento hídrico y calculando que este no compita con el agua disponible para el cultivo de pasto, es por eso que esta zona cuenta con características diferentes a las demás.

Anexo No. 2.2.4 Valores de cálculo de requerimiento hídrico para Zona P

CC (%)	PMP (%)	Pa (g/cm ³)	ET _o (mm/día)	Kc	Na	Ea	Prof. Ef. (mm)
15,43	4,84	1,86	4,38	0,95	0,6	0,8	250

LN	LB	UC (mm/día)	ET _c (mm/día)	Vae (m ³ /día/emisor)	Vt (m ³ /día/emisor)	Tr (min/día/emisor)	TTr (hr)
29,55	36,93	4,16	3,36	2,91	3,64	60	7,1

Asper/día	JR (hr)	Tiempo de Riego	4 día	FR
12	24		4 hr	7 días

Anteriormente se presentan todos los cálculos realizados para la zona P, sin embargo esta zona no está dentro del plan de riego del sistema porque esta es abastecida del acueducto rural de la zona por lo que para el riego de esta zona no hay ningún problema, puesto que funciona bien.

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO

Anexo No. 2.2.5 Valores de cálculo de requerimiento hídrico para Zona E

CC (%)	PMP (%)	Pa (g/cm ³)	ET _o (mm/día)	Kc	Na	Ea	Prof. Ef. (mm)
26,95	6,93	1,82	4,38	0,95	0,6	0,8	250

LN	LB	UC (mm/día)	ET _c (mm/día)	Vae (m ³ /día/emisor)	Vt (m ³ /día/emisor)	Tr (min/día/emisor)	TTr (hr)
54,65	68,32	4,16	3,36	2,91	3,64	60	13,1

Asper/día	JR (hr)	Tiempo de Riego	8 días	FR
8	24		18 hr	13 días

Esta es la zona con la frecuencia de riego de riego más baja de las cuatro zonas del plan del sistema de riego, después de los eucaliptos con la diferencia que este requerimiento es para pastos, la mayoría tiene Na de 0,6 y aunque el pasto puede soportar un nivel de agotamiento más alto de escogió así por que el suelo tiene una alta fracción arenosa por lo que dichas condiciones son desfavorables para el almacenamiento de agua.

Anexo No. 2.2.6 Valores de cálculo de requerimiento hídrico para Zona C

CC (%)	PMP (%)	Pa (g/cm ³)	ET _o (mm/día)	Kc	Na	Ea	Prof. Ef. (mm)
14,11	4,42	1,71	4,38	0,95	0,6	0,8	250

LN	LB	UC (mm/día)	ET _c (mm/día)	Vae (m ³ /día/emisor)	Vt (m ³ /día/emisor)	Tr (min/día/emisor)	TTr (min)
24,85	31,07	4,16	3,36	2,91	3,64	60	6

Asper/día	JR (hr)	Tiempo de Riego	4 días	FR
16	24		2 hr	6 días

La zona C tiene la frecuencia de riego más alta de todas las zonas, y aunque se puede poner un nivel de agotamiento más alto para disminuir la frecuencia de riego, para efectos de cálculos y diseño del plan de riego a criterio de los autores esta condición es la más conveniente teniendo en cuenta las condiciones de suelo e infiltración que se presentan en dicha zona.

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO

Anexo No. 2.2.7 Valores de cálculo de requerimiento hídrico para Zona G

CC (%)	PMP (%)	Pa (g/cm ³)	ET _o (mm/día)	Kc	Na	Ea	Prof. Ef. (mm)
19,16	4,84	1,69	4,38	0,95	0,6	0,8	250

LN	LB	UC (mm/día)	ET _c (mm/día)	Vae (m ³ /día/emisor)	Vt (m ³ /día/emisor)	Tr (min/día/emisor)	TTr (hr)
36,30	45,38	4,16	3,36	2,91	3,64	60	8,7

Asper/día	JR (hr)	Tiempo de Riego	5 días	FR
36	12		0 hr	9 días

A pesar de que el tipo de pasto soporta un alto nivel de agotamiento las condiciones presentes de suelo han limitado someter tanto el suelo como al cultivo a un agotamiento mayor de 0,6, pensando en que el agua sea drenada con facilidad, o si es muy alta la aplicación se presente escorrentía y no esté disponible para el cultivo el agua de diseño.

Anexo No. 2.2.8 Valores de cálculo de requerimiento hídrico para Huerta

CC (%)	PMP (%)	Pa (g/cm ³)	ET _o (mm/día)	Kc	Na	Ea	Prof. Ef. (mm)
33,78	10,14	1,55	4,38	0,95	0,6	0,8	250

LN	LB	UC (mm/día)	ET _c (mm/día)	Vae (m ³ /día/emisor)	Vt (m ³ /día/emisor)	Tr (min/día/emisor)	TTr (hr)
64,12	80,15	4,16	3,36	2,91	3,64	60	15,4

Asper/día	JR (hr)	Tiempo de Riego	0 días	FR
1	24		15 hr	15 días

La zona huerta tiene las condiciones más favorables de la zona, sin embargo esta zona no será abastecida por el sistema, se presenta su análisis por si existe un posterior requerimiento de aplicación de riego y por qué se plantea como punto estratégico de ubicación del tensiómetro para el plan de riego diseñado con las curvas de retención de humedad de los suelos, las posiciones totales para esta zona son 18 con un traslape del 30%.

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE
LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE
OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO**

Anexo No. 4 Tablas para obtención de curvas de humedad

En este anexo se presentan los datos de laboratorio utilizados en las curvas de retención de humedad para cada zona que fueron la base para la elaboración del plan de riego.

Se muestran unas siglas donde:

Pi = peso inicial cuando sale de la capsula de presión y antes de entrar al horno

Pf = peso final de la muestra luego que sale del horno (110°C)

Pt = peso de tara (donde se coloca la muestra para ser pesado y el anillo)

Humedad % = % de humedad por el método gravimétrico

M = muestra

C = Contramuestra

Promedio = se promedia la muestra y la contramuestra

Anexo No. 4.1 Retención de humedad a 0,1 BAR

LOTE		Pi	Pf	Pt	Humedad %	promedio
C3	M	13,1	11	3	26,25	26,28
	C	12,7	10,7	3,1	26,32	
Eu	M	11,2	10,1	3,3	16,18	15,59
	C	9,9	9	3	15,00	
E8	M	14	11,9	3,2	24,14	22,60
	C	14,8	12,8	3,3	21,05	
C5-2	M	12,9	10,7	3	28,57	27,23
	C	13,8	11,6	3,1	25,88	
P5	M	15	9,2	3,3	98,31	59,39
	C	13	11,3	3	20,48	
G	M	14	11,8	3,2	25,58	25,86
	C	14,9	12,6	3,8	26,14	
HUERTA	M	11,9	9,4	3,2	40,32	40,01
	C	13,1	10,4	3,6	39,71	
P4	M	12,9	10,6	3,1	30,67	30,27
	C	13	10,7	3	29,87	
E1	M	12,7	10,1	2,8	35,62	37,09
	C	12,6	9,9	2,9	38,57	
E3	M	12,6	10,4	3,4	31,43	32,09
	C	10,6	8,7	2,9	32,76	

