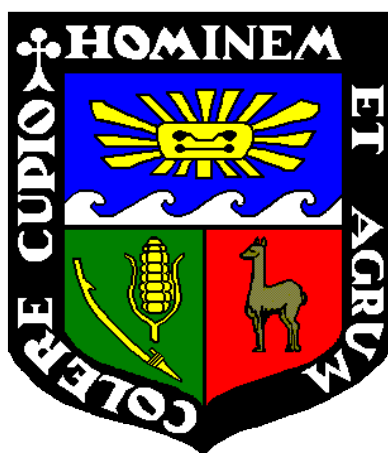


**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA**



“REQUERIMIENTO DE AGUA PARA EL CÉSPED AMERICANO
(*Stenotaphrum secundatum*) EMPLEANDO RIEGO POR GOTEO
SUBTERRÁNEO, DURANTE EL OTOÑO EN LA UNALM”

Presentado por:

ASTRID TERESA CAROLINA CIFUENTES MEZA

TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE:
INGENIERO AGRÍCOLA

Lima – Perú

2016

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA

**“REQUERIMIENTO DE AGUA PARA EL CÉSPED AMERICANO
(*Stenotaphrum secundatum*) EMPLEANDO RIEGO POR GOTEOS
SUBTERRÁNEO, DURANTE EL OTOÑO EN LA UNALM”**

TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE:

INGENIERO AGRICOLA

Presentado por:

BACH. ASTRID TERESA CAROLINA CIFUENTES MEZA

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

DRA. LÍA RAMOS FERNÁNDEZ.
PRESIDENTE

M.SC. DAVID ASCENCIOS TEMPLO
ASESOR

ING. ANTONIO ENCISO GUTIERREZ
MIEMBRO

ING. JOSÉ PALACIOS VALLEJO
MIEMBRO

DR. NÉSTOR MONTALVO ARQUÍÑIGO
CO-ASESOR

LIMA – PERU

2016

DEDICATORIA

A Jehová Dios por haberme dado la vida y por permitirme cumplir mis metas.

A mis bisabuelos Francisco y Otilia por su inmenso amor hacia mí, quienes ya no estuvieron presentes para ver este momento.

Dedico todos mis años de estudio, los días y las noches sin descanso y mi bastión llamado perseverancia a la persona que más amo en esta tierra, a la persona que me impulsa a creer, a crecer y a superarme cada día, a la persona que me conoce desde el primer aliento, mi mamá: Gloria Esther Meza Trigozo, la que me ha brindado absolutamente todo lo que una hija pueda desear y más, el más grande amor que he conocido, la confianza y el apoyo incondicional que han sido tan importantes para mí y por los que la vida no me basta para retribuirle, así como por todo lo que dio por mí y por mi formación tanto académica como espiritual, ella es mi motivo de ser más que mejor.

AGRADECIMIENTO

La presente investigación se desarrolló gracias al financiamiento otorgado por el Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Nacional Agraria La Molina, mediante el concurso de Investigación: Innovación tecnológica UNALM 2015, el cual benefició al proyecto: “Requerimiento de agua para el césped americano (*Stenotaphrum secundatum*) empleando riego por goteo subterráneo, en la UNALM”.

A la Universidad Nacional Agraria La Molina, a la Facultad de Ingeniería Agrícola y a los profesores por la formación ética y profesional impartida a lo largo de la carrera.

Mis agradecimientos al Ing. David Ascencios, asesor de tesis, por su guía, transferencia de conocimientos y por su particular tenacidad en pro de la calidad de la investigación a lo largo de realización de esta tesis.

Un especial agradecimiento al Ing. José Palacios por compartir su experiencia y sus conocimientos, los cuales han sido parte fundamental en la articulación de esta investigación multidisciplinaria.

Agradezco a mi papá Carlos Bayro, por su interés en que estudiara en la UNALM y por el apoyo emocional, pedagógico y económico que hicieron posibles mis estudios universitarios.

Agradezco en particular a Jesús Padilla, un compañero que la vida me permitió conocer y que desde entonces ha sido mi complemento, mi cómplice, la fuerza de impulso en los trabajos difíciles y en la búsqueda de nuevos retos, fuerza solo comparable a la energía plasmada en la alegría y en la felicidad que dio a mis días en esta hermosa etapa llamada Universidad.

A los técnicos Alan Santibáñez y Luis Leyva por su aporte práctico y por su apoyo durante todo el proyecto.

INDICE

I. RESUMEN	1
II. INTRODUCCIÓN	2
2.1 Objetivo principal	5
2.2 Objetivos específicos	5
III. REVISIÓN DE LITERATURA	7
3.1 Cultivo	7
3.1.1 Césped americano	7
3.2 Riego	7
3.2.1 Dosis de riego	7
3.3 Evapotranspiración	7
3.3.1 Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o)	8
3.3.2 Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ET_c)	8
3.3.3 Coeficiente del cultivo (K_c)	9
3.3.4 Coeficiente de estrés hídrico (K_s)	9
3.4 Medición de evapotranspiración	10
3.4.1 Datos meteorológicos	10
3.4.2 Tanque evaporímetro	11
3.5 Humedad del suelo	12
3.6 Medición de la humedad del suelo	13
3.6.1 Método gravimétrico	14
3.6.2 Reflectometría en el dominio de la frecuencia (FDR)	14
3.6.3 Reflectometría en el dominio del tiempo (TDR)	16
3.7 Sistemas de riego	16
3.7.1 Riego localizado	17
A. Riego por goteo subterráneo (RGS)	17
3.8 Componentes de los sistemas de riego por goteo subterráneo	19
3.8.1 Bomba	20
3.8.2 Sistema de filtrado	21
3.8.3 Manómetros	21
3.8.4 Válvula de regulación	22
3.8.5 Medidor de caudal	22
3.8.6 Válvulas de zona	22

3.8.7 Válvulas de aire y de liberación de vacío	23
3.8.8 Líneas de purga	23
3.8.9 Arco de riego	23
3.8.10 Líneas de goteros.....	23
3.9 Eficiencia en el uso del agua (EUA)	24
3.10 Proceso de análisis jerárquico (PAJ)	24
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	26
4.1 Características generales del área experimental	26
4.1.1 Ubicación del área de estudio	26
4.1.2 Características climáticas.....	26
4.1.3 Características del suelo	27
4.1.4 Características del agua	28
4.2 Materiales, equipos e insumos	29
4.3 Métodos	31
4.3.1 Diseño experimental	31
A. Tratamientos.....	31
B. Repeticiones	31
C. Unidad experimental.....	31
D. Esquema del análisis de varianza (ADEVA).....	32
F. Prueba de significación	32
4.3.2 Variables y métodos de evaluación.....	32
A. Variables cuantitativas	32
B. Variables cualitativas	33
C. Proceso de análisis jerárquico.....	35
4.3.3 Diseño del sistema de riego por goteo subterráneo.....	36
4.3.4 Instalación del sistema de riego por goteo subterráneo	36
A. Fuente de agua.....	37
B. Preparación del terreno	37
C. Delimitación y rotulado de las unidades experimentales.....	37
D. Excavación de zanjas e instalación de tuberías	37
E. Instalación de arcos y laterales de riego	38
F. Cabezal de riego.....	38
4.3.5 Siembra de césped.....	39
4.3.6 Instalación de equipos	39

A. Instalación del tanque evaporímetro	39
B. Instalación de los sensores de humedad	39
C. Instalación de la estación meteorológica	40
4.3.7 Manejo del cultivo y procedimientos operacionales	40
A. Análisis químico del suelo	41
B. Análisis químico del agua de riego	41
C. Control de malezas	41
D. Riego	41
E. Poda del césped	41
F. Toma de muestras	42
G. Toma de datos	42
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	44
5.1 Análisis de agua	44
5.1.1 Características químicas	44
5.1.2 Características microbiológicas.....	44
5.2 Análisis de suelo	45
5.2.1 Características físicas	45
5.2.2 Características químicas	45
5.3 Condiciones climáticas durante la investigación	48
5.4 Evapotranspiración de referencia	49
5.5 Láminas de riego.....	51
5.6 Contenido de humedad del suelo.....	53
5.7 Peso de materia fresca	55
5.7.1 Comprobación de los supuestos.....	58
5.7.2 Prueba de Tukey	59
5.8 Peso de materia seca	62
5.8.1 Comprobación de los supuestos.....	64
5.8.2 Prueba de Tukey	65
5.9 Eficiencia en el uso del agua	68
5.10 Evaluación cualitativa del césped.....	69
5.10.1 Color.....	69
5.10.2 Capacidad de recuperación al pisoteo	72
5.10.3 Uniformidad	76
5.11 Selección de la mejor alternativa	77

V. CONCLUSIONES	80
6.1 Diseñar e instalar un sistema de riego por goteo subterráneo	80
6.2 Evaluar cualitativa y cuantitativamente el césped según los tratamientos de riego a desarrollarse	80
6.3 Obtener el coeficiente de riego que permita un adecuado desarrollo del césped americano (<i>Stenotaphrum secundatum</i>)	81
VI. RECOMENDACIONES	82
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ventajas y desventajas del riego por goteo subterráneo	18
Tabla 2: Registro climatológico de La Molina 2000-2010	27
Tabla 3: Análisis de Suelo	28
Tabla 4: Análisis químico del agua	29
Tabla 5: Descripción y códigos de los tratamientos	31
Tabla 6: Esquema del ADEVA	32
Tabla 7: Criterio de Color	33
Tabla 8: Criterio de capacidad de recuperación al pisoteo	34
Tabla 9: Criterio de Uniformidad	35
Tabla 10: Rangos Proceso Analítico Jerárquico	36
Tabla 11: Resultados del análisis microbiológico del agua de riego (15/06/2016)	45
Tabla 12: Análisis de textura del suelo realizado con muestras a profundidad entre 0-15 cm (26/07/2016)	45
Tabla 13: Niveles de salinidad del suelo en la parte final de la investigación	47
Tabla 14: Análisis de varianza para la conductividad eléctrica	47
Tabla 15: Prueba de Tukey de la conductividad eléctrica	48
Tabla 16: Variables climatológicas durante la investigación	49
Tabla 17: Evapotranspiración de referencia a nivel mensual obtenida del tanque evaporímetro Clase A	51
Tabla 18: Láminas aplicadas acumuladas de abril a julio	51
Tabla 19: Láminas teóricas acumuladas de abril a julio	52
Tabla 20: Láminas de lavado del suelo	52
Tabla 21: Análisis de varianza del peso fresco en la primera poda	57
Tabla 22: Prueba de Tukey del peso fresco en la primera poda	59
Tabla 23: Resumen del análisis estadístico, variable peso fresco	60
Tabla 24: Sumatoria de pesos frescos	61
Tabla 25: Análisis de varianza de la sumatoria del peso fresco	61
Tabla 26: Prueba de Tukey de la sumatoria del peso fresco	61

Tabla 27: Análisis de varianza del peso seco en la primera poda	63
Tabla 28: Prueba de Tukey del peso seco en la primera poda	65
Tabla 29: Resumen del análisis estadístico, variable peso seco	66
Tabla 30: Sumatoria de pesos secos	67
Tabla 31: Análisis de varianza de la sumatoria del peso seco	67
Tabla 32: Prueba de Tukey de la sumatoria del peso seco	67
Tabla 33: Eficiencia en el uso del agua para el césped	69
Tabla 34: Evaluaciones del criterio de color	70
Tabla 35: Capacidad de recuperación al pisoteo resumen	73
Tabla 36: Criterio uniformidad resumen	77
Tabla 37: Resultado del modelo proceso analítico jerárquico	78
Tabla 38: Resumen de pesos frescos	108
Tabla 39: Análisis de varianza del peso fresco en la segunda poda	108
Tabla 40: Prueba de Tukey del peso fresco en la segunda poda	110
Tabla 41: Análisis de varianza del peso fresco en la tercera poda	111
Tabla 42: Prueba de Tukey del peso fresco en la tercera poda	112
Tabla 43: Análisis de varianza del peso fresco en la cuarta poda	113
Tabla 44: Prueba de Tukey del peso fresco en la cuarta poda	115
Tabla 45: Análisis de varianza del peso fresco en la quinta poda	116
Tabla 46: Prueba de Tukey del peso fresco en la quinta poda	117
Tabla 47: Análisis de varianza del peso fresco en la sexta poda	118
Tabla 48: Prueba de Tukey del peso fresco en la sexta poda	120
Tabla 49: Resumen de pesos secos	121
Tabla 50: Análisis de varianza del peso seco en la segunda poda	121
Tabla 51: Prueba de Tukey del peso seco en la segunda poda	123
Tabla 52: Análisis de varianza del peso seco en la tercera poda	123
Tabla 53: Prueba de Tukey del peso seco en la tercera poda	125
Tabla 54: Análisis de varianza del peso seco en la cuarta poda	126
Tabla 55: Prueba de Tukey de los pesos secos en la cuarta poda	128
Tabla 56: Análisis de varianza del peso seco en la quinta poda	129
Tabla 57: Prueba de Tukey del peso seco en la quinta poda	130
Tabla 58: Análisis de varianza del peso seco en la sexta poda	131
Tabla 59: Prueba de Tukey del peso seco en la sexta poda	133

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estación meteorológica automática Davis vantage pro 2, instalada en el laboratorio de recursos hídricos.....	11
Figura 2: Dimensión del tanque evaporímetro Clase A.....	12
Figura 3: Contenido de humedad del suelo en m³/m³ según textura del suelo	13
Figura 4: Sensor de humedad GS1 Decagon, rango de 0-57% del contenido volumétrico.....	16
Figura 5: Componentes de un sistema de riego por goteo subterráneo.	20
Figura 6: Ubicación geográfica del área destinada a las parcelas experimentales.....	26
Figura 7: Relación entre láminas de riego aplicadas y conductividad eléctrica del extracto de saturación (07/07/2016)	47
Figura 8: Análisis de medias para la conductividad eléctrica.....	48
Figura 9: Variación temporal de la evapotranspiración durante el periodo de estudio.....	50
Figura 10: Láminas de riego.....	53
Figura 11: Contenido de humedad en el tratamiento T1.....	54
Figura 12: Contenido de humedad en el tratamiento T4.....	55
Figura 13: Corte quincenal de césped: Peso fresco	57
Figura 14: Prueba Shapiro – Wilks del peso fresco en la primera poda.....	58
Figura 15: Prueba de homogeneidad de varianzas del peso fresco en la primera poda.....	58
Figura 16: Análisis de medias de los pesos frescos en la primera poda.....	59
Figura 17: Análisis de medias de la sumatoria del peso fresco	62
Figura 18: Corte de césped: Peso seco	63
Figura 19: Prueba Shapiro – Wilks del peso seco en la primera poda.....	64
Figura 20: Prueba de homogeneidad de varianzas del peso seco en la primera poda	64
Figura 21: Análisis de medias de los pesos secos en la primera poda.....	65
Figura 22: Análisis de medias de la sumatoria del peso fresco	68
Figura 23: Color del césped en el tratamiento T1	70

Figura 24: Color del césped en el tratamiento T2	71
Figura 25: Color del césped en el tratamiento T3	71

Figura 26: Color del césped en el tratamiento T4	72
Figura 27: Tratamiento T1 Antes de ser sometido a una carga.....	73
Figura 28: Tratamiento T1 siendo sometido a una carga.....	74
Figura 29: Tratamiento T1 después de ser sometido a una carga	74
Figura 30: Tratamiento T4 antes de ser sometido a una carga.....	75
Figura 31: Tratamiento T4 siendo de ser sometido a una carga.....	75
Figura 32: Tratamiento T4 después de ser sometido a una carga	76
Figura 33: Especificaciones técnicas del gotero	100
Figura 34: Caudal y espaciamiento de los goteros.....	100
Figura 35: Área mojada al 100%	101
Figura 36: Esquema de diseño hidráulico del sistema de riego por goteo subterráneo en Epanet, con doce válvulas y carga disponible de 15 m.....	104
Figura 37: Caudal requerido (0.23 L/s) para la condición más crítica (doce válvulas abiertas) en el cabezal de riego.....	105
Figura 38: Pérdida de presión para la condición más crítica (doce válvulas abiertas), pérdida total: 0.2m, simulado con carga disponible de 15m	106
Figura 39: Contenido de humedad en el tratamiento T2.....	107
Figura 40: Contenido de humedad en el tratamiento T3.....	107
Figura 41: Prueba Shapiro - Wilks del peso fresco en la segunda poda	109
Figura 42: Prueba de homogeneidad de varianzas del peso fresco en la segunda poda.....	109
Figura 43: Análisis de medias de los pesos frescos en la segunda poda.....	110
Figura 44: Prueba Shapiro - Wilks del peso fresco en la tercera poda	111
Figura 45: Prueba de homogeneidad de varianzas del peso fresco en la tercera poda.....	112
Figura 46: Análisis de medias de los pesos frescos en la tercera poda	113
Figura 47: Prueba Shapiro - Wilks del peso fresco en la cuarta poda	114
Figura 48: Prueba de homogeneidad de varianzas del peso fresco en la cuarta poda.....	114
Figura 49: Análisis de medias de los pesos frescos en la cuarta poda	115
Figura 50: Prueba Shapiro - Wilks del peso fresco en la quinta poda	116
Figura 51: Prueba de homogeneidad de varianzas del peso fresco en la quinta poda.....	117
Figura 52: Análisis de medias de los pesos frescos en la quinta poda	118

Figura 53: Prueba Shapiro - Wilks del peso fresco en la sexta poda	119
Figura 54: Prueba de homogeneidad de varianzas del peso fresco en la sexta poda	119
Figura 55: Análisis de medias de los pesos frescos en la sexta poda	120
Figura 56: Prueba Shapiro - Wilks del peso seco en la segunda poda	122
Figura 57: Prueba de homogeneidad de varianzas del peso seco en la segunda poda	122
Figura 58: Análisis de medias de los pesos secos en la segunda poda	123
Figura 59: Prueba Shapiro - Wilks del peso seco en la tercera poda	124
Figura 60: Prueba de homogeneidad de varianzas del peso seco en la tercera poda	125
Figura 61: Análisis de medias de los pesos secos en la tercera poda	126
Figura 62: Prueba Shapiro - Wilks de los pesos secos en la cuarta poda	127
Figura 63: Prueba de homogeneidad de varianzas del peso seco en la cuarta poda .	127
Figura 64: Análisis de medias de los pesos secos en la cuarta poda	128
Figura 65: Prueba Shapiro - Wilks del peso seco en la quinta poda	129
Figura 66: Prueba de homogeneidad de varianzas del peso seco en la quinta poda .	130
Figura 67: Análisis de medias de los pesos secos en la quinta poda	131
Figura 68: Prueba Shapiro - Wilks del peso seco en la sexta poda	132
Figura 69: Prueba de homogeneidad de varianzas del peso seco en la sexta poda ...	132
Figura 70: Análisis de medias de los pesos secos en la sexta poda	133
Figura 71: Preparación del terreno con maquinaria pesada	142
Figura 72: Delimitación de las parcelas experimentales con cal	142
Figura 73: Excavación de zanjas e instalación de tubería principal	143
Figura 74: Excavación de zanjas para las mangueras subterráneas	143
Figura 75: Excavación de zanjas por parcelas para las mangueras subterráneas	144
Figura 76: Mangueras Rain bird para riego por goteo subterráneo	144
Figura 77: Instalación de mangueras subterráneas	145
Figura 78: Mangueras de riego por goteo subterráneo instaladas	145
Figura 79: Arcos de riego cascos de protección de válvulas volumétricas	146
Figura 80: Construcción de la losa para el tanque y de la caseta de riego	146
Figura 81: Colocación del tanque Eternit de 1100 L	147
Figura 82: Instalación eléctrica	147
Figura 83: Tablero de control eléctrico	148
Figura 84: Cabezal de riego	148
Figura 85: Canastilla de seguridad de la bomba, anclada a una losa	149

Figura 86: Sistema de alivio de presión	149
Figura 87: Esquejes de césped para la siembra	150
Figura 88: Siembra de césped por esquejes	150
Figura 89: Parcelas después de la siembra por esquejes	151
Figura 90: Instalación del apoyo del tanque evaporímetro Clase A	151
Figura 91: Llenado del tanque evaporímetro Clase A	152
Figura 92: Nivelación del pozo de estabilización	152
Figura 93: Calibración del tornillo micrométrico	153
Figura 94: Instalación de malla de protección	153
Figura 95: Instalación de caja de seguridad del Data logger	154
Figura 96: Interior del Data logger	154
Figura 97: Caja de registro sobre la caja de seguridad del Data logger	155
Figura 98: Instalación de los sensores de humedad	155
Figura 99: Zanjas para los cables de los sensores	156
Figura 100: Armado de la estación meteorológica Davis	156
Figura 101: Poste soldado de soporte para la estación	157
Figura 102: Ajustes finales de la estación	157
Figura 103: Estación meteorológica Davis instalada	158
Figura 104: Rotulado de las parcelas	158
Figura 105: Cobertura total del césped 56 días después de la siembra	159
Figura 106: Primera poda del césped	159
Figura 107: Estado del césped después de la primera poda	160
Figura 108: Profundidad de instalación de las mangueras subterráneas	160
Figura 109: Piedras encontradas en las parcelas	161
Figura 110: Muestras de césped tomadas después de la poda	161
Figura 111: Muestra de césped deshidratado	162
Figura 112: Control de malezas	162
Figura 113: Descarga de datos de contenido de humedad	163
Figura 114: Control de válvulas volumétricas	163
Figura 115: Válvulas volumétricas	164
Figura 116: Toma de muestras de agua	164
Figura 117: Limpieza de filtros	165
Figura 118: Agua del purgado de las mangueras subterráneas	165
Figura 119: Vista general de las parcelas después de la primera poda	166

Figura 120: Vista general de las parcelas después de la sexta poda 166

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1 ANÁLISIS INICIAL DE SUELO.....	90
ANEXO 2 ANÁLISIS FINAL DE SUELO.....	92
ANEXO 3 ANÁLISIS INICIAL DE AGUA.....	93
ANEXO 4 ANÁLISIS FINAL DE AGUA.....	94
ANEXO 5 DISPOSICIÓN EN CAMPO DE LAS UNIDADES EXPERIMENTALES	98
ANEXO 6 DISEÑO DEL SISTEMA.....	99
ANEXO 7 CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO.....	107
ANEXO 8 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	108
ANEXO 9 MANUAL DE OPERACIÓN: SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO SUBTERRÁNEO.....	134
ANEXO 10 FOTOGRAFÍAS TOMADAS DURANTE EL PERIODO DE LA INVESTIGACIÓN.....	141

INDICE DE PLANOS

PLANO N 1 ESQUEMA Y COMPONENTES DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO
SUBTERRÁNEO – LÁMINA N°1

PLANO N 2 ESQUEMA Y COMPONENTES DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO
SUBTERRÁNEO – LÁMINA N°2

PLANO N 3 ESQUEMA Y COMPONENTES DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO
SUBTERRÁNEO – LÁMINA N°3

PLANO N 4 DETALLES DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO SUBTERRÁNEO –
LÁMINA N°4

I. RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo estudiar la lámina de riego más adecuada para mantener un césped de buena calidad empleando riego por goteo subterráneo, donde la evaluación se basó en fines paisajísticos así como en la economía del recurso hídrico mediante la aplicación de coeficientes de riego. El diseño experimental fue completamente al azar, compuesto por cuatro tratamientos con tres repeticiones cada uno. Los tratamientos aplicados fueron: T1- regado con una lámina de agua del 100% de la ETo; T2- regado con una lámina de agua del 80% de la ETo; T3- regado con una lámina de agua del 60% de la ETo y T4-regado con una lámina del 40% de la ETo. La evapotranspiración de referencia (ETo) fue obtenida por el método del tanque evaporímetro Clase A. El estudio se realizó en un área experimental de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria La Molina, durante los meses de enero a julio del 2016. Las muestras fueron colectadas durante los cortes quincenales del césped, de un área representativa de 0.84 m² por cada una de las repeticiones. Además, al finalizar la investigación se hizo una evaluación visual de las variables cualitativas (color, recuperación al pisoteo y uniformidad). No se observaron diferencias estadísticamente significativas en cuanto a materia fresca ni a materia seca. De igual forma las variables cualitativas de color, uniformidad y recuperación al pisoteo evaluadas no evidenciaron significativas diferencias entre los tratamientos. El coeficiente de riego para el césped americano obtenido fue de 0.4, idóneo para periodos de abril - julio y para condiciones de la UNALM.