Fuente: Laboratorio de Suelos-USCO 2010

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO

Anexo No. 4.2 Retención de humedad a 0,3 BAR

LOTE		Pi	Pf	Pt	Humedad %	promedio
C3	M	13,5	12,4	3,3	12,09	12,71
	C	13,6	12,4	3,4	13,33	
Eu	M	12,2	10,4	3,1	24,66	26,08
	C	13,2	11	3	27,50	
E8	M	12,8	10,9	3,4	25,33	25,17
	C	12,6	10,8	3,6	25,00	
C5-2	M	13,8	11,7	3,4	25,30	22,88
	C	14,2	12,4	3,6	20,45	
P5	M	13,5	12,5	3,2	10,75	10,75
	C	13,5	12,5	3,2	10,75	
G	M	12,8	11,2	3,1	19,75	19,16
	C	11,4	10,1	3,1	18,57	
HUERTA	M	13,1	10,5	3,2	35,62	33,78
	C	12,6	10,3	3,1	31,94	
P4	M	12,2	10,7	3	19,48	20,11
	C	13,1	11,4	3,2	20,73	
E1	M	11,8	10,1	3,4	25,37	26,97
	C	10,9	9,1	2,8	28,57	
E3	M	11,5	9,7	3	26,87	28,71
	C	12,4	10,2	3	30,56	

Fuente: Laboratorio de Suelos-USCO 2010

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO

Anexo No. 4.3 Retención de humedad a 0,5 BAR

LOTE		Pi	Pf	Pt	Humedad %	promedio
C3	M	11,7	10,6	3	14,5	14,03
	C	12,6	11,5	3,4	13,6	
Eu	M	14,2	12,2	3,4	22,7	22,47
	C	13,3	11,5	3,4	22,2	
E8	M	13,6	11,7	3,1	22,1	22,75
	C	14,9	12,7	3,3	23,4	
C5-2	M	12,9	11,9	3,2	11,5	14,84
	C	13,4	11,8	3	18,2	
P5	M	12,6	11,2	3,2	17,5	17,96
	C	11,9	10,5	2,9	18,4	
G	M	12,7	11,1	3	19,8	18,92
	C	14,5	12,8	3,4	18,1	
HUERTA	M	11,5	9,6	3,2	29,7	30,68
	C	11,1	9,2	3,2	31,7	
P4	M	12,3	11,1	3,3	15,4	15,12
	C	11,5	10,4	3	14,9	
E1	M	12,8	10,6	3,5	31,0	31,08
	C	13,1	10,7	3	31,2	
E3	M	11	9,3	2,9	26,6	28,41
	C	13,1	10,8	3,2	30,3	

Fuente: Laboratorio de Suelos-USCO 2010

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO

Anexo No. 4.4 Retención de humedad a 5 BAR

LOTE		Pi	Pf	Pt	Humedad %	promedio
C3	M	12,3	11,6	3,3	8,43	7,84
	C	10,2	9,7	2,8	7,25	
Eu	M	12,1	11,4	3,2	8,54	8,59
	C	12,2	11,5	3,4	8,64	
E8	M	13,3	12,7	3,7	6,67	4,46
	C	12,1	11,9	3	2,25	
C5-2	M	13,6	13	3,6	6,38	5,67
	C	14	13,5	3,4	4,95	
P5	M	12,1	10,6	3,3	20,55	13,29
	C	12	11,5	3,2	6,02	
G	M	11,6	10,9	2,9	8,75	8,49
	C	12,3	11,6	3,1	8,24	
HUERTA	M	12	10,7	3,7	18,57	18,52
	C	11,3	10,1	3,6	18,46	
P4	M	11,7	11	3,5	9,33	9,33
	C	11,7	11	3,5	9,33	
E1	M	13,4	12,2	4	14,63	14,36
	C	11,7	10,7	3,6	14,08	
E3	M	11,9	10,9	3,3	13,16	14,15
	C	10,9	9,9	3,3	15,15	

Fuente: Laboratorio de Suelos-USCO 2010

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO

Anexo No. 4.5 Retención de humedad a 10 BAR

LOTE		Pi	Pf	Pt	Humedad %	promedio
C3	M	13,1	12,5	3,1	6,4	5,34
	C	12,8	12,4	3,1	4,3	
Eu	M	11,5	10,9	3	7,6	7,74
	C	11,8	11,2	3,6	7,9	
E8	M	13,9	13,1	3,4	8,2	7,46
	C	13	12,4	3,4	6,7	
C5-2	M	13,9	13,5	3,4	4,0	4,28
	C	12,2	11,8	3,1	4,6	
P5	M	12,4	11,9	3	5,6	6,53
	C	13,4	12,7	3,3	7,4	
G	M	12,3	11,8	3,1	5,7	5,85
	C	11,9	11,4	3	6,0	
HUERTA	M	9,3	8,5	3	14,5	16,56
	C	11,8	10,5	3,5	18,6	
P4	M	13,2	12,5	3,4	7,7	7,64
	C	11,7	11,1	3,2	7,6	
E1	M	11,4	10,4	3,1	13,7	13,99
	C	11,2	10,2	3,2	14,3	
E3	M	10,4	9,6	3	12,1	12,66
	C	8,8	8,1	2,8	13,2	

Fuente: Laboratorio de Suelos-USCO 2010

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO

Anexo No. 4.6 Retención de humedad a 15 BAR

LOTE		Pi	Pf	Pt	Humedad %	promedio
C3	M	11,6	11,2	3,2	5,00	5,13
	C	11	10,6	3	5,26	
Eu	M	12,1	11,5	3,5	7,50	7,27
	C	10,8	10,3	3,2	7,04	
E8	M	10	9,9	3,4	1,54	2,22
	C	10,1	9,9	3	2,90	
C5-2	M	9,8	9,5	2,9	4,55	4,00
	C	12,1	11,8	3,1	3,45	
P5	M	14,1	13,8	3,4	2,88	3,57
	C	13,3	12,9	3,5	4,26	
G	M	10,3	10	3,2	4,41	4,84
	C	11,1	10,7	3,1	5,26	
HUERTA	M	12,4	11,6	3,4	9,76	10,14
	C	11,3	10,5	2,9	10,53	
P4	M	10,2	9,8	3,2	6,06	6,11
	C	10	9,6	3,1	6,15	
E1	M	11,7	11,1	3,2	7,59	7,42
	C	10,5	10	3,1	7,25	
E3	M	12	11,2	3,3	10,13	11,16
	C	12,7	11,7	3,5	12,20	

Fuente: Laboratorio de Suelos-USCO 2010

Anexo No. 4.7 Muestra de cálculo para %humedad

Para E₃ los valores que están seleccionados son los que se obtienen en la práctica, entonces:

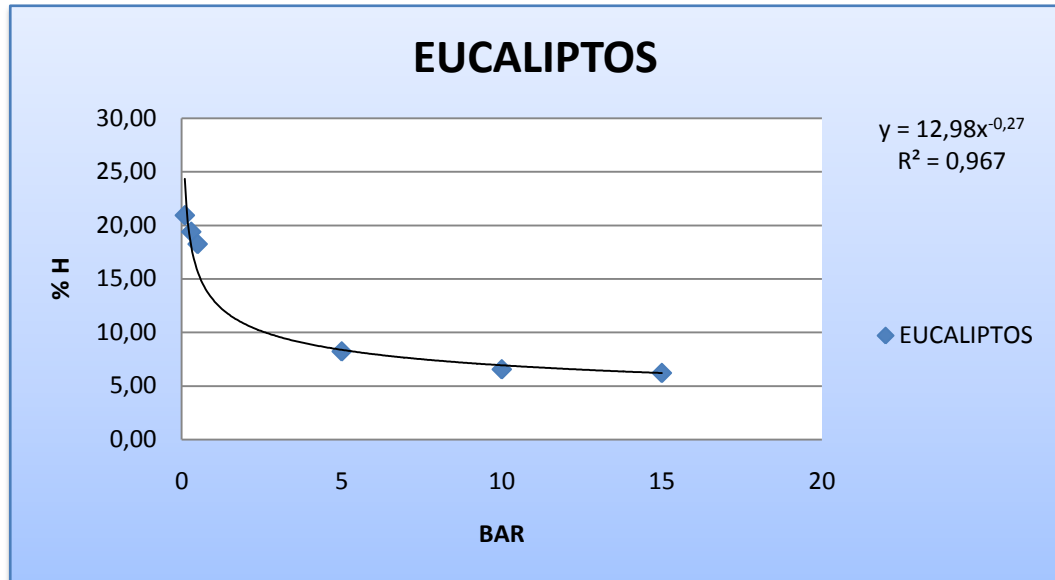
$$\%Humedad = \frac{P_i - P_f}{P_f - P_t} * 100 = \frac{12 - 11,2}{11,2 - 3,5} * 100 = 10,13\%$$

Cuando ya se tiene el % de humedad de la muestra y la contramuestra, se promedian las dos:

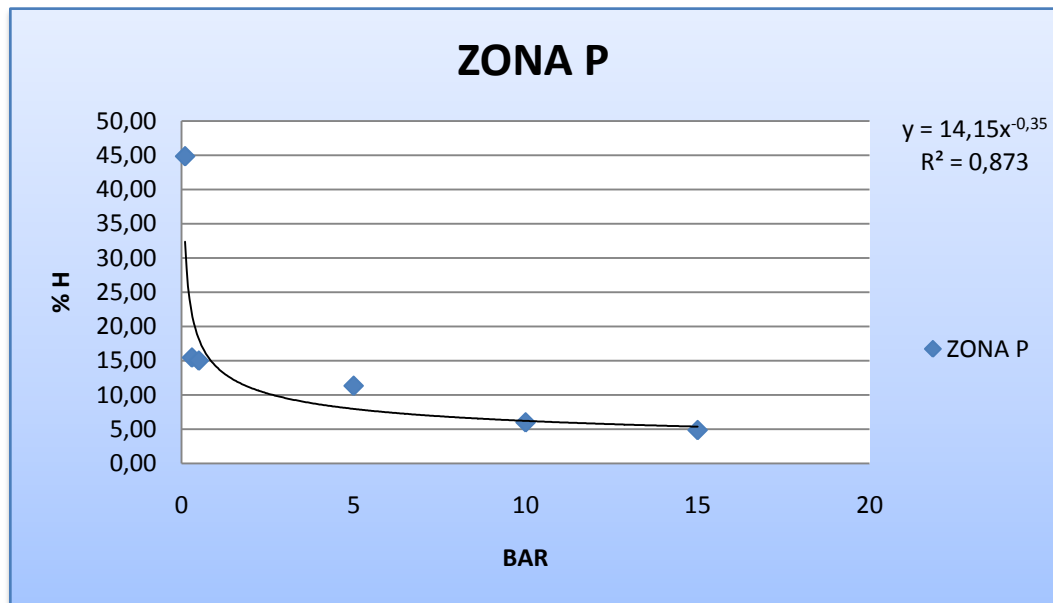
$$promedio = \frac{10,13 + 12,20}{2} = 11,16 \%$$

Anexo No. 4.8 Graficas Curvas de humedad

Las curvas de retención de humedad se grafican potencialmente y se presenta la ecuación de cada grafica, continuación se muestran la grafica de cada zona:

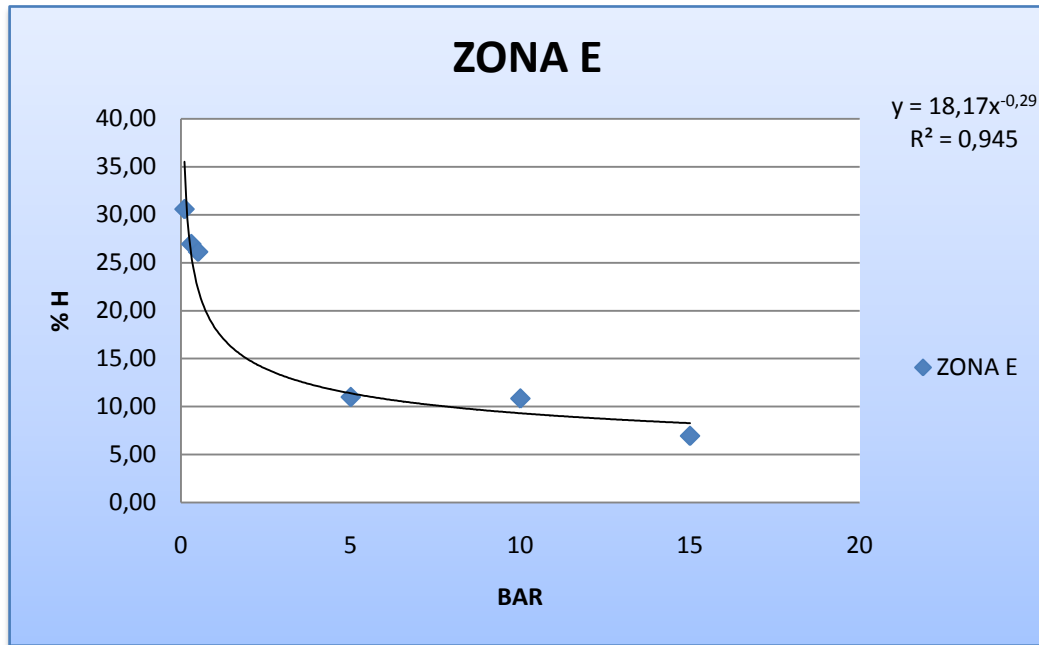


Anexo No. 4.8.1 Retención de Humedad para la zona Eucaliptos

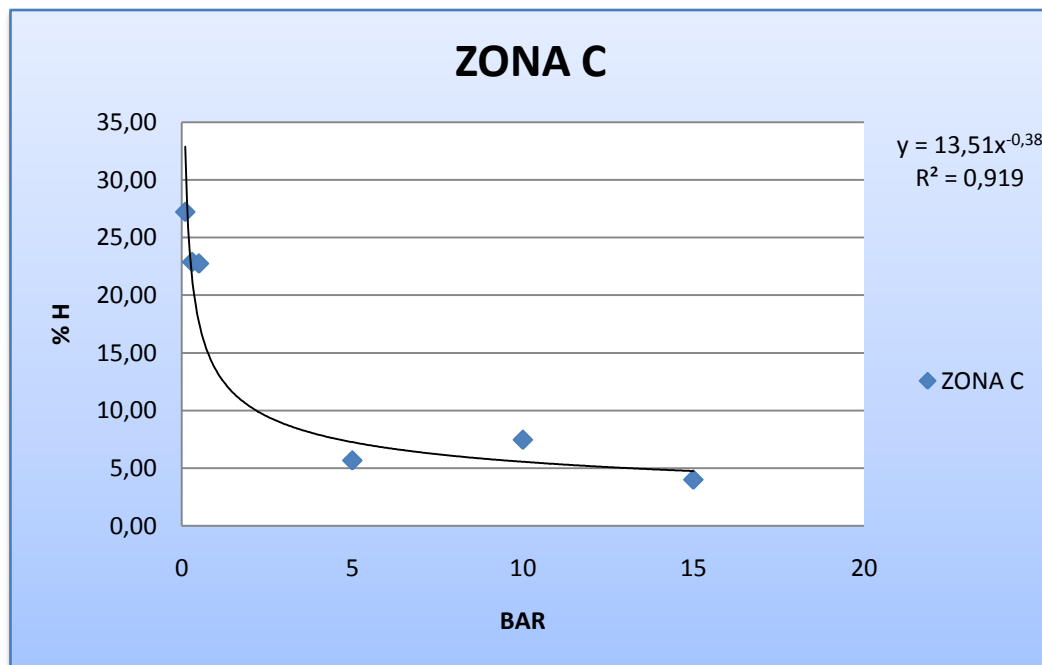


Anexo No. 4.8.2 Retención de Humedad para la zona P

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO

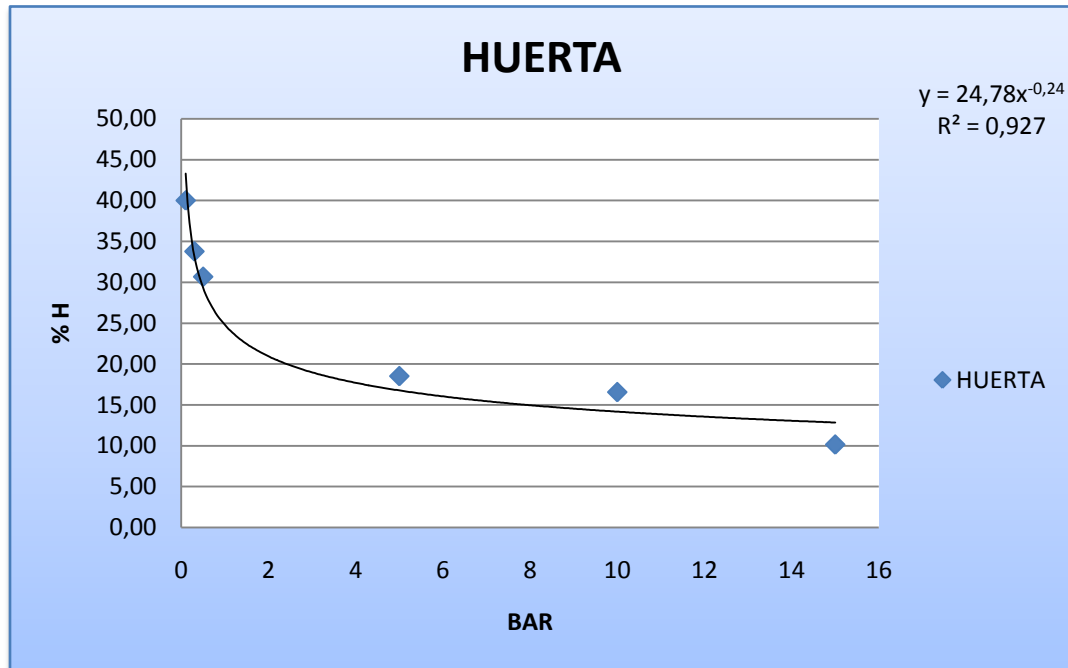


Anexo No. 4.8.3 Retención de Humedad para la zona E

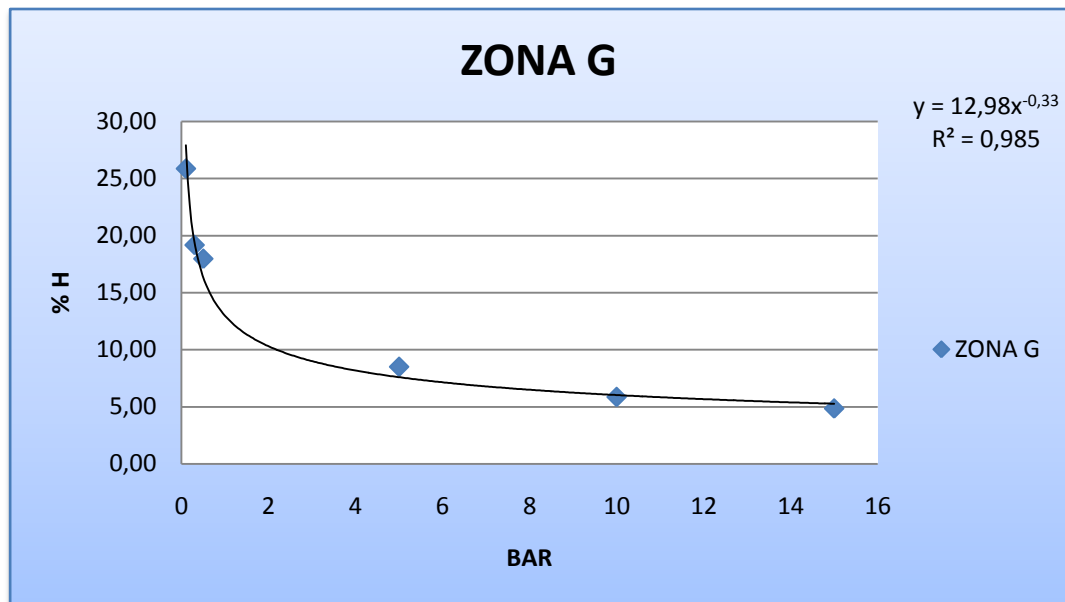


Anexo No. 4.8.4 Retención de Humedad para la zona C

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO

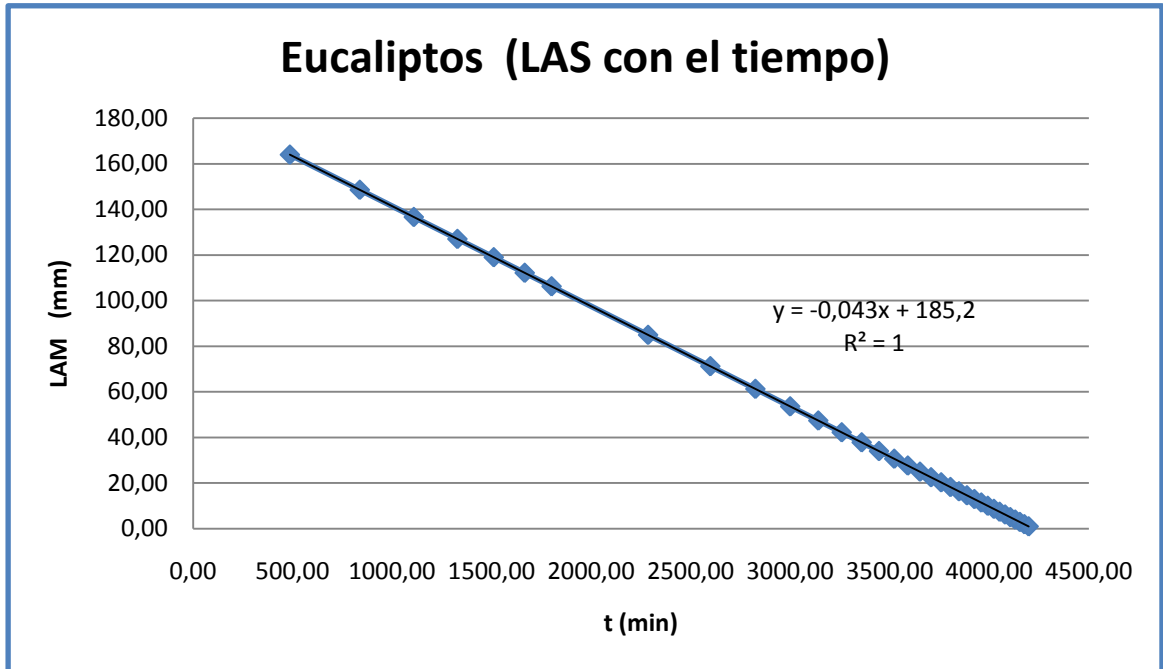


Anexo No. 4.8.5 Retención de Humedad para la Huerta

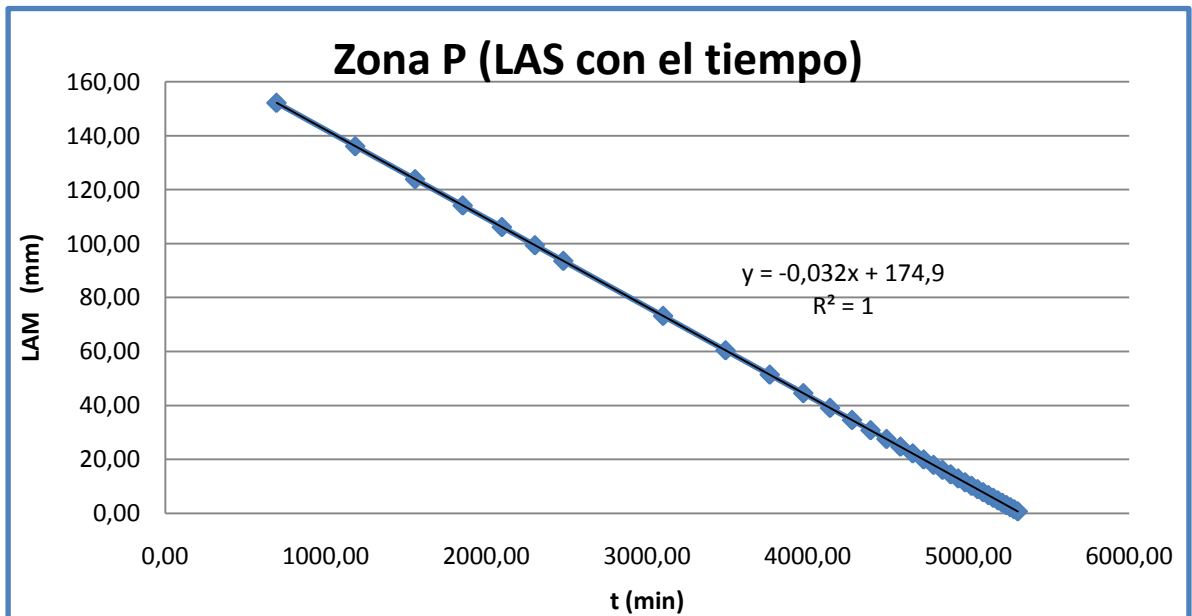


Anexo No. 4.8.6 Retención de Humedad para la Zona G

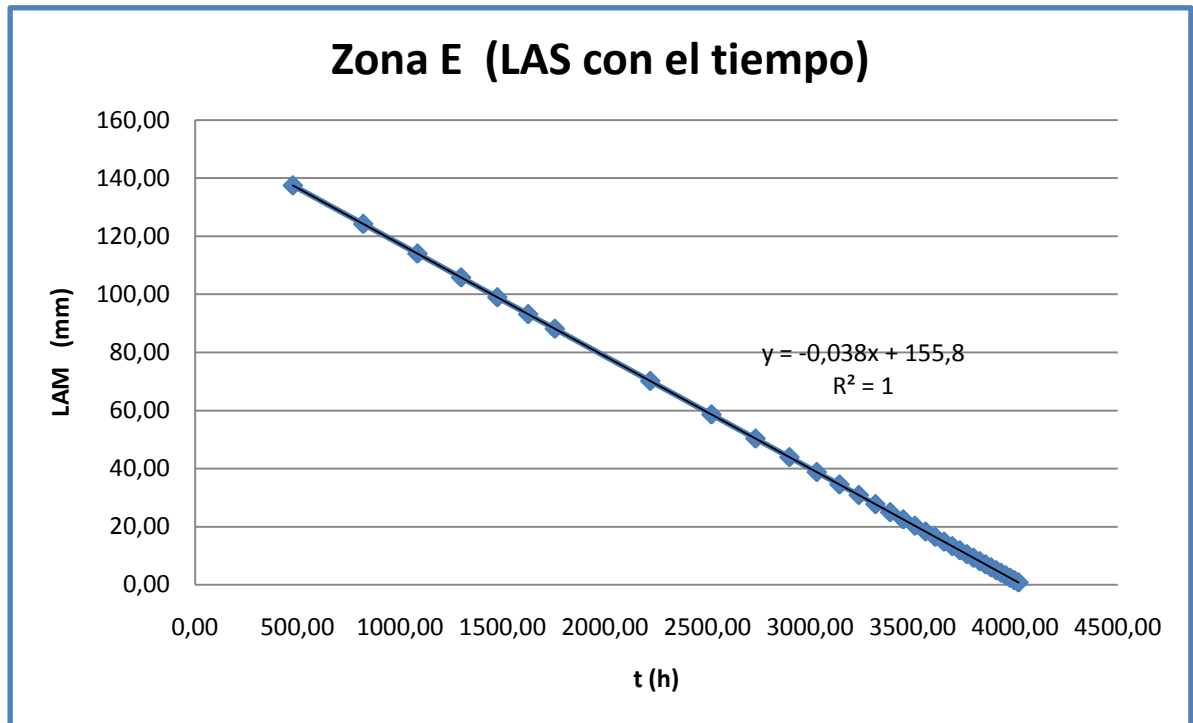
Anexo No. 4.9 Graficas derivadas de Plan de Riego por curvas de Retención de Humedad