Palabras Claves: Césped americano, Riego subterráneo, Evapotranspiración.

ABSTRACT

The aim of the following research was analyze the most appropriate irrigation depth in order to maintain a good grass quality using subsurface drip irrigation, where the criteria was based in landscape purposes as well in economy of water resource through application of irrigation coefficients. A completely randomized design with three replications and four treatments was established. The applied treatments were: T1- irrigated with an irrigation coefficient of 1.0 of ETo; T2- irrigated with an irrigation coefficient of 0.8 of ETo; T3- irrigated with an irrigation coefficient of 0.6 of ETo; T4- irrigated with an irrigation coefficient of 0.4 of ETo. The Reference evapotranspiration was based on class A pan evaporation method. This study was carried out in an experimental area supplied by Facultad de Ingeniería Agrícola at Universidad Nacional Agraria La Molina during January to July, in 2016. Samples were collected during fortnightly cutting grass from representative areas of 0.84 m² for each replication. In addition to this, it conducted a visual assessment regarding qualitative variables (color, trampling recovery and uniformity). There was not find significant statistically differences in fresh or dry matter. In the same way, qualitative variables like color, uniformity and trampling recovery evaluated do not show significant differences between treatments. The coefficient of irrigation for American Grass (*Stenotaphrum secundatum*) was 0.4 suitable for April - July periods and in the area of UNALM.

Keywords: Turf grass, subsurface drip irrigation, evapotranspiration.

II. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso imprescindible tanto para el desarrollo de la vida como para las diversas actividades socioeconómicas que se sostienen en su uso, y en especial para una ciudad en continuo crecimiento como Lima, capital del Perú (DIGESA *et al.*, 2008). Desde el punto de vista hidrológico, Lima depende de las cuencas de los ríos Rímac, Chillón y Lurín. (Eisenberg, 2013). No obstante, los ríos Rímac y Chillón presentan un régimen de escorrentía natural estacional, lo cual implica que, para satisfacer la demanda en épocas de estiaje, se debe disponer de reservorios naturales localizados en las partes altas de la sierra central. El sistema está formado por 19 lagunas y dos represas, que se dividen en los subsistemas Yuracmayo, Santa Eulalia y Marca Pomacocha (Sunass, 2010). Por otro lado, la población de la ciudad capital asciende a 9 886 647 habitantes con una tasa de crecimiento de 1.57 por ciento, este volumen poblacional representa el 31.7 por ciento de la población a nivel nacional (INEI, 2014). Ante tales aglomeraciones resulta lógico pensar en un escenario competitivo respecto de los recursos, los cuales son siempre limitados con respecto de la demanda. Lima como todas las ciudades del mundo, se evalúa bajo ciertos estándares internacionales que permiten determinar si es que presenta un desarrollo sostenible, en este caso un hábitat saludable, para ello la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda que la superficie de áreas verdes per cápita deber ser de 9 m²/hab. Las áreas verdes son espacios “mudos” puesto que se suelen apreciar solo desde el punto de vista estético sin considerar los beneficios que en realidad ofertan, como el mejoramiento de las condiciones climáticas, la regulación de la radiación solar, la reducción del nivel de partículas en suspensión en las calles, la intervención en la salud mental y física de las personas puesto que provisionan oportunidades de recreación y educativas en el aspecto ambiental, y económicamente favorecen la valoración urbana puesto que las propiedades con áreas verdes son mejor cotizadas (Inventario de áreas verdes, 2010).

Según el Observatorio ciudadano, el cual publicó el quinto informe de resultados sobre calidad de vida, realizado en el 2014, existen 3207 ha de áreas verdes públicas, de las que 2703 ha son áreas verdes implementadas (áreas con piso verde efectivo), por lo que el índice de superficie de área verde por habitante es de $3.1 \text{ m}^2/\text{hab.}$, en Lima metropolitana, sin contar las áreas verdes privadas (clubes, zoológicos, cementerios, etc.) que ascienden a 930 ha. Dicho indicador está muy por debajo del recomendado por la OMS. Por otro lado, en distritos como en La Molina la proporción de áreas verdes por habitante asciende a $10.3 \text{ m}^2/\text{hab.}$, lo que cumple con el indicador recomendado por la OMS.

Es frecuente que el cultivo con mayor extensión en las áreas verdes sea el césped, y particularmente al césped americano (*Stenotaphrum secundatum*). Un aspecto directamente relacionado al cultivo es el riego, el mismo que se efectúa de forma empírica por parte de los municipios mediante camiones cisterna o aplicando riego por gravedad, empleando el agua de los canales. Sin embargo, el riego por gravedad es el que reporta una menor eficiencia de aplicación en comparación con los sistemas de riego presurizados (Nuñez, 2015). Además, es usual en el riego asumir los valores del coeficiente del cultivo de bibliografía foránea, sin embargo, este coeficiente solo sirve de referencia puesto que cada lugar cuenta con sus propias características que hacen variar los requerimientos hídricos de cada cultivo. Esto genera muchas veces una sobreestimación en las láminas a aplicar y por lo tanto pérdida de agua.

Ante tales consideraciones se planteó la presente investigación, en la que se propuso determinar el requerimiento hídrico del césped debido a la escasa información referente al coeficiente del cultivo del césped en Lima, y específicamente en el distrito de La Molina, lugar donde se encuentra la Universidad Nacional Agraria La Molina; casa de estudios que facilitó el área experimental dentro de la cual se desarrolló la investigación. El objetivo mencionado fue materializado mediante la aplicación de una metodología práctica, se emplearon coeficientes de riego para determinar el requerimiento hídrico real del césped en función a un análisis cuantitativo y a un análisis cualitativo, ambos aspectos interdependientes en la valoración de este tipo de cultivo. Además de ello, se empleó un método moderno denominado riego por goteo subterráneo, para el cultivo de césped.

Los resultados obtenidos en la presente tesis tienen como beneficiarios a las municipalidades de los distritos de Lima, así como a aquellas personas particulares que cuenten con áreas

verdes dentro de sus propiedades, pues podrán administrar mejor el agua que tienen a su disposición, así como los recursos económicos que ello significa.

Cabe destacar, que la presente tesis se realizó como parte del Proyecto de Investigación “Requerimiento de agua para el césped americano (*Stenotaphrum secundatum*) empleando riego por goteo subterráneo, en la UNALM”, financiado por el Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Nacional Agraria La Molina, mediante el concurso de Investigación: Innovación tecnológica UNALM 2015.

2.1 Objetivo principal

- Determinar el requerimiento de agua para el césped americano (*Stenotaphrum secundatum*) empleando riego por goteo subterráneo, durante los meses de abril a julio en la UNALM.

2.2 Objetivos específicos

- Diseñar e instalar un sistema de riego por goteo subterráneo.
- Evaluar cualitativa y cuantitativamente el césped según los tratamientos de riego a desarrollarse.
- Obtener el coeficiente de riego del que permita un adecuado desarrollo del césped americano (*Stenotaphrum secundatum*).

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Cultivo

3.1.1 Césped americano

Esta especie, cuyo nombre científico es *Stenotaphrum secundatum*, consiste en una planta perenne, estolonífera y robusta que por lo general es de textura gruesa. Se estima proviene del Golfo de México, del Oeste de la India y de algunas regiones de África, sin embargo, no se tiene clara su distribución natural puesto que se encuentra ampliamente repartida en los diferentes continentes (Grass americano, 2016). Se caracteriza por su resistencia a altas temperaturas, de hecho, es una gramínea de clima cálido, aunque también presenta una buena resistencia a bajas temperaturas, a diferencia de otras especies de similares características de climas cálidos. Es un tipo de césped cuyo desarrollo es aceptable aun a condiciones donde solo se cuenta con un 50% del total de luz solar, es decir es tolerante a zonas con sombra moderada. Tolera un pH entre 6 y 8.5 puesto que bajo estas condiciones se da su crecimiento. Resiste salinidad moderada del suelo hasta niveles de salinidad cercanos a 15mmhos (Monje, 2006). Tanto parques como jardines son áreas de amplio uso de este tipo de gramado, donde los fines de uso son ornamental o funcionales, es decir cubren los requerimientos estéticos o paisajísticos, y además puede eventualmente soportar el pisoteo. (Álvarez, 2006).

3.2 Riego

El método más usado en la programación del riego es el que divulga la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), basado en la determinación de la demanda evaporativa o evapotranspiración de referencia, E_{To} y del denominado coeficiente de cultivo, K_c , que engloba las características del cultivo. (Allen *et al.*, 2006). Una de las principales dificultades de aplicación de esta metodología es el desconocimiento de los coeficientes de cultivo, su variación espacial y su gran dependencia en el estado fenológico. Por otro lado, es de gran importancia evitar dosis excesivas que puedan provocar un innecesario crecimiento vegetativo o una mayor incidencia de enfermedades. Con el propósito de conocer la dosificación adecuada del riego, es imprescindible saber cómo evoluciona el contenido de agua en el suelo y las pérdidas de agua por transpiración del cultivo. Para ello, existen diferentes métodos de medida de la humedad del suelo y cada uno plantea una serie de ventajas e inconvenientes (Buesa, 2013).

3.2.1 Dosis de riego

Es la cantidad de agua que se aplica a una extensión unitaria de cultivo en el momento de riego, donde el valor del aporte se expresa comúnmente en m^3ha^{-1} o como lámina de riego, pues este término expresa el espesor de la capa de agua con que un área de suelo resultaría abarcada por el aporte del riego (Losada, 1997). El valor de la dosis estará directamente relacionada a las necesidades hídricas del cultivo, es decir la decisión de la cantidad de agua a reponer estará en función de la evapotranspiración, humedad del suelo o de la planta.

3.3 Evapotranspiración

Es un concepto que incluye la evaporación y la transpiración, los cuales se presentan de forma simultánea e indistinta. El primer término se refiere al proceso en el que el agua líquida se convierte en vapor de agua y se retira de la superficie evaporante, mientras que la transpiración es la vaporización del agua líquida contenida en los tejidos de la planta e incluye su posterior remoción a la atmósfera; cabe destacar que las plantas pierden gran proporción de agua mediante los estomas (Allen *et al.*, 2006). Ello convierte a la evapotranspiración en uno de los parámetros meteorológicos más destacados en el

estudio de la vegetación y del consumo el agua en el medio ambiente y, además facilita el desarrollo de planes de gestión y optimización de los recursos hídricos para la adecuada dotación de agua en proyectos de índole agrícola, de arborización y de parques y jardines (Ramos, 2007).

3.3.1 Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o)

Debido a que el volumen de agua que emplean las plantas en la transpiración es superior al volumen de agua empleado para sus procesos biológicos, es decir su desarrollo y fotosíntesis, la transpiración resulta el principal proceso de consumo de agua de la planta. Adicionalmente no se puede negar la existencia de pérdidas de agua desde la superficie del suelo por la evaporación. (Calvache, citado por Herrera 2014). La evapotranspiración del cultivo de referencia es definida por la FAO como la tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, correspondiente a un cultivo hipotético de pasto, que no presenta limitaciones de agua. Este concepto expresa el poder evaporante de la atmósfera sin considerar las características del cultivo ni los factores del suelo, debido a que la copiosa reserva de agua en la superficie de evapotranspiración de referencia no se ve afectada por los factores del suelo. Es por este motivo que la ET_o solo responde a parámetros climáticos, lo cual simplifica el manejo de datos puesto que puede ser determinado por datos meteorológicos. (Allen *et al.*, 2006).

3.3.2 Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ET_c)

Es la evapotranspiración de un cultivo cualquiera que no presente enfermedades, que tenga una adecuada fertilización y que se desarrolla en parcelas amplias, estando a condiciones óptimas tanto de suelo como de agua, lo que le permite obtener la máxima producción según las condiciones climáticas de su medio circundante. (Allen *et al.*, 2006). El cálculo de este parámetro involucra despejar previamente las variables de evapotranspiración de referencia (ET_o) y de coeficiente del cultivo (K_c) (Puppo y García Petillo, 2009). Contar con un bagaje de información correcta con respecto de la ET_c posibilita la opción de un mejor manejo del agua, lo cual se puede lograr cambiando el volumen y la frecuencia del riego para cubrir las necesidades hídricas de los cultivos y para que este se

adapte a las características propias de su medio, es decir el suelo (Lazzara y Rana, 2010).

3.3.3 Coeficiente del cultivo (Kc)

Es la proporción de la evapotranspiración real del cultivo (ETc) con respecto de la Evapotranspiración de referencia (ETo), e incorpora los efectos de las características que diferencian a los cultivos del césped, al igual que la cobertura del suelo, las propiedades del dosel y la resistencia aerodinámica (Lazzara y Rana, 2010). Dicho cociente permite definir cuatro diferencias fundamentales entre un cultivo en particular y el cultivo de referencia, tales características son las siguientes: altura del cultivo, albedo de la superficie del cultivo y del suelo, resistencia del cultivo y evaporación de que ocurre en el área expuesta del suelo. (Allen *et al.*, 2006). El Kc varía con el desarrollo vegetativo, clima y sistema de riego; y se debe obtener para ubicación en particular y para cada sistema de riego (Orozco, 2011).

3.3.4 Coeficiente de estrés hídrico (Ks)

Los efectos del estrés hídrico sobre la ET del cultivo se reflejan mediante la reducción del valor del Kc (coeficiente del cultivo) debido a que es multiplicado por el Ks, el cual es un factor adimensional de reducción de la transpiración que depende de la cantidad de agua disponible en el suelo (Allen *et al.*, 2006). El coeficiente de estrés hídrico ha sido motivo de investigación en diversas zonas, donde las sequías se acentúan con el transcurrir de los años. Una metodología para la determinación del Ks emplea un gradiente de evapotranspiración que incorpora la ETc bajo condiciones estándar y cuatro niveles de reducciones simuladas de la ETc para condiciones no estándar. Las investigaciones evalúan el efecto del estrés hídrico en los rendimientos de los cultivos ya sea en toda su etapa de desarrollo o en periodos marcados. (Duarte *et al.*, 2013; Bonet *et al.*, 2014).

3.4 Medición de evapotranspiración

La FAO ha definido como métodos para determinar la evapotranspiración a los que se listan en los siguientes párrafos, sin embargo, estas metodologías han sido motivo de investigación y específicamente, de comparación para definir las metodologías viables que aporten en el manejo de la demanda de riego en los sistemas agrícolas (López y Dennett, 2005).

3.4.1 Datos meteorológicos

Se han desarrollado una serie de ecuaciones que permitan obtener la ETo a partir de datos meteorológicos debido a la complejidad que implican las mediciones directas. El método Penman – Monteith modificado por FAO se considera como el método estándar en la definición como en el cálculo de la ETo (Allen *et al.*, 2006). Las variables climáticas requeridas como entradas para la ecuación son las siguientes: Temperatura máxima (T máx.), temperatura mínima (T mín.), humedad relativa (HR%), velocidad del viento a 2 m de altura (u_2) y radiación neta (Rn) (Puppo y García Petillo, 2009). Tales variables climáticas pueden ser registradas por medio de una estación meteorológica como la que se muestra en la Figura 1, o en el caso de no contar con una estación, se pueden tomar datos históricos del lugar de interés empleando datos de estaciones vecinas (Gil *et al.*, 2009). Por otro lado, las estaciones meteorológicas cuentan con anemómetro (mide la velocidad y dirección del viento), colector de lluvia y sensores de temperatura, radiación solar, humedad, entre otros. Las diferentes variables climatológicas son registradas e incluso procesadas puesto que permiten obtener datos de evapotranspiración, para la cual emplea la ecuación Penman – Monteith (Manual de la consola Davis pro vantage 2, 2012).



Figura 1: Estación meteorológica automática Davis vantage pro 2, instalada en el laboratorio de recursos hídricos

3.4.2 Tanque evaporímetro

Una de las principales ventajas de este método es que simplifica los efectos integrados del clima a únicamente la evaporación de una superficie libre de agua (Puppo y García Petillo, 2009). Es por esta característica que el método del tanque evaporímetro es uno de los más empleados en los proyectos de riego, esto en respuesta a la usual falta de equipos necesarios para obtener los datos meteorológicos, debido a la complejidad de su mantenimiento o por el alto costo que implica, necesarios para el modelo Penman – Monteith (Fonseca, 2002). El tanque Clase A cumple con las siguientes características: 120.7 cm de diámetro, 25 cm de profundidad y está fabricado con fierro galvanizado de 0.8 mm de espesor (Allen *et al.*, 2006). La estructura se debe ubicar sobre apoyos de madera a 15 cm sobre el nivel del suelo. El interior del tanque debe contener agua limpia la cual debe ser reemplazada semanalmente para evitar problemas con la turbidez que puedan afectar las mediciones. El nivel del agua debe mantenerse siempre entre 5 y 7.5 cm del borde, tal como se muestra en la Figura 2. El tanque debe aislarse de la acción involuntaria de terceros o de animales, para ello se deben colocar mallas de seguridad (Gil *et al.*, 2009). El principio del funcionamiento es sencillo, consiste en la medición del nivel del agua una vez al día, todos los días y de preferencia en las mañanas a la misma hora. Las lecturas se efectúan en una poza de estabilización, una varilla puntiaguda unida a una escala graduada con un vernier se gira en hacia arriba o hacia abajo por una cremallera hasta que la punta

de la aguja corta la superficie del agua. La variación en la lectura con respecto de la del día anterior resulta la ETo, siempre y cuando se tenga en cuenta también la precipitación (Strangeways, 2001).

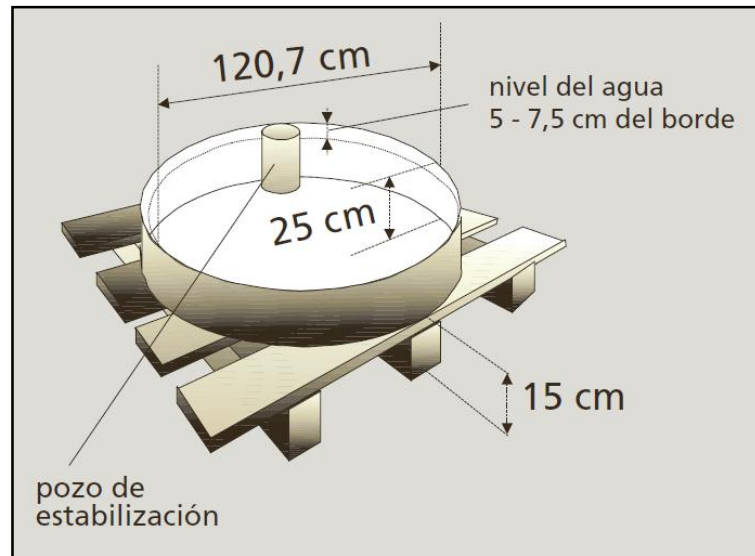


Figura 2: Dimensión del tanque evaporímetro Clase A.

FUENTE: Allen *et al.* (2006).

3.5 Humedad del suelo

Es de vital importancia para el riego conocer el agua útil de suelo o agua disponible para la planta (ADP), que está representado por la diferencia del contenido de humedad entre el nivel de Capacidad de Campo y el Punto de Marchitez (Buesa, 2013). Los niveles de humedad a capacidad de campo y punto de marchitez permanente se pueden observar en las líneas punteadas en la Figura 3. Por otro lado, cuando se multiplica el ADP por la profundidad de la zona radicular se obtiene la Capacidad de Retención de Agua Disponible (CRAD), que en el riego implica una “reducción máxima permisible” (RMP) o una fracción del (CRAD) que es el rango operativo ideal de contenido de agua del suelo. (Zotarelli *et al.*, 2013).

La humedad del suelo puede ser expresada en distintas unidades. Uno de los más comunes es la humedad volumétrica del suelo, que se refiere a la profundidad de una columna de agua contenida en una determinada profundidad de suelo. Una fracción de suelo consiste en poros, lo cuales pueden contener aire o agua. Tal fracción es denominada porosidad. (Robock *et al.*, 2000).

La Capacidad de Campo (CC) es el volumen de agua que puede retener el suelo en contra de la gravedad, después de un riego pesado o de una precipitación considerable.

El Punto de Marchitez o Punto de Marchitez Permanente (PMP) es el porcentaje de humedad de un suelo en el que las plantas se marchitan sin opción a recuperación.

Existe además otro nivel denominado Punto de Saturación (PS) que es el que se da después de un riego profundo o de una lluvia intensa y el agua ha ocupado todos los poros. A este nivel cualquier cantidad extra de agua escurrirá o generará encharcamiento hasta que se elimine hacia las capas más profundas del suelo. Sin embargo, CC es en realidad la condición idónea para el desarrollo de las plantas. (Parra y Ortiz, citado por Orozco, 2011). Por lo tanto, manejar un adecuado conocimiento de la distribución y vinculación de la humedad del suelo referente a la evaporación y transpiración, resulta lo más básico para predecir la influencia recíproca entre la superficie del suelo, el tiempo y el clima (Wei, 1995).

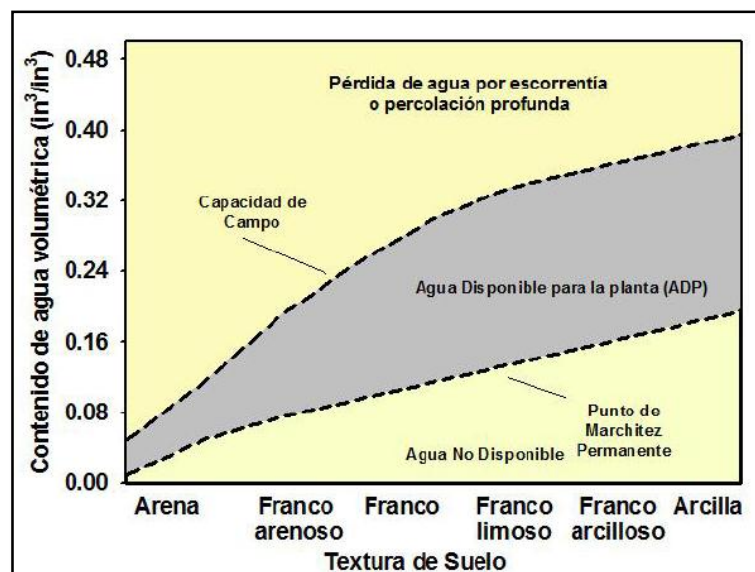


Figura 3: Contenido de humedad del suelo en m³/m³ según textura del suelo
FUENTE: Zotarelli *et al.* (2013).