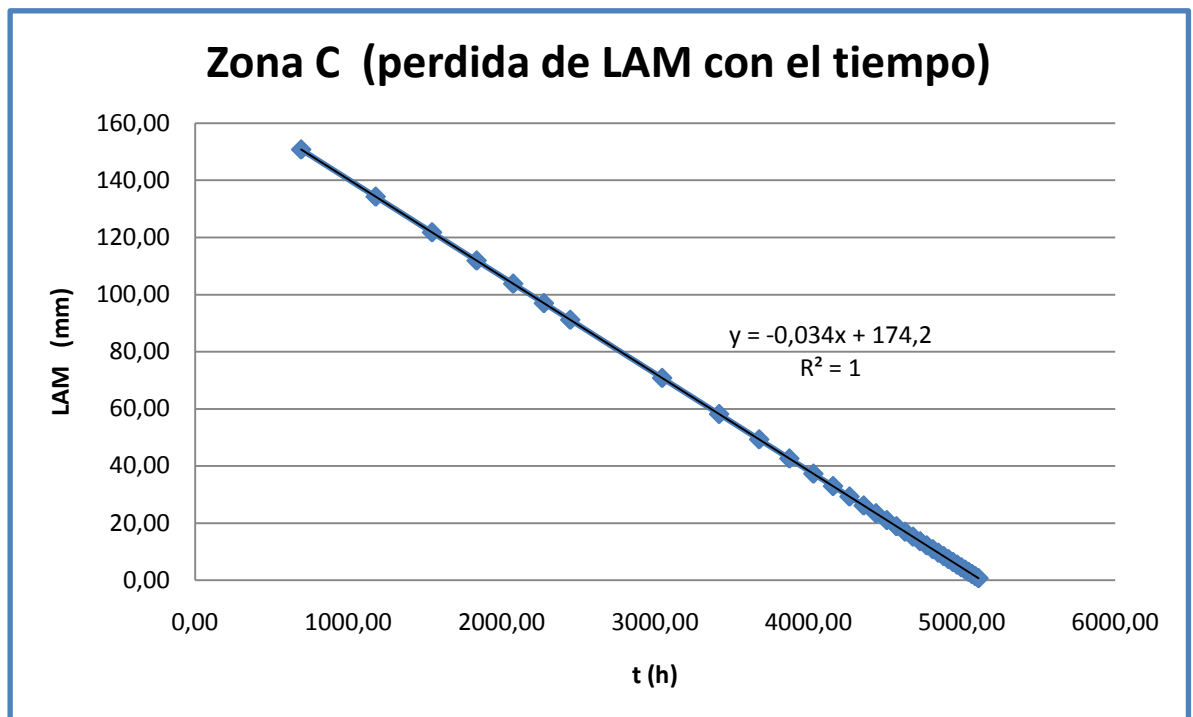
Anexo No. 4.9.1 LAS con el tiempo para la Huerta



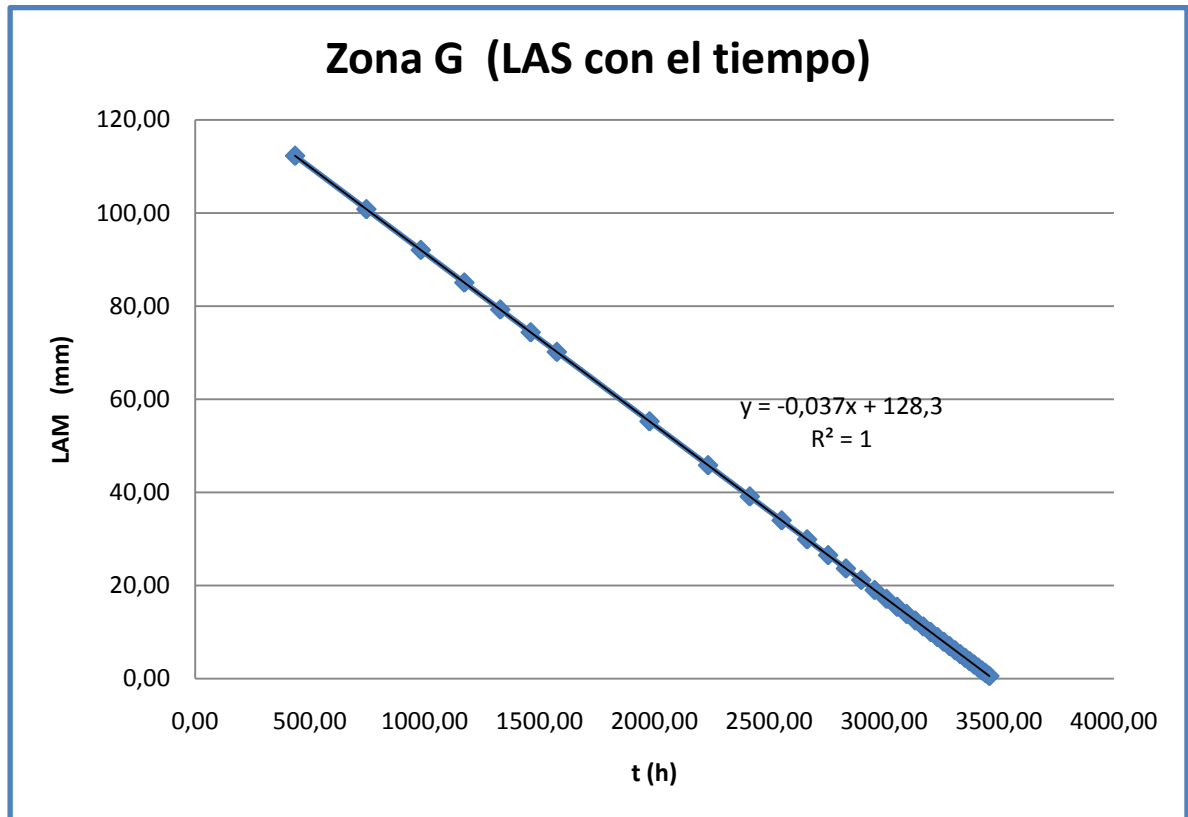
Anexo No. 4.9.2 LAS con el tiempo para la Zona P



Anexo No. 4.9.3 LAS con el tiempo para la Zona E



Anexo No. 4.9.4 LAS con el tiempo para la Zona C



Anexo No. 4.9.5 LAS con el tiempo para la Zona G

Con las tablas mostradas a continuación se puede relacionar parámetros de cada zona entre sí, teniendo un solo parámetros se podrán conocer los demás, así si se conoce el porcentaje de humedad, se puede conocer la presión, LAS, TR y TTR da la zona para esa humedad, y así se podrá hacer con cualquier parámetro que se presente en las tablas que a continuación se dan.

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO

Anexo No. 4.9.6 Condiciones para la Zona Eucaliptos

Para Zona Eucaliptos				
P (CBAR)	% H	LAS (mm)	TR	TTR
10	45.64	98.82	0.00	0.00
20	37.77	87.45	4.13	46.47
30	33.81	79.22	7.12	80.08
40	31.26	72.86	9.43	106.06
50	29.41	67.73	11.29	127.05
60	27.98	63.45	12.85	144.52
70	26.83	59.80	14.17	159.41
80	25.87	56.64	15.32	172.34
90	25.05	45.28	19.44	218.74
100	24.34	37.95	22.11	248.69
150	21.79	32.65	24.03	270.35
200	20.14	28.55	25.52	287.10
250	18.95	25.24	26.72	300.62
300	18.03	22.49	27.72	311.88
350	17.29	20.14	28.58	321.48
400	16.67	18.10	29.32	329.81
450	16.14	16.31	29.97	337.14
500	15.69	14.71	30.55	343.66
550	15.28	13.27	31.07	349.53
600	14.92	11.97	31.54	354.85
650	14.60	10.78	31.97	359.71
700	14.31	9.69	32.37	364.17
750	14.04	8.68	32.74	368.29
800	13.80	7.74	33.08	372.12
850	13.57	6.87	33.39	375.68
900	13.36	6.06	33.69	379.01
950	13.16	5.29	33.97	382.14
1000	12.98	4.57	34.23	385.08
1050	12.81	3.89	34.48	387.85
1100	12.65	3.25	34.71	390.48
1150	12.50	2.64	34.93	392.97
1200	12.35	2.06	35.14	395.34
1250	12.21	1.51	35.34	397.59
1300	12.08	0.98	35.53	399.74
1350	11.96	0.48	35.72	401.79
1400	11.84	0.00	35.89	403.76

Anexo No. 4.9.7 Condiciones para la Zona P

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO

Para Zona P				
P (CBAR)	% H	LAS (mm)	TR	TTR
10	21.81	76.53	0.00	0.00
20	19.67	66.58	2.60	45.48
30	18.16	59.54	4.44	77.66
40	17.01	54.19	5.83	102.10
50	16.09	49.93	6.95	121.56
60	15.34	46.43	7.86	137.56
70	14.70	43.47	8.63	151.06
80	14.16	40.94	9.29	162.65
90	12.24	32.02	11.62	203.40
100	11.04	26.43	13.08	228.92
150	10.19	22.48	14.11	246.98
200	9.54	19.48	14.90	260.70
250	9.03	17.09	15.52	271.62
300	8.61	15.12	16.03	280.60
350	8.25	13.47	16.47	288.17
400	7.95	12.04	16.84	294.68
450	7.68	10.80	17.16	300.35
500	7.44	9.70	17.45	305.37
550	7.23	8.72	17.71	309.85
600	7.04	7.84	17.94	313.88
650	6.87	7.04	18.15	317.54
700	6.71	6.30	18.34	320.88
750	6.57	5.63	18.51	323.95
800	6.43	5.01	18.67	326.79
850	6.31	4.44	18.82	329.42
900	6.19	3.90	18.96	331.86
950	6.09	3.40	19.09	334.15
1000	5.99	2.93	19.22	336.29
1050	5.89	2.49	19.33	338.30
1100	5.80	2.08	19.44	340.20
1150	5.72	1.68	19.54	342.00
1200	5.64	1.31	19.64	343.69
1250	5.56	0.96	19.73	345.31
1300	5.49	0.62	19.82	346.84
1350	5.42	0.30	19.90	348.30
1400	5.36	0.00	19.98	349.69

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO

Anexo No. 4.9.8 Condiciones para la Zona E

Para Zona E				
P (CBAR)	% H	LAS (mm)	TR	TTR
10	25.79	79.77	0.00	0.00
20	23.72	70.34	2.66	36.58
30	22.23	63.56	4.58	62.92
40	21.08	58.33	6.05	83.21
50	20.16	54.12	7.24	99.54
60	19.39	50.63	8.23	113.11
70	18.74	47.65	9.07	124.65
80	18.17	45.08	9.79	134.64
90	16.15	35.88	12.39	170.35
100	14.85	29.98	14.06	193.26
150	13.92	25.73	15.25	209.75
200	13.20	22.46	16.18	222.45
250	12.62	19.82	16.92	232.67
300	12.14	17.63	17.54	241.17
350	11.73	15.77	18.06	248.39
400	11.38	14.16	18.52	254.64
450	11.06	12.75	18.92	260.14
500	10.79	11.49	19.27	265.03
550	10.54	10.36	19.59	269.41
600	10.31	9.33	19.88	273.38
650	10.11	8.40	20.15	277.00
700	9.92	7.55	20.39	280.33
750	9.75	6.76	20.61	283.39
800	9.59	6.03	20.82	286.23
850	9.44	5.34	21.01	288.87
900	9.30	4.71	21.19	291.34
950	9.17	4.11	21.36	293.66
1000	9.04	3.55	21.52	295.83
1050	8.93	3.02	21.66	297.89
1100	8.82	2.52	21.81	299.83
1150	8.71	2.05	21.94	301.66
1200	8.61	1.60	22.07	303.41
1250	8.52	1.17	22.19	305.07
1300	8.43	0.76	22.30	306.66
1350	8.34	0.37	22.41	308.17
1400	8.26	0.00	22.52	309.62

Anexo No. 4.9.9 Condiciones para la Zona C

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE
LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE
OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO**

Para Zona C				
P (CBAR)	% H	LAS (mm)	TR	TTR
10	21.51	71.65	0.00	0.00
20	19.25	61.98	2.62	42.66
30	17.66	55.19	4.47	72.63
40	16.46	50.06	5.86	95.27
50	15.51	45.99	6.97	113.21
60	14.73	42.66	7.87	127.91
70	14.08	39.86	8.63	140.27
80	13.52	37.47	9.28	150.85
90	11.56	29.09	11.56	187.79
100	10.34	23.90	12.97	210.71
150	9.49	20.25	13.96	226.82
200	8.84	17.50	14.71	238.98
250	8.33	15.31	15.30	248.62
300	7.92	13.52	15.79	256.52
350	7.56	12.02	16.19	263.16
400	7.26	10.73	16.54	268.84
450	7.00	9.61	16.85	273.79
500	6.77	8.62	17.12	278.15
550	6.56	7.74	17.36	282.04
600	6.38	6.95	17.57	285.53
650	6.21	6.23	17.77	288.69
700	6.06	5.58	17.94	291.57
750	5.92	4.98	18.11	294.22
800	5.79	4.43	18.26	296.65
850	5.67	3.92	18.39	298.91
900	5.56	3.44	18.52	301.01
950	5.45	3.00	18.64	302.96
1000	5.36	2.58	18.76	304.79
1050	5.27	2.19	18.86	306.51
1100	5.18	1.83	18.96	308.13
1150	5.10	1.48	19.06	309.66
1200	5.02	1.15	19.14	311.10
1250	4.95	0.84	19.23	312.47
1300	4.88	0.55	19.31	313.77
1350	4.81	0.27	19.39	315.01
1400	4.75	0.00	19.46	316.19

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO

Anexo No. 4.9.10 Condiciones para la Zona Huerta

Para Zona Huerta				
P (CBAR)	% H	LAS (mm)	TR	TTR
10	33.17	78.65	0.00	0.00
20	30.94	70.01	1.21	1.21
30	29.31	63.71	2.10	2.10
40	28.05	58.81	2.79	2.79
50	27.02	54.83	3.34	3.34
60	26.16	51.50	3.81	3.81
70	25.42	48.65	4.21	4.21
80	24.78	46.17	4.56	4.56
90	22.47	37.19	5.82	5.82
100	20.96	31.34	6.64	6.64
150	19.86	27.07	7.24	7.24
200	19.00	23.75	7.71	7.71
250	18.30	21.05	8.08	8.08
300	17.72	18.80	8.40	8.40
350	17.22	16.87	8.67	8.67
400	16.79	15.19	8.91	8.91
450	16.41	13.70	9.12	9.12
500	16.06	12.38	9.30	9.30
550	15.76	11.19	9.47	9.47
600	15.48	10.10	9.62	9.62
650	15.22	9.11	9.76	9.76
700	14.98	8.19	9.89	9.89
750	14.77	7.35	10.01	10.01
800	14.56	6.56	10.12	10.12
850	14.37	5.83	10.22	10.22
900	14.20	5.14	10.32	10.32
950	14.03	4.50	10.41	10.41
1000	13.87	3.89	10.49	10.49
1050	13.72	3.31	10.57	10.57
1100	13.58	2.77	10.65	10.65
1150	13.45	2.25	10.72	10.72
1200	13.32	1.76	10.79	10.79
1250	13.20	1.29	10.86	10.86
1300	13.09	0.84	10.92	10.92
1350	12.98	0.41	10.98	10.98
1400	12.87	0.00	11.04	11.04