3.6 Medición de la humedad del suelo

A lo largo de los años se han desarrollado métodos directos e indirectos para determinar el contenido de humedad del suelo. La elección de un método en particular depende tanto de la aplicación como de los recursos disponibles. (Robock *et al.*, 2000). Entre los

métodos directos están la gravimetría y las placas de Richards, mientras que entre los métodos indirectos están los tensiómetros, los sensores de resistencia eléctrica, las sondas de neutrones y las medidas de la constante dieléctrica del suelo, donde estos últimos incluyen la reflectometría en el dominio de la frecuencia y la reflectometría en el dominio del tiempo. Los métodos indirectos presentan mayores opciones pues, aunque los métodos directos son más precisos, presentan grandes inconvenientes en su uso porque son destructivos, requieren de mano de obra y son inútiles para el monitoreo de la humedad de suelo de forma continua. No obstante, estos últimos se emplean para calibrar métodos indirectos (Buesa, 2013).

3.6.1 Método gravimétrico

El método gravimétrico, el cual es un método directo, es el único método que mide la humedad del suelo directamente (Dorigo *et al.*, 2011). Se trata de un antiquísimo método tradicional en el que se obtienen muestras de suelo a través de dispositivos de extracción como barrenas a las diferentes profundidades y locaciones requeridas. La muestra obtenida es pesada en una balanza y, posteriormente secada en un horno a 105°C, para finalmente volver a ser pesada. La diferencia entre los pesos húmedos y secos permite obtener la humedad del suelo de la muestra. Tal parámetro puede ser expresado volumétricamente si el resultado de la humedad gravimétrica se multiplica por la densidad del suelo. Este método se puede desarrollar con baja tecnología y es simple de efectuar. Sin embargo, como se trata de un trabajo intensivo y bastante destructivo, se han desarrollado otras tecnologías más modernas basadas en principios de la electrónica (Robock, 2000).

3.6.2 Reflectometría en el dominio de la frecuencia (FDR)

La búsqueda de opciones para conocer el estado hídrico del suelo ha generado que el uso de sensores capacitivos se extienda en el medio agrícola como principio en la programación del riego (Buesa, 2013). Esto debido a que no solo se precisa conocer el contenido de humedad del suelo en un solo punto ni en un solo momento, sino se buscan mediciones continuas que brinden información en tiempo real en cuanto a los riegos. Esto permite detectar las pérdidas por evaporación superficial y por percolación profunda (Hidalgo *et al.*, 2003). Estos

equipos son conocidos como sensores de dominio de la frecuencia debido a que operan a una frecuencia fija, y constituyen un método indirecto de medición de la humedad del suelo. Los sensores de capacitancia miden algún componente de la impedancia del capacitor, donde el suelo es el dieléctrico. (Campbell *et al.*, 2009). Los FDR miden el contenido volumétrico de agua indirectamente a través de la constante dieléctrica aparente del suelo, pero mediante la medición del tiempo que tarda en cargarse un condensador que utiliza el suelo como dieléctrico. Es por esto que son llamados también sensores capacitivos. Trabajan a frecuencias de entre 10 y 100 MHz, ello hace que las medidas sean rápidas y menos costosas que los sensores de reflectometría en el dominio del tiempo (TDR) (Buesa, 2013). El funcionamiento de los sensores FDR se basa en que emplean un campo electromagnético para medir la permitividad dieléctrica del medio que los rodea. El sensor suministra una onda oscilante de 70 MHz (tal frecuencia minimiza los efectos de salinidad y de textura) hacia las puntas que cargan acorde al dieléctrico del material, el diseño de estas puntas se puede notar en la Figura 4. La carga almacenada es proporcional al sustrato dieléctrico y al contenido volumétrico de agua del sustrato. El Sensor mide la carga y da salida a un valor en bruto que se correlaciona fuertemente al contenido volumétrico del agua. (GS1 Soil Moisture Sensor Operator's Manual, 2015). La ecuación de calibración almacenada en el capacitor – data logger da lugar a la rápida conversión de las medidas de capacitancia en medidas del contenido volumétrico de agua en el suelo (Orozco, 2011). Sin embargo, se debe tener presente de que los sensores no son inequívocos, por lo que se debe tener en cuenta aspectos como la instalación (Buesa, 2013). Los cuidados incluyen evitar espacios de aire en los alrededores o suelo extremadamente compactado alrededor del sensor, así como mantener a distancia objetos de metal porque estos últimos pueden atenuar el campo electromagnético y distorsionar las lecturas.

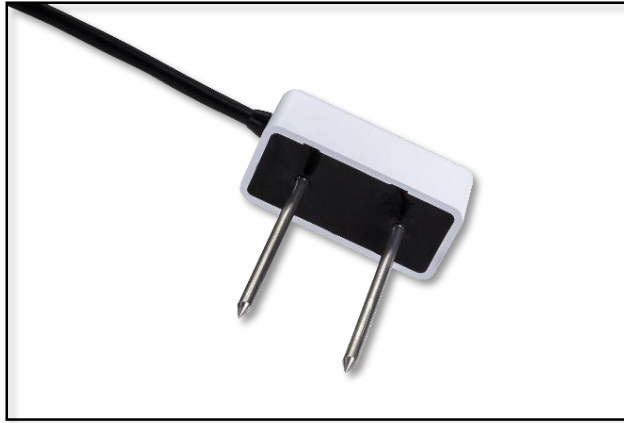


Figura 4: Sensor de humedad GS1 Decagon, rango de 0-57% del contenido volumétrico

FUENTE: Decagon devices (2016).

3.6.3 Reflectometría en el dominio del tiempo (TDR)

Esta clase de sensores mide el tiempo que toma un impulso eléctrico en atravesar una línea de transmisión de longitud fija en el suelo. (Campbell *et al.*, 2009). Los TDR miden el tiempo que tarda un pulso electromagnético (1 MHz- 1 GHz) en pasar de un electrodo a otro a través del suelo, que es función de la constante dieléctrica del suelo. Las ecuaciones empíricas se encargan de relacionar esta variable con el contenido volumétrico de agua para muchos suelos (Buesa, 2013). Esta metodología es una de las que más se ha difundido por encima de otros métodos rústicos y de los métodos indirectos, debido a que ha sido adoptada por parte de varios investigadores (Orozco, 2011).

3.7 Sistemas de riego

Los sistemas de riego desarrollados hasta la fecha permiten al usuario elegir el tipo de riego que le sea más beneficioso tanto desde el punto de vista económico como del rendimiento del cultivo. Se ha vuelto necesario tal gama de sistemas debido a que las condiciones de suelo (lo cual incluye aspectos como la textura y la pendiente), la disponibilidad de agua de calidad, entre otros recursos, varían en cada localidad. Por ello se han desarrollado sistemas de riego desde lo más rústico como es el caso del riego por gravedad, hasta lo más moderno como el riego por aspersión, el riego por pivotes, el riego por goteo, el riego por goteo subterráneo, entre otros. Sin embargo, sea cual fuese

el sistema de riego, todos están orientados al uso eficiente del agua lo que comprende evitar tanto las deficiencias como los excesos de agua para los cultivos. (Corpeño, 2004).

3.7.1 Riego localizado

Los sistemas de riego por goteo han contribuido con el uso eficiente del agua en el riego y han reducido el volumen de agua aplicada a los cultivos hortícolas (Hussein *et al.*, 2008). Por tal motivo la investigación apunta hacia la innovación de esta técnica, ya sea con modificaciones o con evaluaciones en otros escenarios, buscando así refinar su eficiencia. Bajo esta premisa, es que el riego por goteo subterráneo viene siendo estudiado en los últimos años.

A. Riego por goteo subterráneo (RGS)

El concepto de riego por goteo subterráneo lo ha definido la ASAE (American Society of Agricultural Engineers) como la aplicación de agua bajo la superficie del suelo a través de goteros, los cuales entregan agua con caudales generalmente similares al riego por goteo superficial. Este sistema de riego se consolida como el más reciente avance en el ámbito de sistemas de irrigación, pues contribuye al objetivo del riego tecnificado con la propuesta de la aplicación más eficiente del agua al evitar o reducir las pérdidas directas por evapotranspiración, percolación profunda y escorrentía. Un adecuado aporte de agua y de fertilizantes se traduce en mejoras significativas en el rendimiento de los cultivos. Sobre la base de ello, el RGS es considerado como la tecnología más eficaz en cuanto al aporte de agua y de nutrientes a las plantas, puesto que un adecuado diseño de RGS genera valores de eficiencia de riego superiores al 95 % y por tanto más del 95 % del agua suministrada es mantenida en la zona de raíces lo cual es de sumo beneficio para los cultivos (Bourziza *et al.*, 2014). Los resultados son visibles directamente en la producción de los cultivos, es por ello que diversos autores han comparado los rendimientos de diferentes cultivos sometidos tanto al riego convencional como al RGS. De tales investigaciones se obtuvo que los cultivos irrigados con riego por goteo subterráneo presentaron igual o mayor rendimiento que los cultivos irrigados bajo otros sistemas de riego (lo que incluyó al riego por aspersión), incluso en muchos de los casos se empleó menos agua con el sistema de RGS y además se empleó menos mano de obra (Camp, 1998). Este sistema de

riego, además de incrementar la eficiencia en el uso del agua, mejora la aplicación de productos químicos, reduce los costos referentes a requerimientos energéticos y mejoran las labores culturales. (Ayars *et al.*, citado por Puig-Bargués *et al.*, 2010).

Otro aspecto positivo del RGS es que disminuye la exposición de las personas a las aguas contaminadas y a los actos vandálicos. No obstante, este sistema precisa de un alto costo de inversión inicial y además requiere de una diligente operación tanto en lo referente al mantenimiento como a la gestión. Por otro lado, aspectos fundamentales del RGS son el sistema de filtrado, la calidad del agua, los lavados de los laterales y un óptimo planeamiento que garantice un prolongado tiempo de vida del sistema tal que permita el retorno de la alta inversión de instalación. (Lamm y Camp, citado por Puig-Bargués *et al.*, 2010). En función a las exigencias que se deben considerar para diseñar, instalar y operar un sistema de RGS, ciertos autores han enfocado en comparar los aspectos positivos y los negativos, por lo que a continuación se presenta en la Tabla 1, un cuadro comparativo de las ventajas y desventajas elaborado por Lamm (2002).

Tabla 1: Ventajas y desventajas del riego por goteo subterráneo

<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
<i>Categoría I: Problemas de agua y suelo</i>	
<i>Mayor eficiencia en el uso del agua</i>	<i>Pequeño patrón de humectación: Sobre todo en suelos de textura gruesa donde se presenta un desarrollo radicular reducido.</i>
<i>Menos riesgos de calidad de agua: Reducción o eliminación de escorrentía, menor lixiviación de nutrientes y químicos por percolación profunda</i>	
	<i>Seguimiento y evaluación de eventos de riego</i>
<i>Permite el uso de aguas residuales</i>	<i>Suelo/rango de aplicación</i>
<i>Mayor uniformidad en la aplicación de agua</i>	<i>Menor movimiento del agua hacia arriba</i>
<i>Categoría II: Cultivo y prácticas culturales</i>	
<i>Mejora el crecimiento, calidad y rendimiento de la planta.</i>	<i>Menores opciones de labranza: Operaciones de arado limitadas por la colocación de los laterales de riego</i>
<i>Mejora la sanidad de las plantas: Menores enfermedades por hongos</i>	
<i>Mejor eficiencia en la aplicación de fertilizantes y pesticidas: Precisa y oportuna</i>	
	<i>Menor desarrollo radicular de las plantas: Zonas de raíces más pequeñas pueden generar que el riego y la fertilización sean más críticos en cuanto a tiempo o cantidad</i>

<i>aplicación mediante el sistema con resultados de mayor eficacia o reducción de su uso</i>	
Mejor control de malezas	Problemas de distanciamiento ente líneas y de rotación de cultivos.
Favorece oportunidades de dobles cultivos: <i>No es necesario que el sistema sea removido entre campañas</i>	Problemas de desarrollo de las plantas: <i>Algunos cultivos pueden no desarrollarse adecuadamente bajo RGS en algunos tipos de suelos y/o climas</i>
Operaciones y gestión agrícolas mejoradas	
Categoría III: Infraestructura del sistema	
Disminución de costos energéticos: <i>Las presiones de trabajo son por lo general menores que algunos sistemas de riego por aspersión</i>	Costos: <i>Tiene un alto costo de inversión inicial comparado con otras alternativas de sistemas de riego</i>
Problemas de integridad del sistema: <i>Hay un menor número de piezas mecanizadas en comparación con otros sistemas de riego, además los componentes a menudo son de plástico y menos sujetos a problemas de corrosión</i>	Problemas de filtración: <i>El RGS requiere un menor manejo en cuanto a la calidad del agua en comparación con otros sistemas de riego</i>
	Otros problemas de mantenimiento: <i>El mantenimiento oportuno, permanente y las reparaciones son un requisito. Las líneas de goteo deben ser monitorizados para detectar la intrusión de raíces.</i>
Diseño flexible: <i>Existe una mayor adecuación a la forma y del tamaño del campo en comparación con otros sistemas de riego por aspersión y de pivote central</i>	Problemas operacionales: <i>Hay menos indicadores visuales de funcionamiento del sistema y de la uniformidad de la aplicación. Es necesario el uso de medidores de flujo y medidores de presión para determinar si el sistema está funcionando correctamente</i>
Longevidad del sistema: <i>Su larga vida útil permite la amortización de los costos de inversión</i>	
	Problemas de diseño: <i>Errores de diseño son más difíciles de resolver puesto que la mayor parte del sistema está bajo tierra.</i>

FUENTE: Lamm (2002).

3.8 Componentes de los sistemas de riego por goteo subterráneo

Los sistemas de riego por goteo subterráneo presentan componentes similares al de un sistema de riego por goteo superficial, sin embargo, en el RGS el uso de un sistema de filtrado, de válvulas de aire y de líneas de purga son requisitos indispensables para que el sistema tenga un buen rendimiento y una duración a lo largo del tiempo. Los sistemas de RGS tienen un alto costo inicial de inversión por lo que suprimir algunos componentes para reducir tal gasto puede ser visto como una buena opción, sin embargo, ello solo derivará en una pobre operación del sistema o una reducción en su tiempo de vida, lo que no justificará el costo de inversión inicial. (Lamm *et al.*, 2003). En la Figura 5 se puede visualizar de forma general, todos los componentes que deben ser utilizados.

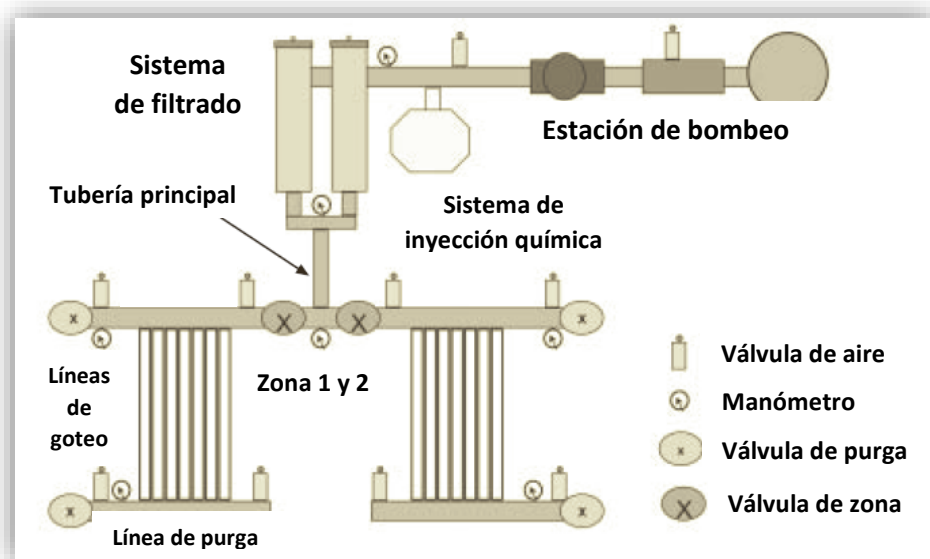


Figura 5: Componentes de un sistema de riego por goteo subterráneo.
FUENTE: Rogers *et al.* (2003).

3.8.1 Bomba

Una ventaja de los sistemas de RGS es que presentan bajos requerimientos de presión, lo cual influye en la reducción de costos en la elección de la bomba, entonces las dimensiones de la bomba solo estarán en función del caudal y de la carga. En general los requerimientos de altura que se tendrán en cuenta serán la elevación del bombeo, las pérdidas por fricción, cambios de elevación y la presión del sistema. Sin embargo, en el RGS se debe considerar las caídas de presión debido a los filtros, de las válvulas (de control, de caudal, etc.) y de las líneas de suministro. En resumen, el tamaño de la bomba dependerá de la oferta del agua de riego, de las necesidades de presión del sistema, del área que se irrigará, del

sistema de filtrado y de la presión requerida para el lavado de las líneas de purga (Rogers *et al.*, 2003).

3.8.2 Sistema de filtrado

El agua siempre presenta partículas suspendidas que perjudican el rendimiento de los emisores por lo que se necesita de un buen sistema de filtrado que remueva tales partículas. Los tipos de filtro que se pueden instalar son de mallas, de discos o de arena. Sin embargo, la elección en particular de que tipo se empleará estará dada por la calidad del agua. Ante ello existe por ejemplo la posibilidad de emplear separadores de arena centrífugos en caso de que el agua contenga arena, usual en el caso del agua de pozo. En el caso de fuentes de agua superficiales se cuentan con sedimentadores para remover la alta carga de sedimentos, en conjunto con un sistema regular de filtros. Combinar los diferentes tipos de filtros puede resultar una buena opción para remover partículas en suspensión. Cabe destacar que muchos de estos sistemas están capacitados con un retro lavado automático. Entonces, para definir los elementos que formaran parte del sistema de filtrado se debe tener las siguientes consideraciones:

- Calidad del agua (Incluye la cantidad, tamaño y tipo de partículas (orgánicas o minerales) a ser removidas.
- Requerimientos del emisor, es decir el tamaño o abertura del emisor (Máximo tamaño de partícula permisible). Esta información está presente en los manuales del fabricante.
- Caudal

Como regla general emplean los filtros para evitar el paso de partículas de 1/10 del tamaño de la vía de paso más pequeña. (Rogers *et al.*, 2003)

3.8.3 Manómetros

Los manómetros son elementos de control, sobre todo de los filtros, es por ello que se suelen colocar tanto antes como después de la presencia de los mismos,

pues ello indicará la pérdida de presión que generan las unidades de filtrado y por lo tanto el momento en el que necesitan ser lavados. Este control se extiende a lo largo de todas las tuberías puesto que las distancias se traducen en pérdidas de carga por lo que se aconseja contar con manómetros o puntos de control tanto al inicio de la línea principal como en la línea más lejana. Los manómetros como elementos de control de presiones, al igual que las válvulas volumétricas con respecto de los caudales, constituyen los indicadores necesarios para evaluar los rendimientos y posibles obstrucciones que se puedan presentar en el sistema (Rogers *et al.*, 2003).

3.8.4 Válvula de regulación

Estas válvulas son empleadas para mantener una adecuada presión en las líneas de riego. Se debe considerar las especificaciones del emisor según el fabricante y las pérdidas de presión en la tubería durante la entrega de agua a la conexión con la línea de goteo. Los goteros por lo general tienen un caudal determinado o trabajan con cierto caudal a una determinada presión, entonces la válvula reguladora de presión debe ser capaz de aportar tal presión además de controlar las pérdidas que se dan entre la válvula y el emisor (Rogers *et al.*, 2003).

3.8.5 Medidor de caudal

Mide el volumen de agua que se mueve a través del sistema ya sea como caudal o como volumen total acumulado. Este medidor de flujo ofrece información al operador referente de cómo está funcionando el sistema y cómo programar la aplicación de agua (Rogers *et al.*, 2003).

3.8.6 Válvulas de zona

Son válvulas bastante simples y es usual que en la agricultura sean operadas manualmente, sin embargo, hay una tendencia a la automatización en la que mediante un sistema eléctrico, se cuenta con un programador desde donde se abren o cierran las válvulas según los turnos de riego. Estas válvulas son abiertas o cerradas para controlar que el agua fluya a las zonas adecuadas (Rogers *et al.*, 2003).

3.8.7 Válvulas de aire y de liberación de vacío

Estas válvulas previenen que el suelo o material particulado sea arrastrado hacia los emisores cuando el sistema de riego está apagado o cuando se han purgado o vaciado las líneas de goteo. Las válvulas deben ser colocadas en los puntos altos del sistema. (Rogers *et al.*, 2003).

3.8.8 Líneas de purga

Los sistemas de filtrado por lo general no remueven partículas de arcilla, limo, o incluso algas y bacterias puesto que estas son muy pequeñas. Tales partículas pueden viajar a través de los filtros como partículas individuales, lo que no garantiza que se mantengan así puesto que se pueden asociar o incorporar a residuos orgánicos y eventualmente hacerse lo suficientemente grandes como para obstruir los emisores, (Nakayama *et al.*, citado por Puig-Bargués *et al.*, 2010). Es por todo ello que se deben realizar purgados periódicos para remover tales partículas y organismos acumulados en las líneas de riego. (Adin y Stacks, citado por Puig-Bargués *et al.*, 2010). Las purgas en los puntos terminales del sistema tienen el propósito de permitir que cualquier sedimento o contaminante sea expulsado de los laterales de riego hacia una determinada ubicación. (Rogers *et al.*, 2003).

3.8.9 Arco de riego

Entrega el agua de las tuberías secundarias a los laterales y enlaza las mangueras de riego a una sola unidad de control. (Rogers *et al.*, 2003).

3.8.10 Líneas de goteros

Están formadas por mangueras de polietileno con goteos integrados. El espaciado entre emisores y el caudal que aporta cada emisor es definido en función de las demandas del cultivo y de la capacidad de retención de agua del

suelo. Estos deben ser compatibles con la presión de bombeo. Por otro lado, se puede emplear goteros auto compensados sin embargo su costo es más alto que el de los goteros no compensados. Se debe tener en cuenta la calidad del agua en la elección del tamaño y espaciamiento de los emisores para evitar obstrucciones. (Rogers *et al.*, 2003).

3.9 Eficiencia en el uso del agua (EUA)

La eficiencia del uso del agua es el rendimiento de un cultivo por unidad de agua evapotranspirada (Huber y Trecaman, 2004). Según Fernández y Camacho (2005), la Eficiencia en el uso del agua es la relación entre la biomasa presente en un determinado momento en un cultivo por unidad de agua utilizada que emplea el referido cultivo. La EUA puede ser medida a diferentes escalas (hoja, cultivo o ecosistema), sin embargo, cada nivel presenta particularidades a ser consideradas en la medición e interpretación de los resultados. (Medrano *et al.*, 2007). Los cultivos que presentan mayores valores de EUA son más ventajosos para la agricultura, no obstante, en algunos cultivos prevalecen otras características como la calidad.

3.10 Proceso de análisis jerárquico (PAJ)

Las múltiples decisiones a las que los seres humanos están expuestos, así como la vasta cantidad de información y el poco dominio en todas las áreas del conocimiento, impulsaron la creación de una metodología capaz de condensar situaciones de orden cuantitativo y cualitativo en una formulación matemática, cuyos resultados numéricos simplifican la realidad y hacen factible una lectura numérica del problema tanto como su solución. (Saaty, 2008). El método de análisis multicriterio conocido como proceso de análisis jerárquico es una técnica que incorpora tanto aspectos cuantitativos como cualitativos en la toma de decisiones en escenarios complejos, donde abundan variables y criterios de prioridad en la determinación de las alternativas más idóneas. La aplicación del método parte de la descomposición de un problema en una jerarquía de criterios. Después de ello, se evalúa las alternativas efectuando comparaciones entre pares para cada uno de los criterios definidos. Estas comparaciones pueden incorporar datos numéricos de cada una de las alternativas o juicios humanos. El PAJ permite convertir las comparaciones realizadas en valores numéricos. Contar con las comparaciones efectuadas y con los pesos relativos entre cada uno de los criterios a ser evaluados,

permite obtener la probabilidad numérica de cada alternativa, la cual significará la probabilidad de las alternativas en evaluación de cumplir con el objetivo. A mayor probabilidad, la alternativa tiene mayores opciones para satisfacer los requisitos que implica el problema base. (Viana, 2010).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Características generales del área experimental

4.1.1 Ubicación del área de estudio

El proyecto se llevó a cabo en la parcela demostrativa, perteneciente a la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Departamento:	Lima
Provincia:	Lima
Distrito:	La Molina
Longitud:	12°4'49''
Latitud:	72°56'58''
Altitud:	245 msnm



Figura 6: Ubicación geográfica del área destinada a las parcelas experimentales.

FUENTE: Google Earth (2016).

4.1.2 Características climáticas

Las características climatológicas históricas del área donde se llevó a cabo la investigación, fueron extraídas de la estación meteorológica Alexander Von

Humboldt, ubicada al interior de la UNALM, el resumen de los datos meteorológicos entre los años 2000 y 2010 se presenta en la Tabla 2. El promedio de temperatura máxima es de 23.43°C, y una temperatura mínima promedio de 16.38°C. La velocidad del viento en promedio fue de 1.04 m/s. La máxima humedad relativa promedio fue 88.7 %, mientras que las horas de sol en promedio es de 4.68. Además, el promedio anual de evapotranspiración de referencias es de 2.95 mm/día.

Tabla 2: Registro climatológico de La Molina 2000-2010

Mes	T _{máx} (°C)	T _{mín} (°C)	T _{prom} (°C)	HR (%)	u ₂ (ms-1)	H	Eto (mm/día)
Enero	27.41	19.44	23.42	79.6	1.26	5.32	3.71
Febrero	28.92	20.33	24.63	75.85	1.26	5.95	4.09
Marzo	28.65	19.75	24.2	75.63	1.15	7.02	4.16
Abril	26.86	17.75	22.3	79.07	1.11	7.62	3.72
Mayo	23.27	15.5	19.39	83.24	0.92	5.62	2.65
Junio	19.89	14.2	17.05	87.63	0.77	2.66	1.79
Julio	18.91	14.16	16.53	88.7	0.85	2.04	1.69
Agosto	18.31	13.92	16.11	88.53	0.88	2.4	1.89
Setiembre	19.98	13.95	16.96	88.07	0.99	3.23	2.33
Octubre	21.18	14.52	17.85	86.09	1.08	4.37	2.85
Noviembre	22.69	15.67	19.18	84.25	1.1	5.01	3.16
Diciembre	25.06	17.41	21.23	82.74	1.14	4.89	3.32
Promedio	23.43	16.38	19.9	83.28	1.04	4.68	2.95

T_{máx}= Máxima temperatura del aire, T_{mín}=Mínima temperatura del aire, T_{prom}=Temperatura promedio del aire, HR= Humedad relativa, u₂= Velocidad del viento a 2 m de altura, H: Horas de sol diarias, Eto= Evapotranspiración de referencia.

FUENTE: Elaborado con información registrada en la estación meteorológica Alexander Von Humboldt.

4.1.3 Características del suelo

Se tomaron muestras de suelo para efectuar la caracterización físico-química del área de estudio, tales muestras fueron analizadas por el Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertirriego de la Universidad Nacional Agraria La Molina. La conductividad eléctrica fue de 1.70 dS/m, lo cual indica que se trata de un suelo muy ligeramente salino. A partir del valor del pH (7.77) se determinó que se trata de un suelo ligeramente alcalino. El porcentaje de materia orgánica (1.96%) que presenta el área experimental es bajo y por ende una pobre

concentración de nitrógeno total. Las concentraciones de potasio y fósforo disponible se pueden calificar como medio y alto respectivamente. El contenido de material calcáreo (CaCO_3) se considera en el rango bajo. El suelo es de textura franca. En las Tabla 3 se puede apreciar los resultados, y además se incluye el formato original en el Anexo 1. La capacidad de campo del terreno fue de $0.28 \text{ m}^3/\text{m}^3$, mientras que el punto de marchitez permanente fue a $0.14 \text{ m}^3/\text{m}^3$, valores acordes al tipo de textura del suelo según la FAO (Allen *et al.*, 2006).

Tabla 3: Análisis de Suelo

Número de muestra		CE dS/m	pH	M.O.	P	K	CaCO_3	$\text{Al}^{+3}+\text{H}^{+1}$
Lab.	Campo	Relación 1:1	Relación 1:1	%	ppm	ppm	%	
9641	TB2-M1D1	1.70	7.77	1.96	27.92	195.4	3.84	-

FUENTE: Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertirriego. UNALM.

4.1.4 Características del agua

La fuente de agua para el riego en la presente investigación procede del reservorio que forma parte del sistema de riego de áreas verdes y jardines de la UNALM. A través de una válvula de acople rápido conectada a una bayoneta, se almacena el agua en un tanque de 1100 L el cual era parte del cabezal de riego del área experimental. Las muestras de agua se analizaron en el Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertirriego y en el Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología “Marino Tabusso”, ambos de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Los resultados de los análisis se pueden observar en la Tabla 4. Según la conductividad eléctrica analizada en la muestra (0.49 dS/m), el agua para riego se clasificó como C2, es decir presenta con una salinidad moderada, lo cual indica que se trata de un agua de buena calidad para los cultivos que toleran moderadamente la sal. Por otro lado, el SAR (Relación de Absorción de Sodio) fue de 0.60 lo cual indica que pertenece a la clasificación S1, es decir sin peligro de sodio. El pH (7.24) clasifica al agua de riego muestreada como ligeramente neutra, y se encuentra dentro de los valores máximos recomendables al igual que la dureza total del agua para fines de riego.

Tabla 4: Análisis químico del agua

N° LABORATORIO	6874
N° DE CAMPO	Agua
CE dS/m	0.49
pH	7.24
Calcio (meq/l)	3.42
Magnesio (meq/l)	0.52
Sodio (meq/l)	0.85
Potasio (meq/l)	0.10
SUMA DE CATIONES	4.89
Cloruro (meq/l)	0.84
Sulfato (meq/l)	2.36
Bicarbonato (meq/l)	1.62
Nitratos (meq/l)	0.00
Carbonatos (meq/l)	0.00
SUMA DE ANIONES	4.83
SAR	0.60
CLASIFICACION	C2-S1
Boro (ppm)	0.31
Turbidez (NTU)	5.78
Carbonatos mgCaCO3/L	0.00
Solidos suspendidos mg/L	6.84
DBO5 mgO2/L	52.35
DQO mgO2/L	30.00
Dureza total mgCaCO3/L	196.65

FUENTE: Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertirriego. UNALM.

4.2 Materiales, equipos e insumos

Materiales de campo

- Pala
- Rastrillo
- Machete
- Rótulos
- Libreta de campo

Equipos

- Sistema de riego subterráneo
- Tanque evaporímetro Clase A
- Estación meteorológica automática
- Medidores de caudal
- Manómetros
- Sensores de humedad del suelo basados en reflectometría del dominio de la frecuencia
- Podadora de césped helicoidal
- Balanza
- Cámara fotográfica digital
- Tablet
- Equipo de laboratorio para análisis de suelo

Insumos

- Agua de riego
- Esquejes de césped

Instalaciones

- Área de 388 m² dentro de la UNALM donde se llevó a cabo la instalación del sistema de riego presurizado.
- Laboratorio de Riego y Drenaje.
- Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertirriego.
- Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología “Marino Tabusso”.

4.3 Métodos

4.3.1 Diseño experimental

El estudio se realizó mediante diseño completamente al azar, con cuatro tratamientos y tres repeticiones cada uno.

A. Tratamientos

Los tratamientos fueron definidos en función a los coeficientes de riego como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5: Descripción y códigos de los tratamientos

Tratamientos	Notación
Factor de riego 1.0	T1
Factor de riego 0.8	T2
Factor de riego 0.6	T3
Factor de riego 0.4	T4

B. Repeticiones

Se efectuaron tres repeticiones por cada tratamiento. En el Anexo 3 se presenta la distribución de cada una de las repeticiones dentro del área experimental.

C. Unidad experimental

El área de cada unidad experimental fue de 3.68 m² (1.6 x 2.3 m). Las unidades contaron cada una con un arco de riego conformado por una válvula tipo plason de 1/2", una válvula de aire de doble efecto de 1", un rociador UNISPRAY 1/2"x 4, y con un punto de toma de presión. La superficie de toma de muestras fue de 2.52 m² (1.2 x 2.1), evitando efectos de borde. Se efectuó la siembra del césped por esquejes espaciados a 15 cm cada uno. En el Plano N 1 se puede apreciar los elementos que constituyeron a cada parcela.

D. Esquema del análisis de varianza (ADEVA)

Se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 6: Esquema del ADEVA

ADEVA	
Fuente de variación	Grados de libertad
Total	11
Repeticiones	3
Tratamientos	3
Error experimental	8

E. Análisis estadístico

Se empleó el diseño completamente al azar, por lo que todos los datos registrados en cuanto a láminas de riego, pesos frescos y pesos secos, fueron analizados con el procedimiento ADEVA y comparados con la prueba de Tukey, mediante la versión libre del software InfoStat. Este software estadístico fue desarrollado por la Universidad Nacional de Córdoba y se caracteriza por una amigable y sencilla interfaz tanto para el manejo de datos como para el procesamiento, sin que ello reste sus amplias capacidades de análisis tanto a nivel básico como avanzado.

F. Prueba de significación

Tukey al 5%

4.3.2 Variables y métodos de evaluación

A. Variables cuantitativas

Láminas de riego

Se registraron las láminas de riego entregadas al cultivo durante todo el periodo de investigación para lo cual se emplearon válvulas volumétricas por cada dos parcelas, y además una válvula volumétrica en el cabezal de riego. Las lecturas fueron tomadas antes y después del riego.

Contenido de humedad del suelo

Se controló la humedad del suelo mediante cuatro sensores de reflectometría en el dominio de la frecuencia (FDR), conectados a un datalogger, donde eran almacenadas las lecturas de humedad a un intervalo de medición de quince minutos.

Peso fresco y peso seco

Se realizó la poda del césped cada 15 días, de donde se tomaron muestras de un área de 0.84 m² (2.1 x 0.4 m) dentro del área neta de estudio de cada unidad experimental, evitando los efectos de borde.

Eficiencia en el uso del agua

La eficiencia en el uso del agua se obtuvo al dividir el peso fresco promedio del césped (Kg) de cada uno de los tratamientos por las láminas aplicadas acumuladas (m³) a los respectivos tratamientos. Este criterio se empleó para determinar los metros cúbicos de agua necesarios para producir un kilogramo de césped.

B. Variables cualitativas

Color

Definido como la medida de la luz reflejada por el césped. Se efectuó una evaluación visual en función a las valoraciones que se presentan en la Tabla 7, análogas a los valores de color de la Tabla de colores Munsell. Se tomaron fotos después de cada corte de césped.

Tabla 7: Criterio de Color

Color		
Valoración	Calificación	Descripción
3	Verde brillante	Olive green según Tabla Munsell
2	Verde medio	Dark grayish green según Tabla Munsell
1	Verde opaco	Grayish Green según Tabla Munsell

Capacidad de recuperación al pisoteo

Capacidad del césped de recobrar su estado inicial después de haber estado sometido a elementos de peso. El césped por lo general está en continua exposición al pisoteo por parte de diferentes individuos (personas o animales domésticos) e incluso suele soportar el peso de objetos (plataformas, escenarios, etc.). Por lo que es una variable de interés es el tiempo que tarda en recuperarse de la exposición de tales cargas. Para cuantificar esta variable se emplearon ladrillos macizos de dimensiones 20 x 10 x 9 cm y de peso 2.5 Kg, los cuales se dejaron sobre cada una de las parcelas por 24 horas, luego de las cuales fueron retirados y se efectuó una evaluación visual cada hora durante tres horas de la recuperación del césped. Los niveles de valoración del criterio capacidad de recuperación al pisoteo se observan en la Tabla 8, adicionalmente se tomaron fotos durante la evaluación.

Tabla 8: Criterio de capacidad de recuperación al pisoteo

Capacidad de recuperación al pisoteo		
Valoración	Calificación	Descripción
3	Rápida	El césped tarda en volver a su estado original menos de cuatro horas
2	Media	El césped tarda en volver a su estado original un día
1	Lenta	El césped tarda en volver a su estado original más de un día

Uniformidad

Es la medida de la apariencia que por igual tiene un césped en cuanto a la coloración, es decir la homogeneidad del color en una determinada área. Se propone esta medida debido a que es parte de la calidad que debe tener el césped, lo que incluye no presentar manchas o áreas amarillentas o de otros colores, lo cual puede indicar o problemas de plagas o problemas en el sistema de riego (el color debe ser igual en toda el área, no presentar franjas de otro color). Se efectuó una evaluación visual basada en la valoración que se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 9: Criterio de Uniformidad

Uniformidad		
Valoración	Calificación	Descripción
3	Completamente uniforme	Césped homogéneo de color verde oscuro y sin suelo desnudo
2	Medianamente uniforme	Césped medianamente homogéneo con reducidas áreas de diferente color y con pequeños fragmentos de suelo desnudo o amarillento
1	Desuniforme	Césped con áreas amarillentas o con suelo desnudo

C. Proceso de análisis jerárquico

La selección del coeficiente de riego del césped para las condiciones de La Molina, involucró un análisis final mediante el método de análisis multicriterio denominado Proceso de Análisis Jerárquico, el cual permite dar una solución a problemas de decisión múltiple que incluyen información cualitativa y cuantitativa como fue el caso de la investigación (Roche y Vejo, 2005). La meta general en este caso fue la selección del mejor tratamiento, tomando en cuenta los criterios de: Consumo de agua, calidad del césped y mantenimiento del césped. Se consideró como criterio el consumo de agua pues engloba la parte cuantitativa, es decir las láminas que fueron entregadas a lo largo del estudio. El criterio de calidad del césped abarca los aspectos cualitativos del cultivo, es decir el aspecto estético, que es de vital importancia en este tipo de proyectos. Por otro lado, el criterio de mantenimiento envolvió a la parte cuantitativa del césped, es decir el crecimiento medido mediante los pesos secos, húmedos y contenido de humedad. Las alternativas de solución del modelo fueron cada uno de los tratamientos T1, T2, T3 y T4. En la Tabla 10 se muestran las valoraciones que fueron aplicadas según el modelo, en la selección del mejor tratamiento.

Tabla 10: Rangos Proceso Analítico Jerárquico

Valoración	Descripción
1	Igualmente preferida
3	Moderadamente preferida
5	Fuertemente preferida
7	Muy fuertemente preferida
9	Extremadamente preferida

4.3.3 Diseño del sistema de riego por goteo subterráneo

El diseño del sistema de riego por goteo subterráneo comprendió el diseño agronómico y el diseño hidráulico, en función al diseño completamente al azar. Se utilizó un gotero auto compensado de caudal 2.3 L/h, se obtuvo un área húmeda al 100%. Los requerimientos en cuanto a caudales y presiones fueron mínimos (0.25 L/s) para la condición más crítica, que en este caso fue cuando se tenían las doce válvulas abiertas regando las doce unidades experimentales. Por otro lado, la altura dinámica total fue de 18.76 m, a partir de estas consideraciones se empleó una electrobomba Pedrollo modelo CPm 610X de 0.85 HP (0.60 kW), de 10 – 80 l/min de caudal, y de 12 – 30 m de presión. Esta electrobomba permitió que el sistema pueda operar en la condición más crítica, es decir con las doce válvulas plason abiertas y regando simultáneamente las doce parcelas experimentales. Se diseñaron líneas de purga que no afectaron el rendimiento del sistema, debido a que solo se abrían quincenalmente las válvulas de purga con fines de limpieza de las líneas de mangueras subterráneas.

4.3.4 Instalación del sistema de riego por goteo subterráneo

El trabajo de diseño preliminar empleó como referencia el Proyecto Tecnificación del Sistema de Riego para fines académicos en el campus de la UNALM, de donde se extrajeron valores de referencia en cuanto a características tanto de suelo como del agua de riego presentes en la universidad. Posteriormente se efectuaron los análisis requeridos *in situ*, es decir dentro del área experimental.

En el mes de enero se obtuvieron los materiales y equipos necesarios para la ejecución de todo el proyecto. La construcción de cada uno de los componentes

se desarrolló desde el día 11 de enero del 2016. A continuación, se especifica las actividades desarrolladas según su naturaleza:

A. Fuente de agua

El agua se obtuvo del sistema de riego de áreas verdes de la universidad, el cual cuenta con un reservorio de capacidad de 8500 m³ abastecido por el Canal Bajo de la UNALM. El agua fue captada mediante una válvula de acople rápido y almacenada en un tanque de Eternit de 1100L.

B. Preparación del terreno

Se empleó maquinaria agrícola para esta actividad, lo que incluyó el arado y nivelación del terreno destinado a las doce parcelas experimentales. Esta actividad se efectuó con la finalidad de tener a disposición un área adecuada para el normal desarrollo del cultivo.

C. Delimitación y rotulado de las unidades experimentales

Se efectuó el trazado de las parcelas experimentales y la ubicación de los elementos del sistema de riego aplicando cal en la superficie del terreno. Entre los elementos que se incluyeron se tiene los arcos de riego, las líneas de laterales, porta laterales y purgas, por cada parcela experimental. Parte de esta actividad abarcó también el trazado de las líneas de tuberías principales y secundarias y la delimitación del área del cabezal de riego. Adicionalmente, se colocaron rótulos en cada unidad experimental para tener una rápida identificación de los tratamientos y de sus repeticiones. Por otro lado, y como parte de la seguridad del área de estudio, se marcaron los puntos destinados a los palos de madera correspondientes a un cerco de protección.

D. Excavación de zanjas e instalación de tuberías

Se excavaron zanjas de 0.3m de ancho a 0.3m de profundidad para ubicar en ellas las tuberías del sistema de riego. La excavación se extendió a cada una de las parcelas experimentales puesto que se excavaron zanjas a 0.1m para ubicar las

mangueras de goteo subterráneo. Luego de ello se instalaron las tuberías de PVC de 1" de diámetro de clase 10, empleando pegamento para PVC, codos de 90° y tees de 1". Paralelamente a esta actividad se continuó con la construcción del cerco perimétrico para proteger las áreas experimentales.

E. Instalación de arcos y laterales de riego

Los laterales de riego constaron de mangueras especiales de la marca Rain bird modelo XFS0612500, de diámetro exterior de 16mm y con un espesor de 1.2 mm, con goteros autocompensados espaciados cada 0.3m, caudal de 2.3L/h, lo cual garantiza una mayor uniformidad para un rango de 0.58 a 4.14 bar. Son goteros con protección de cobre, lo cual evita la intrusión de las raíces dentro de ellos, los que amplía el tiempo de vida y mantiene una alta eficiencia en el sistema. Por cada parcela se diseñaron cuatro laterales de riego espaciados cada 0.4 m, conectados a un portalateral de mangueras de polietileno de 16 mm de clase 4. El sistema fue cerrado (Loops) pues los laterales se conectaron a mangueras de las mismas características que las de los portalaterales, para así obtener un sistema de purga eficiente. Por cada dos parcelas se colocaron válvulas volumétricas para controlar el caudal aplicado a los tratamientos. Por otro lado, los arcos de riego de cada una de las doce unidades experimentales, estaban constituidos por una válvula pllasson, una válvula de aire, un rociador, y una toma de presión.

F. Cabezal de riego

Para la construcción del cabezal de riego, cuya función es ser la fuente energética para el sistema de riego, se requirió la construcción de dos losas de concreto, una donde fue ubicado el tanque Eternit de 1100L y otra donde se ubicó la bomba de 0.8 HP, esta última incluyo el anclaje de una canastilla de seguridad para la electrobomba. Posteriormente se efectuó la instalación de la línea de bombeo (succión positiva), lo cual incluyó la conexión de la bomba al tanque de almacenamiento de agua mediante tuberías, así como como la instalación de una válvula *check* horizontal. Por otro lado, la línea de descarga de agua hacia el sistema de riego estuvo conformada por una válvula *check*, una válvula de bola (como parte de un micro sistema de alivio de presión), dos filtros en paralelo, una válvula de bola, una válvula volumétrica y tomas de presión antes y después de

los filtros. Adicionalmente y con el objetivo de preservar el equipo (bomba y válvulas), del desgaste propio de la intemperie y de la manipulación de personas ajenas a la investigación, se instaló una caseta de riego de madera con techo de calamina, con una puerta y un candado, para limitar el acceso al interior y por lo tanto a la manipulación del equipo. La caseta sirvió además como superficie de montaje de un tablero eléctrico de control, que brindó la energía eléctrica necesaria para accionar la bomba y por lo tanto poner en funcionamiento todo el sistema de riego.

4.3.5 Siembra de césped

El día nueve de febrero se sembró el césped en forma de esquejes, por tanto, se dio un riego pesado para garantizar el crecimiento del césped de manera adecuada.

4.3.6 Instalación de equipos

A. Instalación del tanque evaporímetro

La puesta en funcionamiento del tanque evaporímetro Clase A abarcó la limpieza del tanque de fierro galvanizado, la confección de una malla de seguridad hecha de alambre con la finalidad de evitar el ingreso de animales, así como el pulido del tornillo micrométrico y del pozo de estabilización. Por otro lado, y según las recomendaciones de la FAO, se realizó la siembra de césped por champas en el área destinada al tanque evaporímetro. Adicionalmente se contó con una plataforma de madera en forma de reja a 15 cm sobre el nivel del suelo, sobre la cual se ubicó el tanque. Se asignó un candado al tanque para evitar la manipulación del tornillo micrométrico. Se buscó además la protección del agua en cuanto a la formación de algas, por lo que se agregaron en cada recarga de agua cinco gramos de sulfato de cobre. Las labores referentes al tanque incluyeron el mantenimiento del mismo, puesto que durante la investigación la superficie del tanque se vio afectada por problemas de corrosión, motivo por el cual se lijaron las áreas afectadas y se aplicó un anticorrosivo y pintura marina. Se confeccionó además otra malla protectora y se lijo el pozo de estabilización.