Anexo No. 4.9.11 Condiciones para la Zona G

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO

Para Zona G				
P (CBAR)	% H	LAS (mm)	TR	TTR
10	19.38	59.64	0.00	0.00
20	17.61	52.15	2.02	30.35
30	16.35	46.83	3.46	51.97
40	15.39	42.76	4.57	68.48
50	14.62	39.50	5.45	81.68
60	13.98	36.82	6.17	92.58
70	13.44	34.54	6.79	101.79
80	12.98	32.59	7.32	109.74
90	11.34	25.66	9.19	137.84
100	10.31	21.28	10.37	155.60
150	9.57	18.16	11.22	168.25
200	9.00	15.78	11.86	177.91
250	8.55	13.88	12.38	185.63
300	8.18	12.31	12.80	192.01
350	7.87	10.98	13.16	197.40
400	7.60	9.83	13.47	202.05
450	7.36	8.83	13.74	206.12
500	7.15	7.94	13.98	209.72
550	6.96	7.15	14.20	212.94
600	6.79	6.43	14.39	215.85
650	6.64	5.78	14.57	218.50
700	6.50	5.18	14.73	220.91
750	6.37	4.63	14.88	223.14
800	6.25	4.13	15.01	225.20
850	6.13	3.66	15.14	227.11
900	6.03	3.22	15.26	228.89
950	5.93	2.81	15.37	230.55
1000	5.84	2.42	15.47	232.11
1050	5.76	2.06	15.57	233.59
1100	5.67	1.72	15.66	234.97
1150	5.60	1.39	15.75	236.29
1200	5.53	1.09	15.84	237.53
1250	5.46	0.79	15.91	238.72
1300	5.39	0.52	15.99	239.84
1350	5.33	0.25	16.06	240.91
1400	5.27	0.00	16.13	241.94

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO

Anexo No. 5 Tablas Utilizadas en el Diseño

Tabla 9
Relaciones hidráulicas para conductos circulares (n_1/n variable)

Q/Q_0	ReL	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	V/V_0	0.000	0.292	0.362	0.400	0.427	0.453	0.473	0.492	0.505	0.520
	d/D	0.000	0.092	0.124	0.148	0.165	0.182	0.196	0.210	0.220	0.232
	R/R_0	0.000	0.239	0.315	0.370	0.410	0.449	0.481	0.510	0.530	0.554
0.1	V/V_0	0.540	0.553	0.570	0.580	0.590	0.600	0.613	0.624	0.634	0.645
	d/D	0.248	0.258	0.270	0.280	0.289	0.298	0.308	0.315	0.323	0.334
	R/R_0	0.586	0.606	0.630	0.650	0.668	0.686	0.704	0.716	0.729	0.748
0.2	V/V_0	0.656	0.664	0.672	0.680	0.687	0.695	0.700	0.706	0.713	0.720
	d/D	0.346	0.353	0.362	0.370	0.379	0.386	0.393	0.400	0.409	0.417
	R/R_0	0.768	0.780	0.795	0.809	0.824	0.836	0.848	0.860	0.874	0.886
0.3	V/V_0	0.729	0.732	0.740	0.750	0.755	0.760	0.768	0.776	0.781	0.787
	d/D	0.424	0.431	0.439	0.447	0.452	0.460	0.468	0.476	0.482	0.488
	R/R_0	0.896	0.907	0.919	0.931	0.938	0.950	0.962	0.974	0.983	0.992
0.4	V/V_0	0.796	0.802	0.806	0.810	0.816	0.822	0.830	0.834	0.840	0.845
	d/D	0.498	0.504	0.510	0.516	0.523	0.530	0.536	0.542	0.550	0.557
	R/R_0	1.007	1.014	1.021	1.028	1.035	1.043	1.050	1.056	1.065	1.073
0.5	V/V_0	0.850	0.855	0.860	0.865	0.870	0.875	0.880	0.885	0.890	0.895
	d/D	0.563	0.570	0.576	0.582	0.588	0.594	0.601	0.608	0.615	0.620
	R/R_0	1.079	1.087	1.094	1.100	1.107	1.113	1.121	1.125	1.129	1.132
0.6	V/V_0	0.900	0.903	0.908	0.913	0.918	0.922	0.927	0.931	0.936	0.941
	d/D	0.626	0.632	0.639	0.645	0.651	0.658	0.666	0.672	0.678	0.686
	R/R_0	0.136	1.139	1.143	1.147	1.151	1.155	1.160	1.163	1.167	1.172
0.7	V/V_0	0.945	0.951	0.955	0.958	0.961	0.965	0.969	0.972	0.975	0.980
	d/D	0.692	0.699	0.705	0.710	0.719	0.724	0.732	0.738	0.743	0.750
	R/R_0	1.175	1.179	1.182	1.184	1.188	1.190	1.193	1.195	1.197	1.200
0.8	V/V_0	0.984	0.987	0.990	0.993	0.997	1.001	1.005	1.007	1.011	1.015
	d/D	0.756	0.763	0.770	0.778	0.785	0.791	0.798	0.804	0.813	0.820
	R/R_0	1.202	1.205	1.208	1.211	1.214	1.216	1.219	1.219	1.215	1.214
0.9	V/V_0	1.018	1.021	1.024	1.027	1.030	1.033	1.036	1.038	1.039	1.040
	d/D	0.826	0.835	0.843	0.852	0.860	0.868	0.876	0.884	0.892	0.900
	R/R_0	1.212	1.210	1.207	1.204	1.202	1.200	1.197	1.195	1.192	1.190
1.0	V/V_0	1.041	1.042	1.042	1.042						
	d/D	0.914	0.920	0.931	0.942						
	R/R_0	1.172	1.164	1.150	1.136						

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO A PRESION SEMIMOVIL Y DETERMINACION DE
LAS CURVAS CARACTERISTICAS DE HUMEDAD COMO HERRAMIENTA DE
OPTIMIZACION Y DETERMINACION DEL TIEMPO DE RIEGO**

Tabla 9.1

Clasificación del material en suspensión, según su tamaño

Material	Diámetro (mm)	Material	Diámetro (mm)
Gravilla:		Fango:	
Gruesa	2.0	Grueso y medio	0.05 – 0.01
Fina	2.00 – 1.00	Fino	0.01 – 0.005
Arena:		Arcilla	
Gruesa	1.00 – 0.50	Gruesa y media	0.005 – 0.001
Media	0.50 – 0.25	Fina	0.001 – 0.0001
Fina	0.25 – 0.10	Coloidal	< 0.0001
Muy fina	0.10 – 0.05		

Tabla 9.2

Viscosidad cinemática del agua

Temperatura (°C)	Viscosidad cinemática (cm ² /s)	Temperatura (°C)	Viscosidad cinemática (cm ² /s)
0	0.01792	18	0.01059
2	0.01763	20	0.01007
4	0.01567	22	0.00960
6	0.01473	24	0.00917
8	0.01386	26	0.00876
10	0.01308	28	0.00839
12	0.01237	30	0.00804
14	0.01172	32	0.00772
15	0.01146	34	0.00741
16	0.01112	36	0.00713

Tabla 9.3

Número de Hazen (Vs/Vo)

Condiciones	% Remoción							
	87,5	80	75	70	65	60	55	50
n=1	7	4	3	2.3	1.8	1.5	1.3	1
n=3	2.75		1.66					0.76
n=4	2.37		1.52					0.73
máximo	0.88		0.75					0.50

PLANOS