B. Instalación de los sensores de humedad

La instalación de los Sensores de Humedad GS1 Decagon de tecnología FDR, comprendió la excavación de una pequeña calicata de 1.20 m de profundidad con la finalidad de enterrar una caja de seguridad, dentro de la cual se empernó el registrador de datos de los sensores de humedad (Data logger EM50). El tubo de la base de la caja se enterró y sobre ésta se colocó una caja de registro de concreto al nivel de la superficie del terreno. Por otro lado, se excavaron pequeñas zanjas para el recorrido de los cables de cada uno de los sensores instalados en las parcelas aledañas al Data logger EM50. La instalación de los sensores de humedad en cada parcela incluyó el retiro temporal del césped a 0.10 m, así como la inserción en el perfil del suelo de las dos puntas del sensor de humedad GS1 Decagon a la profundidad de 0.10 m y a la mitad de la distancia de dos laterales de riego. Posterior a todo el procedimiento mencionado antes, se reinsertó el césped en la zona alterada dejando todo el suelo cubierto de grama y los sensores y cables totalmente enterrados. Finalizada la instalación, se procedió a codificar cada sensor según la parcela en la que fue ubicado. Tal procedimiento se llevó a cabo a través del software DataTrac 3. Este software permite configurar los sensores, así como la descarga de los datos registrados a un computador. El intervalo de medición definido fue de 15 minutos.

C. Instalación de la estación meteorológica

La instalación de la estación meteorológica se inició con la búsqueda de un punto estratégico que brindara seguridad al equipo, motivo por el cual se eligió como punto más favorable el tercer piso (10 m de altura) de Laboratorio de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería Agrícola. Se configuró a través del software Weather link, los datos básicos requeridos para el monitoreo, tales como el intervalo de medición, definido en 60 minutos, la hora y las unidades de medición, entre otros parámetros.

4.3.7 Manejo del cultivo y procedimientos operacionales

A. Análisis químico del suelo

Se tomaron muestras de suelo al inicio y al final del experimento, las cuales fueron enviadas al Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertirriego. Mayor detalle en el Anexo 1 y 2. El resumen del análisis final de suelo de cada una de las parcelas se presenta en la Tabla 13.

B. Análisis químico del agua de riego

Se tomaron muestras de agua al inicio y al final del experimento, las cuales fueron enviadas al Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertirriego y al Laboratorio de Ecología Microbiana y Biotecnología “Marino Tabusso”. Mayor detalle en el Anexo 3 y 4.

C. Control de malezas

El control de malezas se llevó a cabo tres veces por semana durante el primer mes posterior a la siembra en respuesta al abundante crecimiento de plantas ajenas al césped, producto de los riegos pesados que fueron necesarios para que prenda el césped.

D. Riego

La lámina de riego se determinó en función a los valores de evapotranspiración de referencia medidos del tanque evaporímetro Clase A. Las láminas obtenidas del tanque fueron multiplicadas por los coeficientes de riego y aplicadas en cada unidad experimental según su tratamiento. Los goteros en las mangueras de riego por goteo subterráneo estaban espaciados cada 0.3 m, cada gotero presentaba un caudal de 2.3 L/h. Además, el espaciamiento entre laterales era de 0.4m, y la velocidad de aplicación era de 19.17 mm/h.

E. Poda del césped

La poda del césped se llevó a cabo de forma quincenal durante los meses de abril, mayo y junio.

F. Toma de muestras

La toma de muestras del césped se efectuó con cada poda, donde se dispuso una franja de 2.1m x 0.4m de la cual se contabilizó la materia fresca, colocando el material recolectado por la canastilla de la podadora en sobres de papel que eran rotulados (indicando la fecha, hora y código de la parcela), pesados en una balanza electrónica y llevados al horno a 105°C por un día. Al día siguiente las muestras eran retiradas del horno y eran nuevamente pesadas.

Complementariamente, se tomaron muestras de suelo de las cuatro parcelas en las que estaban ubicados los sensores de humedad para determinar sus respectivas densidades y verificar de esta forma las propiedades de los suelos en relación a los contenidos de humedad de los mismos. En cuanto a la evaluación cualitativa se tomó registro de las evaluaciones del criterio de color y de uniformidad, avalados por fotografías del área posterior a la poda del césped quincenal. La prueba para el criterio de capacidad de recuperación al pisoteo se efectuó aplicando ladrillos macizos de igual peso durante todo un día, luego de lo cual se retiraron los ladrillos y se efectuó un monitoreo cada hora durante tres horas de la recuperación del césped. Dicha valoración está fundamentada con fotografías tomadas durante cada hora e incluso con fotos tomadas hasta dos días después de la prueba.

G. Toma de datos

Se tomaron los datos de cada uno de las siete válvulas volumétricas instaladas en campo antes y después del riego, así como de las presiones de cada una de las parcelas durante los riegos.

Se registraron los datos de evapotranspiración del tanque evaporímetro Clase A de forma diaria. Además, se registraron datos climatológicos de interés como temperatura, humedad, radiación solar y velocidad del viento, a través de una estación meteorológica Davis pro vantage 2, cuya frecuencia de medición de datos

era horaria. Por otro lado, se tomaron datos del contenido de humedad del suelo mediante los sensores de humedad GS1 Decagon, los cuales almacenaban la información medida cada quince minutos en un registrador (Data logger EM50). Se empleó el software DataTrac 3 para la descarga y evaluación gráfica de los valores del contenido de humedad del suelo y para el seguimiento del porcentaje de humedad disponible.

Como parte de la toma de datos en la evaluación cualitativa se tomaron fotos después de cada poda, así como después de la prueba de recuperación al pisoteo.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Análisis de agua

5.1.1 Características químicas

Se efectuaron análisis del agua al finalizar la investigación, con la finalidad de contar con el registro de variaciones de la calidad del agua durante la investigación. Del referido análisis se obtuvo que el pH se incrementó ligeramente de 7.24 a 7.31, por lo que se mantuvo como un agua ligeramente neutra. La conductividad eléctrica también presentó un ligero incremento de 0.49 a 0.68 dS/m, por lo que la muestra continuó con la clasificación de C2 (agua con moderada salinidad). La relación de adsorción de Sodio (RAS) al inicio del proyecto fue de 0.6, mientras que en el último análisis fue de 0.5 magnitud que sigue correspondiendo a un valor bajo en sodio representado como S1. Se determinó el índice de saturación de Langelier en -0.48, lo que indicó que no hubo riesgo de precipitación del carbonato de calcio, no hubo peligro de obstrucción de goteros por formación de precipitados, en conformidad con lo expresado por Martínez (2001). En el Anexo 3 y 4 se muestran los resultados de laboratorio del análisis de agua.

5.1.2 Características microbiológicas

Se realizó el análisis microbiológico para determinar los valores de coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli* presentes en el agua del canal. En la Tabla 12 se muestran los resultados del análisis de calidad de agua. La comparación entre los resultados obtenidos y los Estándares Nacionales de Calidad ambiental para agua (DS N°015-2015-MINAM), en la categoría 3 correspondiente a riego de vegetales y bebidas de animales, se observó que la cantidad de coliformes totales, fecales y de *Escherichia coli* están por debajo de

los niveles permitidos, por lo que el agua que se empleó cumplió con los requisitos de agua para riego.

Tabla 11: Resultados del análisis microbiológico del agua de riego (15/06/2016)

Análisis Microbiológico	Muestra (15/06/2016)	Estándares Nacionales De Calidad Ambiental Para Agua, ECA 2015
Enumeración de coliformes totales (NMP/100ml)	49	50×10^2
Enumeración de coliformes fecales (NMP/100ml)	6.1	10×10^2
Enumeración de <i>Escherichia coli</i> (NMP/100ml)	4.0	10×10

FUENTE: Laboratorio de Ecología microbiana y Biotecnología “Marino Tabusso”. UNALM.

5.2 Análisis de suelo

5.2.1 Características físicas

En la Tabla 12 se presentan los resultados de las características físicas de suelo correspondientes al campo experimental. El suelo es de textura franca (Arena: 50%, Limo: 36%, Arcilla: 14%), y contiene un mayor porcentaje de arena, pero suficiente limo y arcilla para conferirle cohesión.

Tabla 12: Análisis de textura del suelo realizado con muestras a profundidad entre 0-15 cm (26/07/2016)

Número de muestra		Análisis mecánico			
Lab.	Campo	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Textura
10284	Suelo	50.00	36.00	14.00	Franco

FUENTE: Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertirriego. UNALM.

5.2.2 Características químicas

Los resultados del análisis de las características químicas del suelo para el campo experimental se presentaron en la Tabla 3. El campo experimental presentó un bajo porcentaje en materia orgánica, con potasio disponible medio y fosforo disponible alto. En cuanto a sales el campo fue muy ligeramente salino. Adicionalmente, en la parte final de la investigación se realizaron muestreos de suelo entre 10 y 15 cm de profundidad, en cada una de las parcelas con el objetivo de determinar el nivel de salinidad en cada unidad después de los meses en los que se sometió a las parcelas a láminas de riego por debajo de lo usual. En la Tabla 13

se presenta un resumen de los resultados obtenidos del laboratorio, donde se observa que el máximo nivel de conductividad eléctrica alcanzado fue de 2.06 dS/m en el tratamiento de coeficiente de riego de 0.4, lo que indica que el suelo pasó a ser ligeramente salino, sin representar una amenaza para el césped debido a que este cultivo es tolerante a la salinidad y puede crecer adecuadamente en suelos con niveles de salinidad cercanos a los 15mmhos/cm (Monje, 2006). Los coeficientes de variabilidad en las muestras de los tratamientos T1, T2, T3 y T4 fueron los siguientes: 0.13, 0.55, 0.19, 0.08. Tal observación se puede apreciar en la Figura 7, donde el coeficiente de determinación resulta 0.246. Adicionalmente se efectuó un análisis estadístico de la conductividad eléctrica, los resultados del análisis de varianza se muestran en la Tabla 14, donde p – valor es mayor al 5%, lo que significa que no hay diferencias en la salinidad de los tratamientos. Se verificó el cumplimiento de los dos supuestos de distribución normal y de homogeneidad de varianzas y en la Tabla 15 y en la Figura 8 se expresan en forma tabular y gráfica respectivamente, que los tratamientos tienen igual efecto en la salinidad, puesto que todos tienen medias parecidas y los errores se traslapan. Estadísticamente no se hallaron diferencias significativas en los niveles de salinidad y las láminas aplicadas, sin embargo, numéricamente si se observó una relación entre láminas de riego y salinidad en el período evaluado. Los niveles de pH tendieron a incrementarse, el máximo incremento fue de 0.33, lo que los clasifica en su mayoría como moderadamente alcalinos. Por otro lado, los niveles de materia orgánica también se incrementaron, al igual que el nivel de potasio disponible.

Tabla 13: Niveles de salinidad del suelo en la parte final de la investigación

Tratamientos	Repeticiones	CE (dS/m)	CEpromedio(dS/m)	pH	MO (%)	P (ppm)	K(ppm)	CaCO ₃ (%)
T1 Coeficiente de riego = 1	T1-M1	1.52	1.32	7.89	2.36	14.66	156.8	3.34
	T1-M2	1.24		8.08	2.01	18.8	302.0	2.82
	T1-M3	1.2		8.02	1.87	13.63	288.0	3.08
T2 Coeficiente de riego = 0.8	T2-M1	2.75	1.71	8.05	1.83	25.1	202.0	3.61
	T2-M2	0.93		8.18	2.63	17.11	210.0	3.17
	T2-M3	1.44		8.06	2.42	16.73	348.0	3.34
T3 Coeficiente de riego = 0.6	T3-M1	1.78	1.68	8.04	2.43	22.37	240.0	3.70
	T3-M2	1.95		8.07	2.08	17.29	197.8	3.26
	T3-M3	1.32		7.99	1.94	15.04	342.0	2.90
T4 Coeficiente de riego = 0.4	T4-M1	1.99	2.06	7.92	2.56	21.24	474.0	2.99
	T4-M2	2.25		8.02	1.69	14.94	129.2	3.52
	T4-M3	1.94		8.02	1.94	14.94	206.0	3.43

CE=Conductividad eléctrica, pH= Potencial hidrógeno, MO=Materia orgánica, P=Fósforo, K= Potasio, CaCO₃= Calcáreo total.

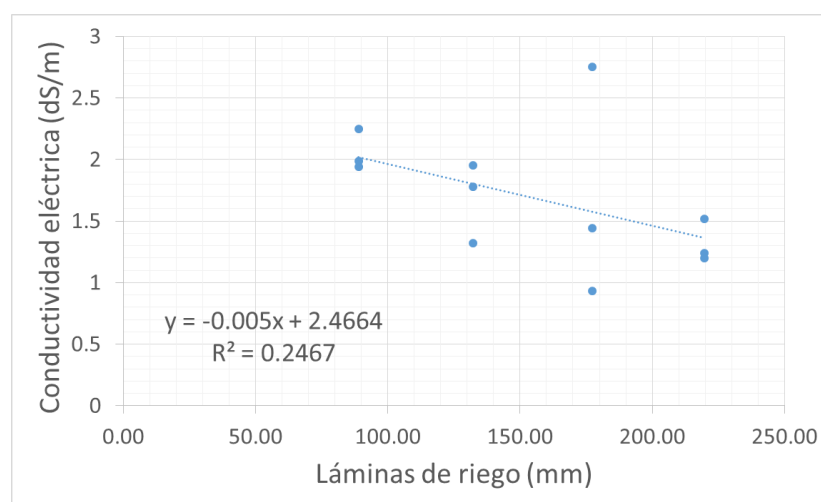


Figura 7: Relación entre láminas de riego aplicadas y conductividad eléctrica del extracto de saturación (07/07/2016)

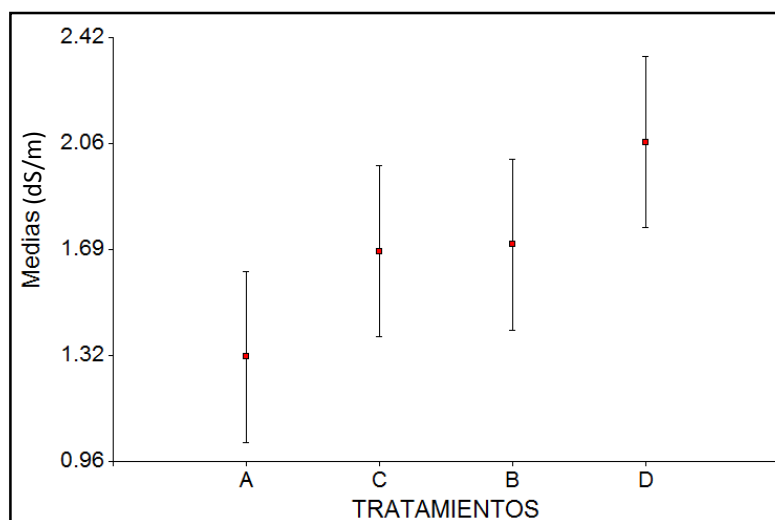
Tabla 14: Análisis de varianza para la conductividad eléctrica

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
CE (dS/m)	12	0.28	0.01	30.21	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.82	3	0.27	1.05	0.4226
TRATAMIENTOS	0.82	3	0.27	1.05	0.4226
Error	2.09	8	0.26		
Total	2.91	11			

Tabla 15: Prueba de Tukey de la conductividad eléctrica

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=1.33694			
Error: 0.2614 gl: 8			
TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.
A	1.32	3	0.30 A
C	1.68	3	0.30 A
B	1.71	3	0.30 A
D	2.06	3	0.30 A
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)			

Figura 8: Análisis de medias para la conductividad eléctrica



5.3 Condiciones climáticas durante la investigación

Las características climatológicas fueron registradas mediante una estación meteorológica automática Davis pro vantage 2 durante los meses de abril a julio. Los promedios de las variables climáticas se muestran en la Tabla 16. En este periodo de tiempo se tuvo una temperatura máxima de 29.80°C en el mes de abril y una temperatura mínima de 13.7°C en el mes de junio, la disminución de temperatura se debió al cambio de estación de otoño a invierno. La velocidad del viento en promedio fue de 0.93m/s. La humedad relativa fue incrementándose, siendo la máxima en el mes de julio con 99%, y una mínima de 55% en el mes de abril. Contrario a este comportamiento, la radiación solar fue decreciendo de 14.02 MJm⁻²·día⁻¹ en el mes de abril a 3.99 MJm⁻²·día⁻¹ en el mes de julio. Las precipitaciones fueron despreciables durante la evaluación. La máxima evapotranspiración de referencia diaria fue de 5.1 mm/día en el mes de abril.

Tabla 16: Variables climatológicas durante la investigación

Mes	T _{máx} (°C)	T _{mín} (°C)	T _{prom} (°C)	u ₂ (ms-1)	HR (%)	R _s (MJm-2día-1)	Eto (mm/día)
Abril	29.80	18.1	23.43	1.12	81.40	14.02	3.09
Mayo	27.30	15.80	20.70	0.81	85.32	9.50	1.95
Junio	22.80	13.70	17.89	0.83	91.08	5.87	1.10
Julio	21.30	14.50	17.15	0.96	91.16	4.61	0.81
Total	25.30	15.53	19.79	0.93	87.24	8.50	1.74

T_{máx}= Máxima temperatura del aire, T_{mín}=Mínima temperatura del aire, T_{prom}=Temperatura promedio del aire, u₂= Velocidad del viento a 2 m de altura, R_s= Radiación solar, HR= Humedad relativa, Eto= Evapotranspiración de referencia.

5.4 Evapotranspiración de referencia

La siguiente figura presenta los valores registrados desde el 5 de abril hasta el 31 de julio del 2016. La línea de color gris representa a los valores de la evapotranspiración obtenidos mediante las lecturas diarias en el tanque evaporímetro, de donde se tuvo una máxima de 5.10 mm/día y una mínima de 0.18 mm/día. Los máximos valores de evapotranspiración se presentaron durante el mes de abril, mientras que en el mes de mayo comenzaron a decrecer los valores debido al cambio de estación. Las evapotranspiraciones potenciales promedio para los meses de abril, mayo, junio y julio fueron de 3.09, 2.33, 1.31 y 0.88 mm respectivamente, tal como se puede apreciar en la Tabla 17. Cabe destacar que el riego que se aplicó a cada uno de los tratamientos fue en función a las láminas obtenidas del tanque evaporímetro Clase A. Se presentan dos curvas adicionales, la de color azul corresponde a la evapotranspiración obtenida a través de la ecuación de Penman- Monteith, según la FAO. Para elaborar esta curva se emplearon los datos de temperatura, humedad relativa, radiación solar y velocidad del viento obtenidas de una estación meteorológica Davis vantage pro 2, los cuales se ordenaron y programaron en una hoja Excel para obtener la ETo mediante el método Penman-Monteith. La estación meteorológica también presenta de forma automática valores de la ETo, y la consola procesa los datos mediante la misma ecuación, por lo que la tendencia entre ambas curvas es similar. En comparación de las curvas obtenidas con la estación automática, así como las obtenidas de forma mecánica por la ecuación de la FAO, con la curva del tanque evaporímetro, se puede observar cierto desfase, el cual responde a la sensibilidad del instrumento, en este caso la estación, puesto que el tanque evaporímetro es el método por el cual se calibran los dispositivos de medición electrónica.

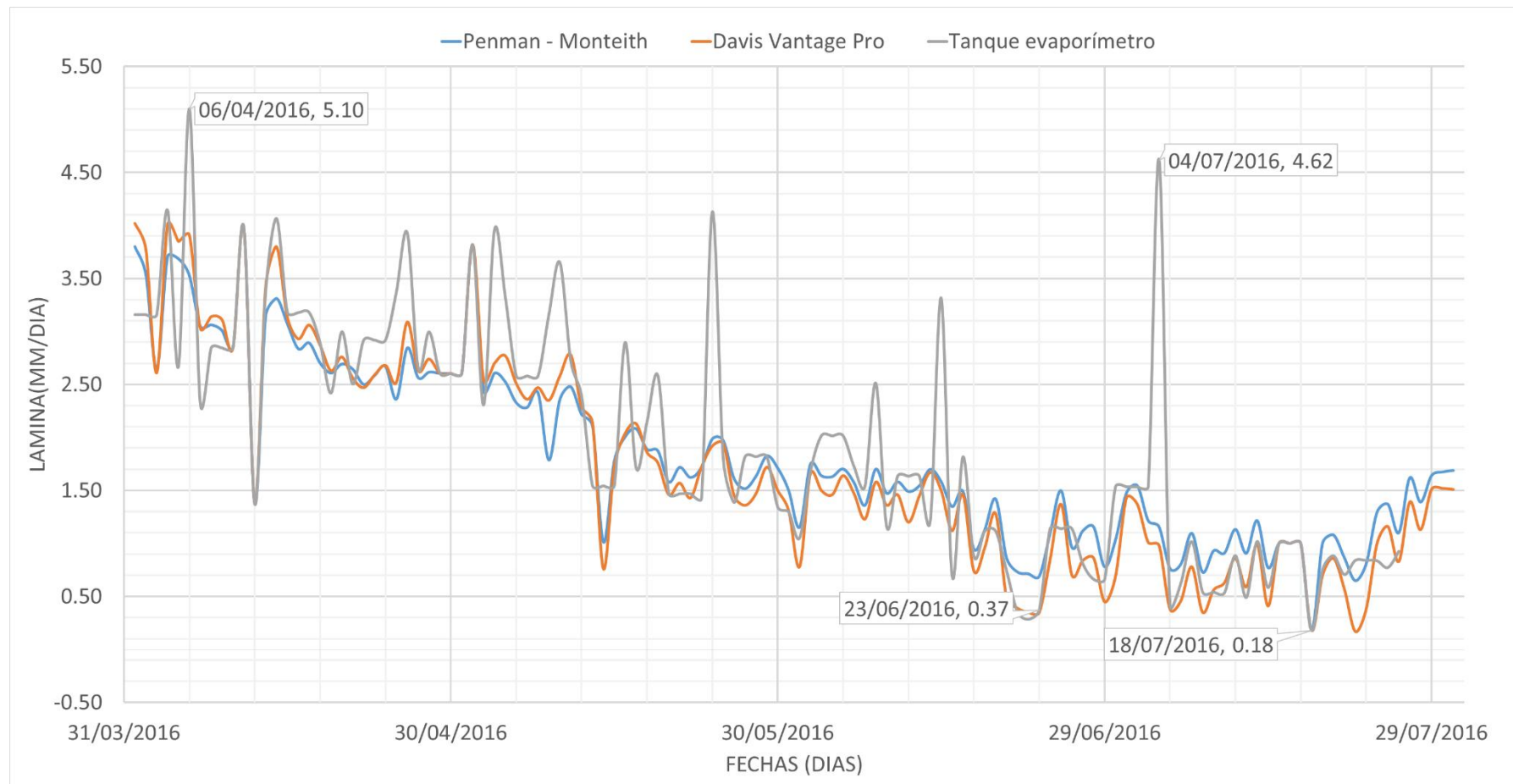


Figura 9: Variación temporal de la evapotranspiración durante el periodo de estudio.

Tabla 17: Evapotranspiración de referencia a nivel mensual obtenida del tanque evaporímetro Clase A

Evapotranspiración de referencia						
	Abril	Mayo	Junio	Julio	Total	Promedio
ETo acumulada (mm)	80.22	72.18	39.37	27.13	218.90	-
ETo promedio (mm)	3.09	2.33	1.31	0.88	-	1.84

5.5 Láminas de riego

Las láminas de riego se determinaron en función al tanque evaporímetro Clase A, la ETo que se obtuvo se multiplicó por los factores de riego de 1, 0.8, 0.6 y 0.4. Las lecturas de la ETo durante los meses en los que se desarrolló el proyecto se muestran en la Tabla 19, tales valores de láminas resultan diferentes de la ETo acumulada mensual, presentada en la Tabla 17 debido a que se solían acumular las láminas por cuestiones de manejo en campo. Durante el mes de abril los riegos fueron de tres veces por semana, debido a que los valores de evapotranspiración eran superiores al valor promedio de 3.09 mm/día obtenido en el mismo mes. En los meses de mayo, junio y julio las láminas de riego diarias se acumularon debido a los bajos valores registrados (consecuencia del cambio de estación a invierno), por lo que la frecuencia de riego fue de dos a una vez por semana. Como se observa en la Tabla 18, las láminas aplicadas son superiores a las láminas teóricas puesto que incluyen el tiempo de presurización del sistema, salidas de agua menores de las válvulas de aire y/o tomas de presión. Por otro lado, en la Tabla 20 se muestran las láminas adicionales entregadas durante los meses de mayo y julio por cuestiones de lavado del suelo y para evitar obstrucción de los goteros, en este cuadro se puede apreciar que el tratamiento de coeficiente de riego 1 (T1) es el que menos lámina de lavado recibió (68.53 mm), mientras de que el tratamiento de coeficiente de riego 0.4 (T4) es el que mayor lámina de lavado recibió (118.88 mm) puesto que las parcelas de este tratamiento estuvieron sometidas a un estrés hídrico superior que los otros tratamientos.

Tabla 18: Láminas aplicadas acumuladas de abril a julio

Lámina aplicada acumulada (mm)					
Tratamientos	Abril	Mayo	Junio	Julio	Total
T1	80.54	68.06	47.92	23.13	219.65
T2	64.68	54.57	38.65	19.26	177.17
T3	48.18	41.09	29.07	13.94	132.28
T4	32.36	27.61	19.49	9.47	88.93

Tabla 19: Láminas teóricas acumuladas de abril a julio

Lámina teórica acumulada (mm)					
Tratamientos	Abril	Mayo	Junio	Julio	Total
T1	77.62	66.61	47.52	24.25	216.00
T2	62.10	53.29	38.02	19.40	172.80
T3	46.57	39.97	28.51	14.55	129.60
T4	31.05	26.64	19.01	9.70	86.40

Tabla 20: Láminas de lavado del suelo

Láminas de lavado (mm)			
Tratamientos	Mayo	Julio	Total
T1	16.60	51.94	68.53
T2	18.58	87.75	106.33
T3	20.56	55.06	75.62
T4	22.55	96.34	118.88

La evaluación del sistema de riego por goteo subterráneo se efectuó mediante la comparación de las láminas teóricas (láminas obtenidas a partir de la evapotranspiración diaria del tanque evaporímetro) con las láminas aplicadas a cada una de las parcelas. Esta última parte se realizó mediante el control de las válvulas volumétricas, es decir mediante el registro de las lecturas de tales válvulas antes y después del riego. En la Figura 10 se aprecia el resultado que se obtuvo mediante una línea de regresión, donde la pendiente fue 1.07, valor cercano a un ángulo de 45° lo que significa que los valores de láminas calculadas estuvieron adecuadamente representados por los valores de láminas aplicadas. La recta no presenta valores atípicos, pues ello significaría alguna falla en el sistema o en las mangueras de riego, esta acotación fue parte del control del sistema de RGS que se llevó a cabo durante la investigación.

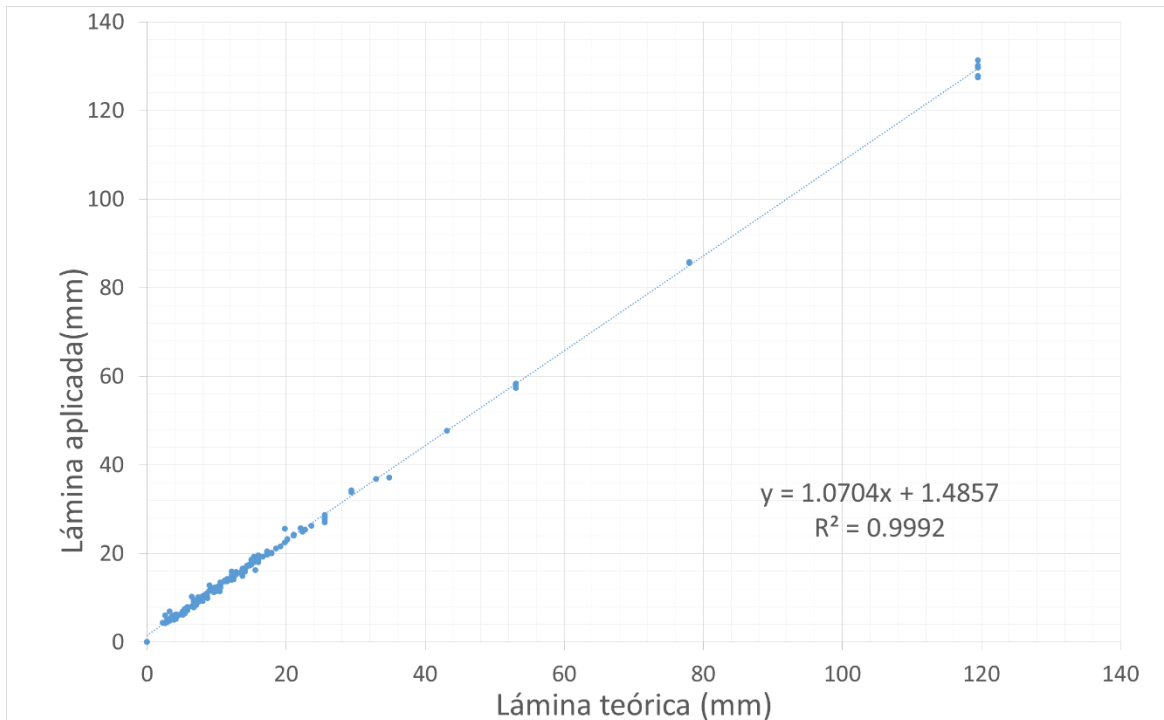


Figura 10: Láminas de riego

5.6 Contenido de humedad del suelo

Las curvas de humedad del suelo se obtuvieron a través de los sensores de reflectometría en el dominio de la frecuencia, mediante el software Datatrac 3, a través de este software se programaron las lecturas de humedad cada quince minutos. En la Figura 11 en el eje izquierdo se muestra la curva de contenido de humedad para el tratamiento de coeficiente de riego 1, mientras que en el eje derecho de la misma figura se aprecian las láminas de riego aplicadas durante los meses de abril a julio. A partir de las gráficas obtenidas durante la investigación se determinó que la capacidad de campo de la parcela era de 23 % de contenido de volumétrico y el punto de marchitez permanente era de 11.5 % de contenido volumétrico. En este tratamiento se mantuvo a capacidad de campo pues la lámina de ETo era repuesta en su totalidad a diferencia de los otros tratamientos. Por lo tanto, se trabajó por encima del 30 % del porcentaje de humedad disponible puesto que solo se empleó el 8.7 % de dicho porcentaje. Sin embargo, las parcelas fueron sometidas a láminas de lavado de suelo por lo que se puede apreciar en la curva de humedad dos incrementos abruptos del contenido de humedad, los que se correlacionan con las láminas de riego aplicadas de 26.51 mm y de 59.74 mm en los meses de mayo y julio respectivamente. La figura permite apreciar también como se fueron espaciando los riegos con el cambio de estación por cuestiones de operación en campo.

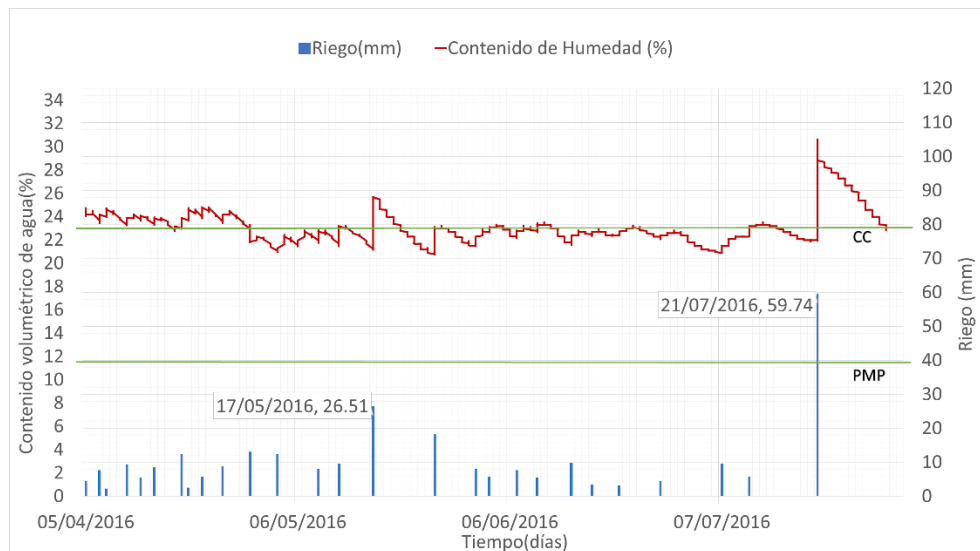


Figura 11: Contenido de humedad en el tratamiento T1

Solo se presenta las curvas de contenido de humedad de los tratamientos de coeficiente de riego 1 y de 0.4, porque fueron los dos tratamientos extremos. En la Figura 12 de manera similar se observa la variación temporal del contenido de humedad y los riegos aplicados para el coeficiente de riego 0,4. A partir de las gráficas obtenidas durante la investigación se determinó que la capacidad de campo de la parcela era de 28% de contenido de volumétrico y el punto de marchitez permanente de 14% de contenido volumétrico. Este tratamiento fue el que recibió menor volumen de agua durante todo el período, donde el mínimo contenido de humedad fue de 18.4% lo que representó el 68.57% del porcentaje de humedad disponible, por lo tanto, se trabajó por debajo del 30% de la humedad disponible. Cabe destacar que se partió de un punto donde todos los tratamientos estaban a capacidad de campo, sin embargo, las curvas de humedad fueron decreciendo periódicamente como se aprecia en la Figura 12. En este tratamiento las láminas de lavado no generaron incrementos abruptos en los contenidos de humedad del suelo, sin embargo, si se apreciaron incrementos en el contenido de humedad en correlación con las láminas de riego de 26.51 y 59.74 mm en los meses de mayo y julio respectivamente.

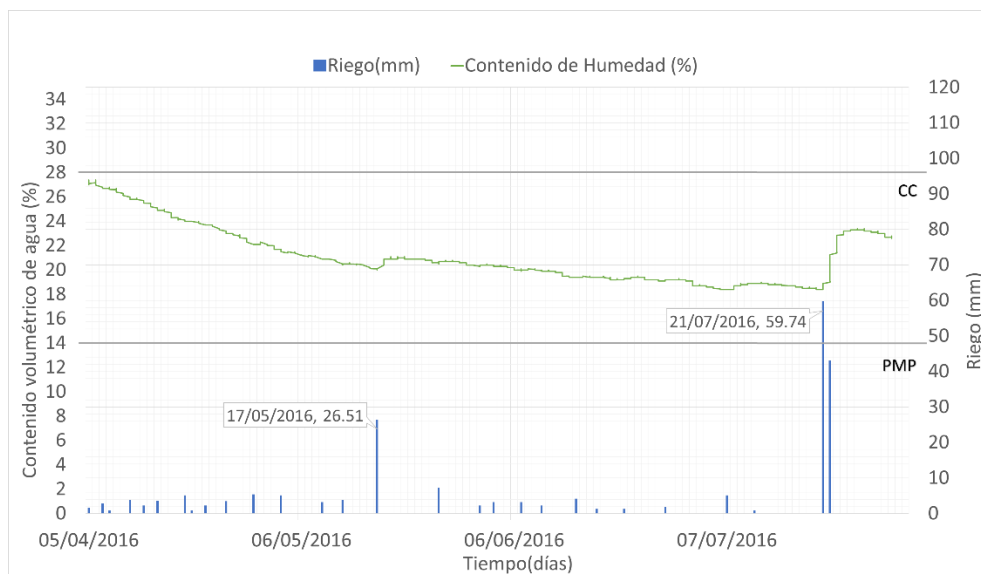


Figura 12: Contenido de humedad en el tratamiento T4

Los porcentajes de humedad disponible empleados en los tratamientos de coeficiente de riego 0.8 y 0.6 fueron de 40% y 21.91% respectivamente, las curvas de contenido de humedad de ambos tratamientos se pueden consultar en el Anexo 5. Por otro lado, y pese a tratarse de parcelas muy próximas entre sí (a menos de 2 m), se pudo observar diferentes contenidos de humedad, los cuales no se vieron justificados por la densidad del suelo puesto que los valores obtenidos para las parcelas de coeficientes de riego de 1, 0.8, 0.6 y 0.4 fueron de 1.39, 1.28, 1.27 y 1.29 g/cm³ respectivamente. El coeficiente de variabilidad de dichos valores fue de 4.11 % lo que implica una mínima variabilidad en los datos estudiados. Dentro de las parcelas experimentales se encontró material de desmonte y objetos ajenos al suelo, tales elementos fueron hallados a pesar de que al inicio de la investigación se empleó maquinaria pesada en la preparación del terreno, lo cual explica la variación en las características de suelos muy próximos.

5.7 Peso de materia fresca

El peso de materia fresca indica el crecimiento del césped, por lo que para cuantificar esta medida se realizaron cortes de césped quincenales. De las podas se obtuvieron muestras de césped las cuales fueron pesadas para determinar los pesos frescos. Se efectuaron seis podas de césped desde el inicio de la diferenciación del riego. Estos eventos se pueden observar gráficamente en la Figura 13, donde se aprecia que las etapas donde hubo mayor desarrollo fue en las primeras podas (abril), pues el crecimiento del césped se vio afectado por las condiciones climáticas de un verano atípico causado por

el fenómeno de “El Niño”, sin embargo, el crecimiento se vio mermado en los siguientes cortes, producto del cambio de estación y del menor contenido de humedad del suelo, en comparación con los primeros muestreos. El tratamiento T1 (coeficiente de riego: 1) no presentó un mayor crecimiento de césped en comparación con los otros tratamientos, pese a que las láminas de riego aplicadas a este tratamiento mantuvieron el suelo a capacidad de campo, situación que no se dio con las otras parcelas experimentales. No hay una notable diferencia entre los tratamientos T2 (coeficiente de riego: 0.8) y T1, por el contrario, en los primeros cuatro eventos, el peso fresco fue mayor en el tratamiento T2, fueron en la quinta y en la sexta poda donde los pesos frescos de T1 fueron mayores a los de T2. Por otro lado, en los tratamientos T3 (coeficiente de riego: 0.6) y T4 (coeficiente de riego: 0.4), donde este último recibió los menores volúmenes de agua, en dos de los seis eventos de poda los pesos húmedos de T4 fueron mayores a los de T3, sin embargo, la diferencia entre los pesos de ambos fue de 16.66 g como máximo en la quinta poda y de 1.7g como mínimo en el tercer corte de césped. Los efectos de las dosis de riego aplicadas a cada parcela se observaron en la quinta y sexta poda donde el crecimiento fue proporcional a la lámina de riego del tratamiento. El máximo peso fresco fue registrado en el tratamiento T2 en la primera poda con 107.73 g, mientras que el mínimo fue de 18.27 g en la sexta poda en el tratamiento T4.

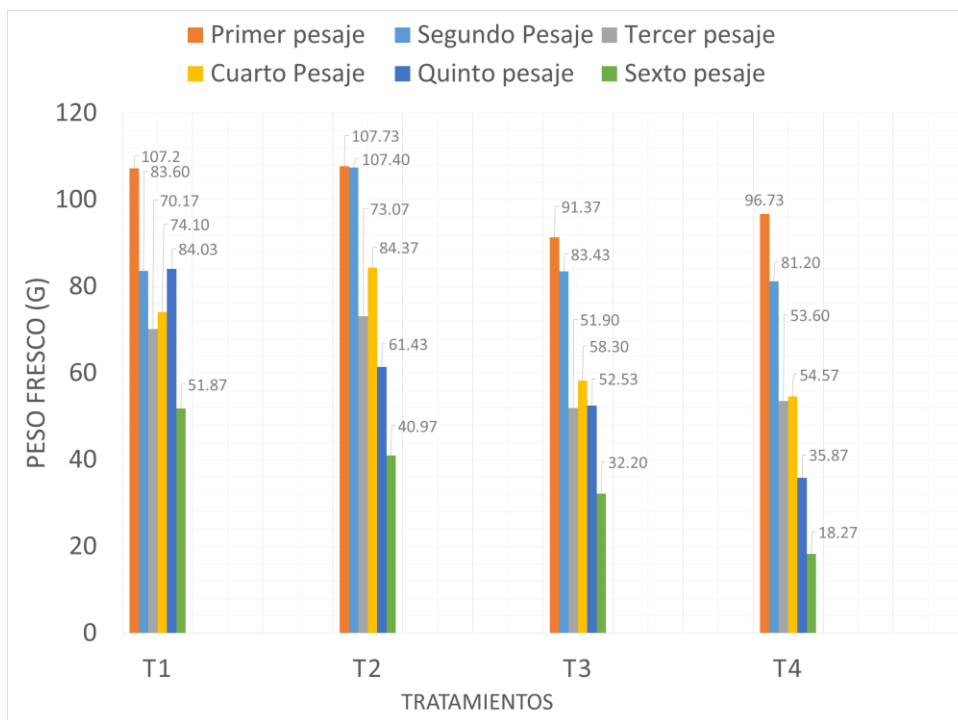


Figura 13: Corte quincenal de césped: Peso fresco

Estadísticamente se evaluaron los tamaños del efecto, en respuesta a las sugerencias de la ASA (American Statistical Association), publicadas en el mes de marzo en referencia al desuso del valor-p debido a que las conclusiones científicas no se deben basar únicamente en el hecho de que un valor-p pasa o no un determinado umbral, entre otros motivos que se explican en el citado comunicado. A continuación, se presentan los resultados del análisis estadístico del peso fresco en la primera poda.

Primera poda

Tabla 21: Análisis de varianza del peso fresco en la primera poda

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
WFRESCO	12	0.06	0.00	32.81

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	583.65	3	194.55	0.18	0.9083
TRATAMIENTOS	583.65	3	194.55	0.18	0.9083
Error	8741.94	8	1092.74		
Total	9325.59	11			

A partir de la Tabla 21, se observa que no hay diferencia en los tratamientos puesto que p-valor es mayor a 5%.

5.7.1 Comprobación de los supuestos

A. Distribución normal

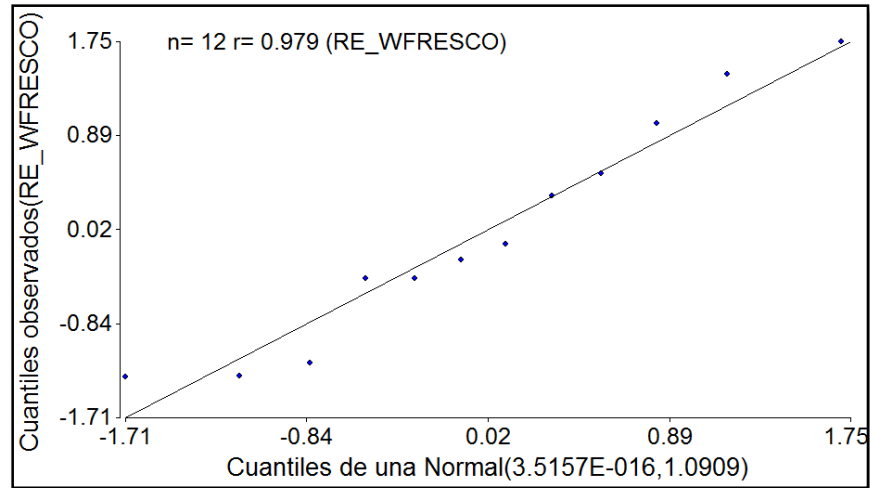


Figura 14: Prueba Shapiro – Wilks del peso fresco en la primera poda

La recta de la regresión en la Figura 14 fue trazada según la prueba Shapiro-Wilk, donde el valor de r es 0.979, valor mayor a 0.94, por lo que se acepta la distribución normal de los residuos. Cualquier función lineal de variables normalmente distribuidas se asume de distribución normal, por ser parte de sus propiedades.

B. Homogeneidad de varianzas

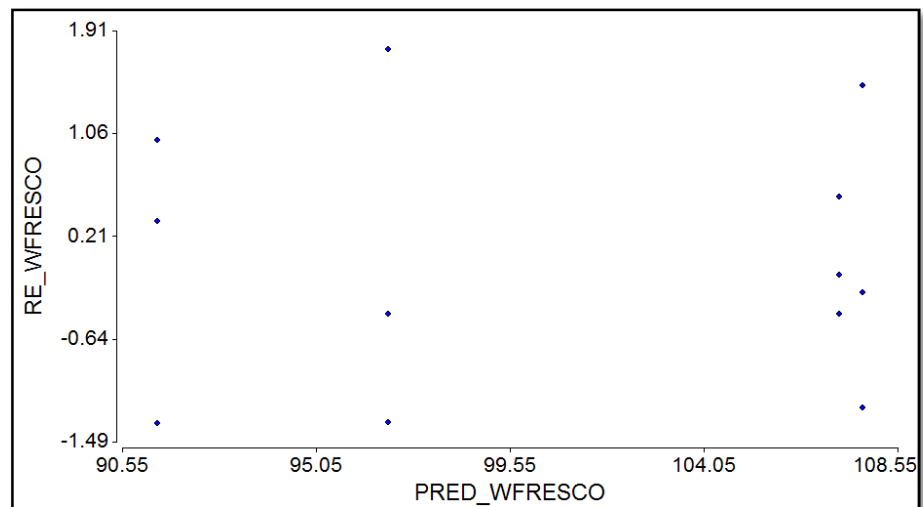


Figura 15: Prueba de homogeneidad de varianzas del peso fresco en la primera poda

En la Figura 15 los puntos no forman un embudo, por lo tanto, hay homogeneidad de varianzas, se cumplen con los dos principios del diseño completamente al azar, es decir distribución normal y homogeneidad de varianzas.

5.7.2 Prueba de Tukey

Tabla 22: Prueba de Tukey del peso fresco en la primera poda

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=86.43355			
Error: 1092.7425 gl: 8			
TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.
T3	91.37	3	19.09 A
T4	96.73	3	19.09 A
T1	107.20	3	19.09 A
T2	107.73	3	19.09 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

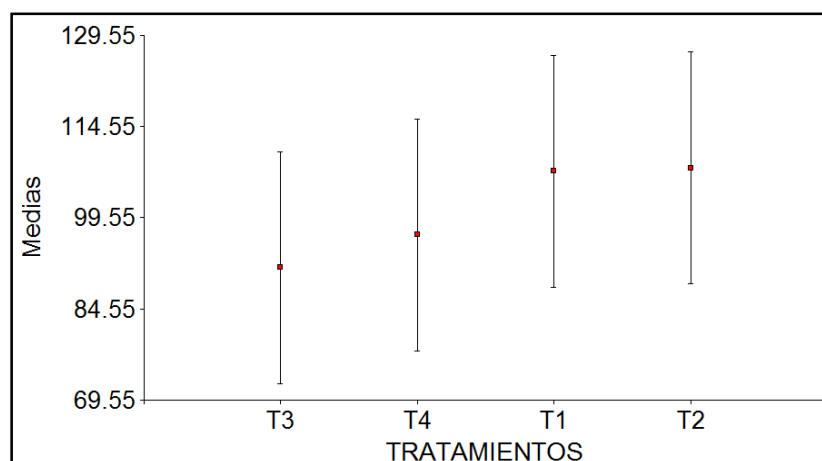


Figura 16: Análisis de medias de los pesos frescos en la primera poda

La Tabla 22 y la Figura 16 muestran de forma tabular y gráfica respectivamente, que los tratamientos tienen igual efecto, puesto que todos tienen medias parecidas y los errores se traslapan. El procedimiento citado en este acápite se llevó a cabo para cada uno de los seis cortes de césped efectuados entre abril y junio, el resumen de los resultados obtenido del análisis estadístico para cada evento de poda se muestra en la Tabla 23, donde se observa que no hubo diferenciación en los pesos frescos. Para mayor detalle de cada una de las gráficas consultar el Anexo 6.

Tabla 23: Resumen del análisis estadístico, variable peso fresco

Fecha	Tratamientos	Descripción
Primera poda (18/04/2016)	T1 (C.R.=1.0)	Según el análisis de varianza, no hubo diferencias en los tratamientos.
	T2 (C.R.=0.8)	
	T3 (C.R.=0.6)	
	T4 (C.R.=0.4)	
Segunda poda (3/05/2016)	T1 (C.R.=1.0)	Según el análisis de varianza, no hubo diferencias en los tratamientos.
	T2 (C.R.=0.8)	
	T3 (C.R.=0.6)	
	T4 (C.R.=0.4)	
Tercera poda (16/05/2016)	T1 (C.R.=1.0)	Según el análisis de varianza, no hubo diferencias en los tratamientos.
	T2 (C.R.=0.8)	
	T3 (C.R.=0.6)	
	T4 (C.R.=0.4)	
Cuarta poda (31/05/2016)	T1 (C.R.=1.0)	Según el análisis de varianza, no hubo diferencias en los tratamientos.
	T2 (C.R.=0.8)	
	T3 (C.R.=0.6)	
	T4 (C.R.=0.4)	
Quinta poda (14/06/2016)	T1 (C.R.=1.0)	Según el análisis de varianza, no hubo diferencias en los tratamientos.
	T2 (C.R.=0.8)	
	T3 (C.R.=0.6)	
	T4 (C.R.=0.4)	
Sexta poda (27/06/2016)	T1 (C.R.=1.0)	Según el análisis de varianza, no hubo diferencias en los tratamientos.
	T2 (C.R.=0.8)	
	T3 (C.R.=0.6)	
	T4 (C.R.=0.4)	

La sumatoria de pesos frescos obtenidos en cada evento de poda y por cada unidad experimental se observan en la Tabla 24, donde se observa que los pesos frescos promedio de los tratamientos T1, T2, T3 y T4 fueron 470.97, 474.97, 369.73 y 340.23 g respectivamente. Los coeficientes de variación fueron altos, lo que indica que no hubo homogeneidad en las muestras, sin embargo, según el control de válvulas volumétricas no se presentaron fallas en el sistema pues las láminas teóricas presentaron alta correlación con las láminas aplicadas tal como se expresó en la Figura 10 . Ante ello la variabilidad solo es explicada por la falta de homogeneidad en el suelo. No obstante, se efectuó un análisis estadístico, donde a partir del análisis de varianza expresado en la Tabla 25, se observa que no hay diferencia en los tratamientos puesto que p-valor es mayor a 5%. Además, la Tabla 26 y la Figura 17 muestran de forma tabular y gráfica respectivamente, que los tratamientos tuvieron igual efecto, puesto que todos presentaron medias parecidas y los errores se traslapan.

Tabla 24: Sumatoria de pesos frescos

Tratamientos	Repeticiones	Sumatoria de pesos frescos de césped (g)	Peso fresco promedio del césped (g)	Desviación estandar	Coefficiente de variabilidad
T1 (Coeficiente de riego = 1.0)	T1-M1	605.900	470.967	152.317	0.323
	T1-M2	501.200			
	T1-M3	305.800			
T2 (Coeficiente de riego = 0.8)	T2-M1	458.100	474.967	96.018	0.202
	T2-M2	388.500			
	T2-M3	578.300			
T3 (Coeficiente de riego = 0.6)	T3-M1	339.500	369.733	77.130	0.209
	T3-M2	312.300			
	T3-M3	457.400			
T4 (Coeficiente de riego = 0.4)	T4-M1	521.200	340.233	156.724	0.461
	T4-M2	248.900			
	T4-M3	250.600			

Tabla 25: Análisis de varianza de la sumatoria del peso fresco

Análisis de la varianza				
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
WFRESCO	12	0.26	0.00	30.30

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo.	43089.58	3	14363.19	0.91	0.4768	
TRATAMIENTOS	43089.58	3	14363.19	0.91	0.4768	
Error	125862.77	8	15732.85			
Total	168952.34	11				

Tabla 26: Prueba de Tukey de la sumatoria del peso fresco

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=327.96469				
Error: 15732.8458 gl: 8				
TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.	
T4	340.23	3	72.42	A
T3	369.73	3	72.42	A
T1	470.97	3	72.42	A
T2	474.97	3	72.42	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

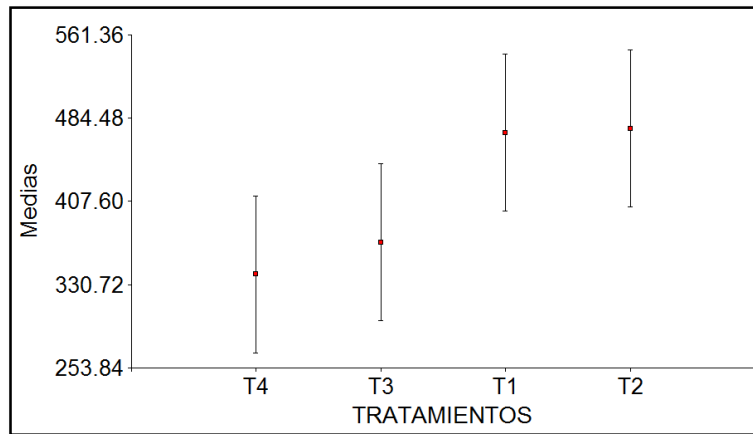


Figura 17: Análisis de medias de la sumatoria del peso fresco

5.8 Peso de materia seca

Los pesos secos fueron obtenidos después de que las muestras de pesos frescos fueran deshidratadas por un día en un horno a 105°C, los pesos promedio de cada una de las podas se muestra en la Figura 18. El tratamiento T1 (coeficiente de riego: 1) no presentó mayores reservas en el césped en comparación con los otros tratamientos, a pesar de que las láminas de riego aplicadas a este tratamiento mantuvieron el suelo a capacidad de campo, situación que no se dio con las otras parcelas experimentales. No hay una notable diferencia entre los tratamientos T2 (coeficiente de riego: 0.8) y T1, por el contrario, en tres de los seis eventos, el desarrollo del césped fue mayor en el tratamiento T2. Similares diferencias se observan entre los tratamientos T3 (coeficiente de riego: 0.6) y T4 (coeficiente de riego: 0.4), donde este último recibió los menores volúmenes de agua, sin embargo, los pesos de materia seca fueron superiores al tratamiento T3 en tres de los seis eventos de corte del gramado. El máximo peso seco promedio fue registrado en el tratamiento T1 en la primera poda con 27.06 g, mientras que el mínimo peso seco promedio fue de 4.93 g en la quinta poda en el tratamiento T4.

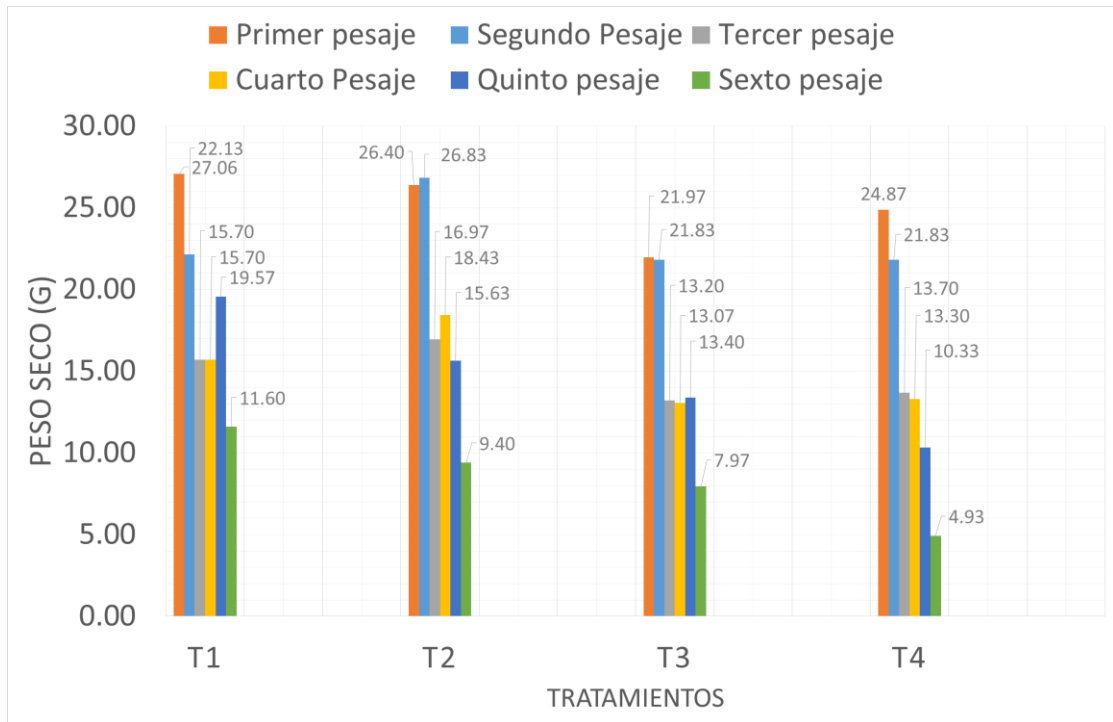


Figura 18: Corte de césped: Peso seco

A continuación, se presentan los resultados del análisis estadístico del peso seco del césped en la primera poda.

Tabla 27: Análisis de varianza del peso seco en la primera poda

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
WSECO	12	0.09	0.00	30.81

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	46.24	3	15.41	0.26	0.8535
TRATAMIENTOS	46.24	3	15.41	0.26	0.8535
Error	477.39	8	59.67		
Total	523.63	11			

A partir de la Tabla 27, se observa que no hay diferencia en los tratamientos puesto que p-valor es mayor a 5%.

5.8.1 Comprobación de los supuestos

A. Distribución normal

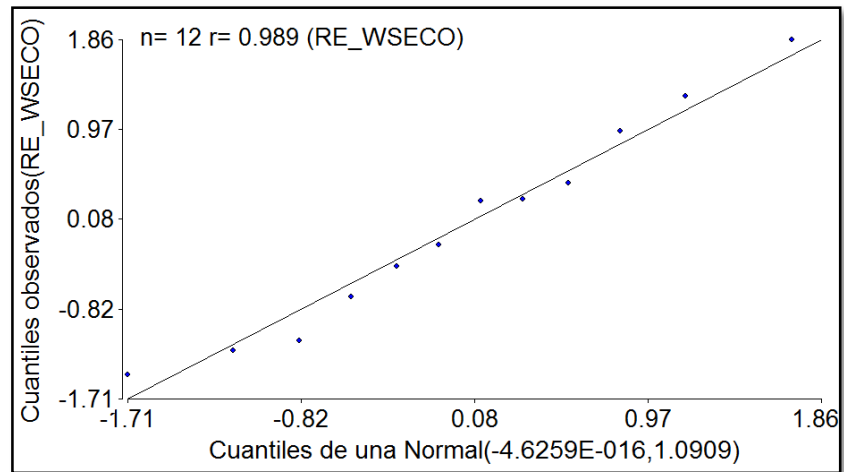


Figura 19: Prueba Shapiro – Wilks del peso seco en la primera poda

La recta de la regresión en la Figura 19 fue trazada según la prueba Shapiro-Wilk, donde el valor de r es 0.989, valor mayor a 0.94, por lo que se acepta la distribución normal de los residuales. Cualquier función lineal de variables normalmente distribuidas se asume de distribución normal, por ser parte de sus propiedades.

B. Homogeneidad de varianzas

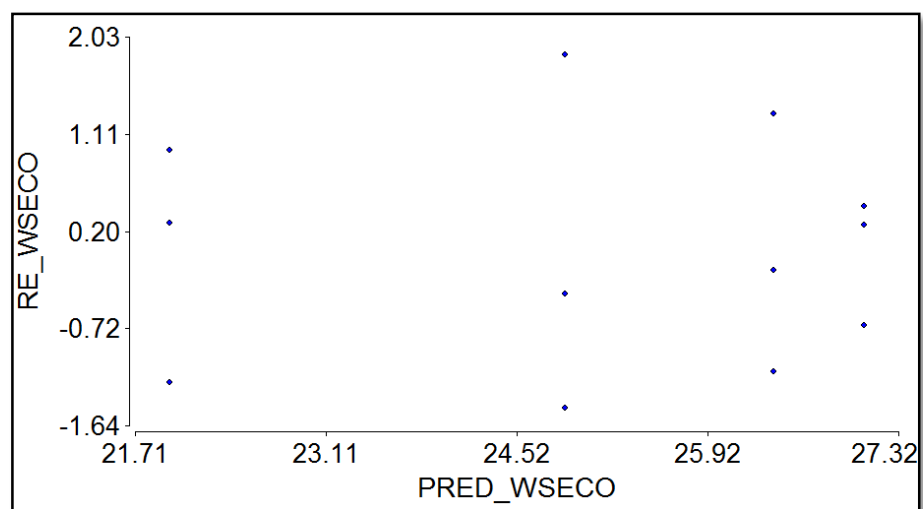


Figura 20: Prueba de homogeneidad de varianzas del peso seco en la primera poda

En la Figura 20, los puntos no forman un embudo, por lo tanto, hay homogeneidad de varianzas, entonces se cumplen los dos principios del diseño, es decir distribución normal y homogeneidad de varianzas.

5.8.2 Prueba de Tukey

Tabla 28: Prueba de Tukey del peso seco en la primera poda

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=20.19826			
Error: 59.6734 gl: 8			
TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.
T3	21.97	3	4.46 A
T4	24.87	3	4.46 A
T2	26.40	3	4.46 A
T1	27.06	3	4.46 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

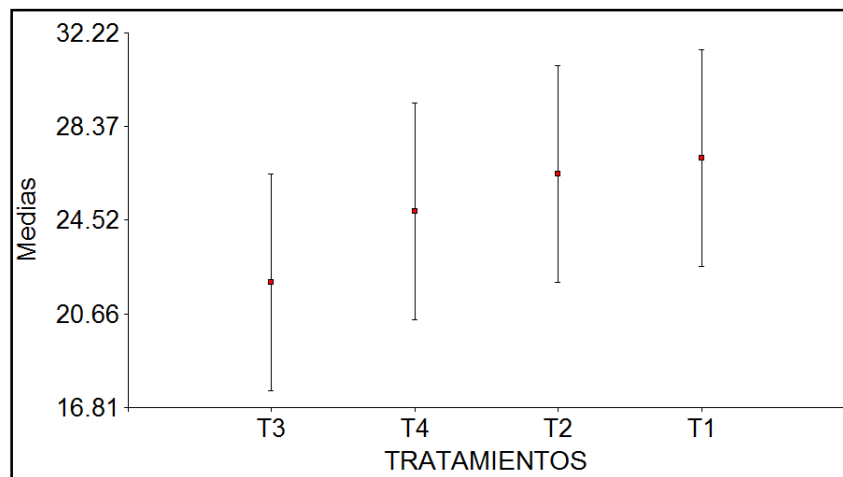


Figura 21: Análisis de medias de los pesos secos en la primera poda

La Tabla 28 y la Figura 21, muestran de forma tabular y gráfica respectivamente, que los tratamientos tienen igual efecto, puesto que todos tienen medias parecidas y los errores se traslapan. El procedimiento citado en este acápite se llevó a cabo para cada uno de los seis cortes de césped efectuados entre abril y julio, el resumen de los resultados obtenido del análisis estadístico para cada evento de poda se muestra en la Tabla 29, donde se observa que no hubo diferenciación en los pesos secos. Para mayor detalle de cada una de las gráficas consultar el Anexo 6.

Tabla 29: Resumen del análisis estadístico, variable peso seco

Fecha	Tratamientos	Descripción
Primera poda (18/04/2016)	T1 (C.R.=1.0)	Según el análisis de varianza, no hubo diferencias en los tratamientos.
	T2 (C.R.=0.8)	
	T3 (C.R.=0.6)	
	T4 (C.R.=0.4)	
Segunda poda (3/05/2016)	T1 (C.R.=1.0)	Según el análisis de varianza, no hubo diferencias en los tratamientos.
	T2 (C.R.=0.8)	
	T3 (C.R.=0.6)	
	T4 (C.R.=0.4)	
Tercera poda (16/05/2016)	T1 (C.R.=1.0)	Según el análisis de varianza, no hubo diferencias en los tratamientos.
	T2 (C.R.=0.8)	
	T3 (C.R.=0.6)	
	T4 (C.R.=0.4)	
Cuarta poda (31/05/2016)	T1 (C.R.=1.0)	Según el análisis de varianza, no hubo diferencias en los tratamientos.
	T2 (C.R.=0.8)	
	T3 (C.R.=0.6)	
	T4 (C.R.=0.4)	
Quinta poda (14/06/2016)	T1 (C.R.=1.0)	Según el análisis de varianza, no hubo diferencias en los tratamientos.
	T2 (C.R.=0.8)	
	T3 (C.R.=0.6)	
	T4 (C.R.=0.4)	
Sexta poda (27/06/2016)	T1 (C.R.=1.0)	Según el análisis de varianza, no hubo diferencias en los tratamientos.
	T2 (C.R.=0.8)	
	T3 (C.R.=0.6)	
	T4 (C.R.=0.4)	

La sumatoria de pesos secos obtenidos en cada evento de poda y por cada unidad experimental se observan en la Tabla 30, donde se observa que los pesos frescos promedio de los tratamientos T1, T2, T3 y T4 fueron 111.76, 113.67, 91.43 y 88.97 g respectivamente. Los coeficientes de variación fueron altos al igual que en los pesos frescos, lo que indica que no hubo homogeneidad en las muestras, sin embargo, según el control de válvulas volumétricas no se presentaron fallas en el sistema pues las láminas teóricas presentaron alta correlación con las láminas aplicadas. Ante ello la variabilidad solo queda explicada por la falta de homogeneidad en el suelo. No obstante, se efectuó un análisis estadístico, donde a partir del análisis de varianza expresado en la Tabla 31, se observa que no hay diferencia en los tratamientos puesto que p-valor es mayor a 5 %. Además, la Tabla 32 y la Figura 22 muestran de forma tabular y gráfica respectivamente, que los tratamientos tuvieron igual efecto, puesto que todos presentaron medias parecidas y los errores se traslapan.

Tabla 30: Sumatoria de pesos secos

Tratamientos	Repeticiones	Sumatoria de pesos secos de césped (g)	Peso seco promedio del césped (g)	Desviación estandar	Coefficiente de variabilidad
T1 (Coeficiente de riego = 1.0)	T1-M1	137.000	111.763	31.833	0.285
	T1-M2	122.290			
	T1-M3	76.000			
T2 (Coeficiente de riego = 0.8)	T2-M1	107.900	113.667	19.404	0.171
	T2-M2	97.800			
	T2-M3	135.300			
T3 (Coeficiente de riego = 0.6)	T3-M1	83.400	91.433	17.310	0.189
	T3-M2	79.600			
	T3-M3	111.300			
T4 (Coeficiente de riego = 0.4)	T4-M1	132.900	88.967	38.054	0.428
	T4-M2	66.300			
	T4-M3	67.700			

Tabla 31: Análisis de varianza de la sumatoria del peso seco

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ²	Aj	CV
WSECO	12	0.20	0.00	27.60	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1535.34	3	511.78	0.65	0.6035
TRATAMIENTOS	1535.34	3	511.78	0.65	0.6035
Error	6275.16	8	784.39		
Total	7810.49	11			

Tabla 32: Prueba de Tukey de la sumatoria del peso seco

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=73.23028				
Error: 784.3945 gl: 8				
TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.	
T4	88.97	3	16.17	A
T3	91.43	3	16.17	A
T1	111.76	3	16.17	A
T2	113.67	3	16.17	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

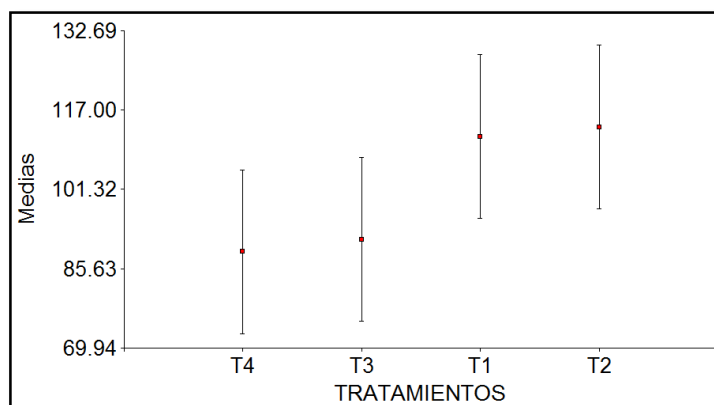


Figura 22: Análisis de medias de la sumatoria del peso fresco

5.9 Eficiencia en el uso del agua

Los resultados de la Eficiencia en el uso del agua (EUA) se presentan en la Tabla 33. Las EUA en los tratamientos T1, T2, T3 y T4 fueron de 0.583, 0.728, 0.760 y 1.040 Kg/m³ respectivamente. El césped no es un cultivo que produzca frutos por lo que no se pretende una alta eficiencia en el uso del agua, sin embargo, el volumen de agua entregado debe ser el necesario para generar una cobertura total y que a lo largo del tiempo no se presenten zonas de suelo desnudo. El tratamiento T4 (coeficiente de riego: 0.4) obtuvo un peso fresco promedio de 0.34 Kg con un volumen de agua aplicado de 0.33 m³, la cobertura del césped fue total, no se presentaron zonas amarillentas y el coeficiente de uniformidad de aplicación fue de 96.19%, no obstante, en el tratamiento T1 (coeficiente de riego: 1), el volumen de agua aplicado fue más del doble (0.81 m³) y la producción fue solo 0.13 Kg mayor a la del tratamiento T4, tal resultado se explica por las condiciones de estrés a las que estuvo sometido el tratamiento T4, pues en estas condiciones interviene el coeficiente de estrés hídrico (Ks), el cual describe el efecto del estrés hídrico en la transpiración del cultivo, ello significa que a menor disponibilidad de agua para el cultivo, la transpiración se reduce y por lo tanto la ETo disminuye lo cual significa una menor evaporación y por tanto una mayor eficiencia en el uso del agua (Allen *et al.*, 2006). Bajo la premisa anterior, y como no se espera una alta calidad del césped, como si se tomaría en cuenta en otros cultivos, no se justifica el volumen de agua aplicado para una baja producción de césped.

Tabla 33: Eficiencia en el uso del agua para el césped

Tratamientos	Repeticiones	Sumatoria de pesos frescos de césped (g)	Peso fresco promedio del césped (Kg)	Lámina aplicada acumulada (m ³)	Uso eficiente del agua (Kg/m ³)
T1 (Coeficiente de riego = 1)	T1-M1	605.9	0.47	0.81	0.583
	T1-M2	501.2			
	T1-M3	305.8			
T2 (Coeficiente de riego = 0.8)	T2-M1	458.1	0.47	0.65	0.728
	T2-M2	388.5			
	T2-M3	578.3			
T3 (Coeficiente de riego = 0.6)	T3-M1	339.5	0.37	0.49	0.760
	T3-M2	312.3			
	T3-M3	457.4			
T4 (Coeficiente de riego = 0.4)	T4-M1	521.2	0.34	0.33	1.040
	T4-M2	248.9			
	T4-M3	250.6			

5.10 Evaluación cualitativa del césped

La evaluación del césped es por lo general un proceso subjetivo basado en la estimación de factores visuales tales como color, densidad, textura, uniformidad y calidad (Fascetti *et al.*, 2015). En algunos casos se agrupan una serie de características y se evalúan visualmente en conjunto (Thetford *et al.*, 2011). Esto se debe a que la calidad es una medida de la estética y del uso funcional que se le vaya a dar al cultivo. Con base a esta premisa, se definieron como parámetros de evaluación: Color, capacidad de recuperación al pisoteo y uniformidad. Sin embargo, se ha optado también por definir una metodología que asegure la elección de la mejor alternativa entre los cuatro tratamientos aplicados a las parcelas. Por lo que se presenta los resultados de la evaluación mediante el Modelo Proceso Analítico Jerárquico.

5.10.1 Color

El criterio de color fue evaluado en el mes de julio, la evaluación fue realizada de forma visual y aleatoria dentro de las parcelas, donde se asignó un color según la similitud a los colores de la tabla Munsell a cada una de las unidades experimentales. Los resultados del mencionado procedimiento en muestran en la Tabla 34. Cabe resalta que el color obtenido en cada uno de los tratamientos continuó siendo aceptable, siempre fue alguna tonalidad de verde, no se presentaron parcelas con coloración amarillenta o pajosa, por lo que para la

selección del coeficiente de riego adecuado para el césped deberán ser contrastados criterios cualitativos y cuantitativos. En las Figuras 24, 25, 26 y 27 se puede notar las diferencias de color en los tratamientos, donde es marcada la diferencia en el tono de verde entre los tratamientos T1 (coeficiente de riego: 1) y T4 (coeficiente de riego: 0.4).

Tabla 34: Evaluaciones del criterio de color

Tratamiento	Valoración	Calificación	Descripción
T1-M1	3	Verde brillante	Olive green según Tabla Munsell
T1-M2	3	Verde brillante	Olive green según Tabla Munsell
T1-M3	3	Verde brillante	Olive green según Tabla Munsell
T2-M1	3	Verde brillante	Olive green según Tabla Munsell
T2-M2	2	Verde medio	Dark grayish green según Tabla Munsell
T2-M3	3	Verde brillante	Olive green según Tabla Munsell
T3-M1	2	Verde medio	Dark grayish green según Tabla Munsell
T3-M2	2	Verde medio	Dark grayish green según Tabla Munsell
T3-M3	2	Verde medio	Dark grayish green según Tabla Munsell
T4-M1	1	Verde opaco	Grayish Green según Tabla Munsell
T4-M2	1	Verde opaco	Grayish Green según Tabla Munsell
T4-M3	1	Verde opaco	Grayish Green según Tabla Munsell



Figura 23: Color del césped en el tratamiento T1



Figura 24: Color del césped en el tratamiento T2



Figura 25: Color del césped en el tratamiento T3



Figura 26: Color del césped en el tratamiento T4

5.10.2 Capacidad de recuperación al pisoteo

La prueba de recuperación al pisoteo fue efectuada en el mes de julio, se aplicaron cargas homogéneas mediante ladrillos macizos a cada una de las parcelas, tal como se muestra en la Figura 28 y en la Figura 31, además previamente a la colocación del ladrillo en el césped, se tomaron fotos para registrar el estado inicial del suelo antes de ser sometido a una carga, como se puede apreciar en la Figura 27 y en la Figura 30. Después de un día, se retiraron los ladrillos de las parcelas y se volvieron a tomar fotos, las cuales corresponden a la Figura 29 y a la Figura 31. Este procedimiento se repitió en cada una de las doce unidades experimentales. Aunque se registraron fotos cada hora, durante tres horas luego de retirados los ladrillos, los resultados fueron similares, por lo que solo se presentan las imágenes de los tratamientos extremos es decir T1 (coeficiente de riego; 1) y T4 (coeficiente de riego: 0.4), debido a que fueron los tratamientos en los que se observó una marcada diferencia en cuanto a la recuperación al pisoteo, siendo este inversamente proporcional a las láminas aplicadas; ello significó que el tratamiento T4, fue el que mejor recuperación al pisoteo presentó pese a ser el que

recibió menor lámina durante la investigación, mientras que el tratamiento T1 fue el que presentó una recuperación más prolongada debido a una mayor área foliar lo que generó un proceso de recuperación más extenso, contrario al T4 donde el área foliar fue menor y por lo tanto su recuperación se dio en menor tiempo. El tubo (15 cm) que se observa en las imágenes solo fue colocado por cuestiones de referencia en cada una de las parcelas.

Tabla 35: Capacidad de recuperación al pisoteo resumen

Tratamiento	Valoración	Calificación	Descripción
T1-M1	1	Lenta	El césped tarda en volver a su estado original más de una día
T1-M2	1	Lenta	El césped tarda en volver a su estado original más de una día
T1-M3	1	Lenta	El césped tarda en volver a su estado original más de una día
T2-M1	1	Lenta	El césped tarda en volver a su estado original más de una día
T2-M2	1	Lenta	El césped tarda en volver a su estado original más de una día
T2-M3	1	Lenta	El césped tarda en volver a su estado original más de una día
T3-M1	1	Lenta	El césped tarda en volver a su estado original más de una día
T3-M2	1	Rápida	El césped tarda en volver a su estado original menos de cuatro horas
T3-M3	2	Media	El césped tarda en volver a su estado original un día
T4-M1	3	Rápida	El césped tarda en volver a su estado original menos de cuatro horas
T4-M2	3	Rápida	El césped tarda en volver a su estado original menos de cuatro horas
T4-M3	3	Rápida	El césped tarda en volver a su estado original menos de cuatro horas



Figura 27: Tratamiento T1 Antes de ser sometido a una carga



Figura 28: Tratamiento T1 siendo sometido a una carga



Figura 29: Tratamiento T1 después de ser sometido a una carga



Figura 30: Tratamiento T4 antes de ser sometido a una carga



Figura 31: Tratamiento T4 siendo de ser sometido a una carga



Figura 32: Tratamiento T4 después de ser sometido a una carga

5.10.3 Uniformidad

El criterio de uniformidad del color, se basó en las mismas imágenes que se tomaron como referencia para determinar el criterio de color, donde se puede apreciar que la coloración en cada una de las parcelas fue uniforme, no obstante, si se registraron diferencias entre los tratamientos T1 (coeficiente de riego: 1) y T4 (coeficiente de riego: 0.4) puesto que la coloración fue ligeramente más uniforme en las parcelas del tratamiento T1 que en las parcelas del tratamiento T4. En el primer caso predominó siempre el color verde tanto al centro como en los bordes, sin embargo, en el caso del tratamiento T4 se comenzó a apreciar parte del thacht, el cual se define como una capa entrelazada que mezcla material vivo y muerto: raíces, estolones, tejidos de hojas, etc. (Acuña, 2010) y leve coloración parda en algunas de las hojas, además en los bordes si se notaron fragmentos amarillentos del césped y/o suelo desnudo. En la Tabla 36 se muestra el resumen de las evaluaciones efectuadas.

Tabla 36: Criterio uniformidad resumen

Tratamiento	Valoración	Calificación	Descripción
T1-M1	3	Completamente uniforme	Césped homogéneo de color verde oscuro y sin suelo desnudo
T1-M2	3	Completamente uniforme	Césped homogéneo de color verde oscuro y sin suelo desnudo
T1-M3	3	Completamente uniforme	Césped homogéneo de color verde oscuro y sin suelo desnudo
T2-M1	3	Completamente uniforme	Césped homogéneo de color verde oscuro y sin suelo desnudo
T2-M2	3	Completamente uniforme	Césped homogéneo de color verde oscuro y sin suelo desnudo
T2-M3	3	Completamente uniforme	Césped homogéneo de color verde oscuro y sin suelo desnudo
T3-M1	3	Completamente uniforme	Césped homogéneo de color verde oscuro y sin suelo desnudo
T3-M2	3	Completamente uniforme	Césped homogéneo de color verde oscuro y sin suelo desnudo
T3-M3	3	Completamente uniforme	Césped homogéneo de color verde oscuro y sin suelo desnudo
T4-M1	2	Medianamente uniforme	Césped medianamente homogéneo con reducidas áreas de diferente color y con pequeños fragmentos de suelo desnudo o amarillento
T4-M2	2	Medianamente uniforme	Césped medianamente homogéneo con reducidas áreas de diferente color y con pequeños fragmentos de suelo desnudo o amarillento
T4-M3	2	Medianamente uniforme	Césped medianamente homogéneo con reducidas áreas de diferente color y con pequeños fragmentos de suelo desnudo o amarillento

5.11 Selección de la mejor alternativa

La selección del mejor tratamiento estuvo limitada al periodo entre abril y julio que es donde se desarrolló la investigación, además de ello, como lugar solo se consideraron las condiciones de la UNALM, puesto que el modelo analítico jerárquico restringe las ponderaciones a situaciones específicas. Bajo los criterios de consumo de agua, calidad del césped y mantenimiento del césped, se aplicó el modelo proceso analítico jerárquico, de donde se obtuvo que el tratamiento con mayor prioridad (0.418) fue el T4, es decir el tratamiento de coeficiente de riego 0.4 fue la mejor alternativa, teniendo en cuenta que el ratio de consistencia fue siempre menor al 10% la consistencia fue aceptable. Cabe destacar que esta metodología abarca tanto aspectos cuantitativos como cualitativos que fueron evaluados durante la investigación. Tales aspectos fueron resumidos en los criterios ya mencionados a los que se sometió cada uno de los tratamientos y de los que se obtuvo como la mejor alternativa al tratamiento de coeficiente de riego 0.4 para la temporada de abril a mayo y bajo condiciones de La Molina, este resultado difiere del presentado por Gil *et al.* (2013), donde determinaron que para el césped Bermuda es necesaria una lámina de reposición de 150% de la evapotranspiración de referencia, sin embargo se debe tener en cuenta que el uso del césped en dicho estudio era con fines

deportivos (canchas de fútbol), por lo que los requerimientos hídricos del césped fueron mayores y además se debe considerar las diferentes características climáticas entre el lugar donde se realizó tal investigación (Brasil) y el lugar donde se llevó a cabo esta investigación (Perú). Sin embargo el modelo permite cambiar las preferencias de las alternativas en cuanto a los criterios y aplicarse una valoración diferente para otro distrito.

Tabla 37: Resultado del modelo proceso analítico jerárquico

MATRIZ DE PRIORIDAD				PONDERACIONES GLOBALES
TRATAMIENTOS	CONSUMO	CALIDAD	MANTENIMIENTO	
T1 (C.R.= 1.0)	0.058	0.520	0.071	0.180
T2 (C.R.= 0.8)	0.125	0.268	0.141	0.164
T3 (C.R.= 0.6)	0.273	0.141	0.268	0.238
T4 (C.R.= 0.4)	0.544	0.071	0.520	0.418
PONDERACIONES	0.633	0.260	0.106	

V. CONCLUSIONES

6.1 Diseñar e instalar un sistema de riego por goteo subterráneo

El diseño del sistema de riego de goteo subterráneo fue el óptimo para que el sistema opere en su condición más crítica de tener abiertas las doce válvulas. Para tal fin, la elección de la electrobomba de 0.85 HP fue lo más conveniente en cuanto a características técnicas y a costos. Todos los elementos que se instalaron (válvulas volumétricas, válvulas de aire, puntos de toma de presión y sensores de humedad) permitieron controlar y supervisar el funcionamiento de la red de goteo subterráneo. Según el registro de las válvulas volumétricas no hubo fallas en el sistema, lo cual corrobora el buen diseño e instalación del sistema de riego. Los sensores de humedad mediante la tecnología FDR resultaron en un eficiente método de control del contenido de humedad del suelo antes, durante y después de riego, lo cual fue beneficioso como parte complementaria del monitoreo.

6.2 Evaluar cualitativa y cuantitativamente el césped según los tratamientos de riego a desarrollarse

La evaluación cuantitativa del césped mediante las variables peso fresco y peso seco no presentaron diferencias estadísticamente significativas. Por lo tanto, el crecimiento del césped y la cantidad de nutrientes o reservas del cultivo no justifican los volúmenes de agua entregados en los tratamientos de coeficiente de riego 1, 0.8 y 0.6. Además, el césped presenta un eficiente uso del agua para el tratamiento de coeficiente de riego 0.4 (1.04 kg/m^3), puesto que al encontrarse en condiciones de estrés, limita la transpiración y es más eficiente en el uso del agua presentando condiciones estéticamente aceptables. Los niveles de salinidad en el suelo no representaron los volúmenes de agua aplicados, es decir no hubo una relación directa entre una menor lámina de riego y una mayor salinidad. El césped es un cultivo del cual no se espera producción en cuanto a frutos, no obstante es deseable un crecimiento limitado de sus hojas pues ello incide en el

costo del mantenimiento. De igual forma no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados a nivel cualitativo, avalado por el registro fotográfico y por las evaluaciones en campo. La aplicación de una menor lámina de riego no repercutió en la coloración del cultivo porque todas las unidades experimentales presentaron coloración verde y uniforme, solo diferenciada por el nivel de brillo de observado en cada parcela. Las parcelas de coeficiente de riego 0.4 presentaron una mayor capacidad de recuperación al pisoteo lo que las hizo aún más ventajosas en comparación con las parcelas de coeficientes

6.3 Obtener el coeficiente de riego que permita un adecuado desarrollo del césped americano (*Stenotaphrum secundatum*)

El conjunto formado por las variables cuantitativas y cualitativas resultó en que el coeficiente de riego idóneo para los meses de abril a julio en la UNALM fue de 0.4, pues se demostró que aplicando este coeficiente se obtuvo un césped visualmente aceptable y resistente a condiciones de pisoteo, con un crecimiento medido que permite reducir la frecuencia en su mantenimiento y sobre todo que consume menos agua.

VI. RECOMENDACIONES

1. Efectuar una adecuada preparación del terreno con la finalidad de homogeneizarlo y de retirar elementos ajenos al suelo que puedan repercutir en los resultados de la investigación.
2. Instalar sensores de humedad en cada unidad experimental y, de ser posible instalar dos sensores por cada unidad experimental a dos profundidades diferentes, así como válvulas volumétricas para cada unidad.
3. Continuar con la evaluación de coeficientes de riego para el césped americano durante todo el año pues el requerimiento hídrico varía según la estación.
4. Emplear equipos electrónicos para determinar el color del césped de forma más precisa.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acuña, A. 2010. Thacht y cubierta. Global césped. Consultado 30 julio 2016. Disponible en: <http://globalcesped.org/noticias-mainmenu-2/los-suelos/446-thatch-y-cubierta>.

Allen, GR; Pereira, L; Raes, D; Smith, M. 2006. Estudio FAO Riego y drenaje 56. Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Serie Cuadernos Técnicos. Roma, Italia. FAO. 298 p.

Álvarez, M. 2006. CESPED, Una guía esencial para el cuidado y la renovación del césped de todo tipo de jardines. Argentina. Impreso en Argentina. p 15. 1ra ed.

Bonet, C; Brown, O; Guerrero, P; González, F; Hernández, G. 2014. Efecto del agua sobre el rendimiento en el cultivo de la piña. Revista Ingeniería Agrícola 4(4): 8-13.

Bourziza, R; Hammani, A; Kuper, M; Bouaziz, A. 2014. Water saving in arid regions: Comparison of innovative techniques for irrigation of young date palms. International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering 8(11): 771-776.

Buesa, I. 2013. Determinación del estado hídrico del suelo mediante sensores FDR en vid cv. Moscatel de Alejandría regada por goteo. Trabajo Fin de Máster. Valencia, España. 85p.

Camp, C. 1998. Subsurface drip irrigation: A review. Trans ASAE 41(5):1353-1367p.

Campbell, CG; Cobos, D; Bissey, L. 2009. Calibration and evaluation of an improved low-cost soil moisture sensor. Application Notes. Consultado 1 agosto 2016. Disponible en: <http://www.decagon.com>.

Corpeño, B. 2004. Manual del cultivo de tomate. Fintrac. Centro de inversión, desarrollo y exportación de agronegocios. El Salvador. 31p.

DGIAR (Dirección General de Infraestructura Agraria y de Riego, PE). Manual del cálculo de eficiencia para sistemas de riego.2015. 53 p.

DIGESA; IGN; IMARPE; IMP; INC; INDECI; INGEMMET; INRENA; MEM; VIVIENDA; PETT; SAN; SEDAPAL; SENAMHI. Atlas ambiental de Lima. 2008.

Davis. 2012. Manual de la consola Vantage pro 2. 96 p.

Dorigo, W; Wagner, W; Hohensinn, R; Hahn, S; Paulik, C; Xaver, A; Gruber, A; Drusch, M; Mecklenburg, S; Van Oevelen, P; Robock, A; Jackson, T. 2011. The International Soil Moisture Network: a data hosting facility for global in situ soil moisture measurements. Hydrology and Earth system sciences 15: 1675-1698.

Duarte, C; Zamora, E; León, M. 2013. Efecto del coeficiente de estrés hídrico sobre los rendimientos del cultivo de cebolla. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias 21(4): 42-47.

Eisenberg, B; Nemcova, E; Poblet, R; Stokman, A. 2013. Hydro Urban Units – a Meso Scale Approach for Integrated Planning. Real Corp 2013: Planning Times. 1229-1237p.

Fascetti, S; Potenza, G; Candido, V; Castronuovo, D; Rosati, L; Perniola, M; Lovelli, S; Viggiani, R; Marchione, V. 2015. Evaluation of Native Grasses for Sustainable Turfgrass in the Bioclimatic Mediterranean Region. The sustainability of Agro-Food and Natural Resource Systems in the Mediterranean Basin. 289-304 p.

Fernández, E; Camacho F. 2005. Eficiencia en el uso del agua: Conceptos y aplicaciones prácticas en horticultura y semilleros. Revista Extra Viveros (1): 86-89.

Fonseca, M. 2002. Reference evapotranspiration based on class A pan evaporation. Scientia Agricola 59(3): 417-420.

Gil, R; Pitelli, J; Barreto, A; De Andrade L. 2013. Crescimento da grama bermudas sob diferentes lâminas de irrigação. Irriga, Botucatu. 18(1): 257-269.

Gil, P; Sellés, G; Ferreyra, R; Barrera, C. 2009. Manual de riego para paltos y cítricos. Centro Regional de Investigación La Cruz. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Chile. 146 p.

Grass Americano, 2016. GRASS AMERICANO (*Stenotaphrum secundatum*). Consultado 21 junio 2016. Disponible en <http://www.grassamericano.com/grass-americano-stenotaphrum-secundatum-29-general.html>

GS1 Soil Moisture Sensor Operator's Manual. 2015. Decagon Devices.

Herrera, GH. 2014. Evaluación del sistema de riego por evaluación del sistema de riego por goteo a tres profundidades, con dos dosis de abonamiento órgano - mineral edáfica, en la producción limpia de tomate de mesa (*Lycopersicon esculentum* Mill). Tumbaco, Pichincha. Tesis Ing. Agr. Quito, Ecuador. 87p. Fuente original: Calvache, M. 1994. Nutrición mineral de cultivos de exportación. Quito, EC. Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas. 257 p.

Hidalgo, J; Pastor, M; Hidalgo, JC. 2003. Evaluación de una sonda FDR para la estimación de la evolución del contenido de agua en el suelo y para el control de riegos en olivar. Estudios de la Zona No Saturada del Suelo 6: 171-176.

Huber, A; Trecaman, R. 2004. Eficiencia del uso del agua en plantaciones de *Pinus radiata* en Chile. Bosque 25(3): 33-43.

Hussein, O; Mendoza, J; Abrisqueta, I; Tapia, L; Abrisqueta, M; Vera, J; Ruiz, M. 2008. Soil water content measured by fdr probes and thresholds for drip irrigation management in peach trees. Agricultura Técnica en México 34(3): 313-322.

INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática). Población y territorio. p. 6-9. Boletín Estado de la Población Peruana. 2014.

Instituto Metropolitano de Planificación. 2010. Inventario de áreas verdes a nivel metropolitano 44 p.

Lamm, F; Rogers, D; Alam, M; Clark, G. 2003. Design consideration for Subsurface Drip Irrigation (SDI) Systems. Kansas State University Cooperative Ext. Irrigation Mgmt. Series, MF-2578. 8p.

Lamm, FR. 2002. Advantages and disadvantages of subsurface drip irrigation. In. Proc. International Meeting on Advances in Drip/Micro Irrigation, Puerto de La Cruz, Tenerife, Canary Islands. Instituto Canario de Investigaciones Agrarias, Canary Islands, 13 p.

Lazzara, P; Rana, G. 2010. The crop coefficient (Kc) values of the major crops grown under Mediterranean climate. *Mediterr. Dialogue Integr. Water Manag.*

López, J; Dennett, M. 2005. Comparación de dos métodos para estimar la evapotranspiración de referencia (ET_o) en una zona semi-árida de Venezuela. *Bioagro* 17(1): 41-46.

Losada, A. 1997. Glosario sobre sistemas de riego. *Ingeniería del Agua* 4(8): 55-68.

Martínez, L. 2001. Manual de operación y mantención de equipos de riego presurizado. Gobierno Regional de Atacama, Comisión Nacional de Riego e Instituto de Investigaciones Agropecuarias (Chile). Centro Regional de Investigación Intihuasi (La Serena), Centro Experimental Huasco (Vallenar). *Boletín INIA* N° 65, 76 p.

Medrano, H; Bota, J; Cifre, J; Flexas, J; Ribas-Carbó, M; Gulías, J. 2007. Eficiencia en el uso del agua por las plantas. *Investigaciones geográficas* 43: 63-84.

Monje, R. 2006. Manejo de céspedes con bajo consumo de agua. Colección Agricultura (Serie Jardinería y Floricultura). Edición: Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca Impreso en Sevilla. p 55. 2da ed.

Núñez, A. 2015. Manual del cálculo de eficiencia para sistemas de riego. Dirección general de infraestructura agraria y riego. p 53.

Observatorio ciudadano. 2014. ¿Cómo vamos en ambiente? Quinto Informe de Resultados sobre Calidad de Vida. s.p.

Orozco, A. 2011. Determinación del régimen de riego para manzano bajo microaspersión mediante el uso de estaciones meteorológicas y sondas de capacitancia (FDR). Retos de la

investigación del agua en México. p. 239-253. Fuente original: Parra, R; P. Ortiz. 2004. Manejo del riego en manzano mediante déficit de riego controlado (DCR), Ciudad Cuauhtémoc, Chihuahua, inifap/Sagarpa, Campo Experimental Sierra de Chihuahua, Centro de Investigación Regional Norte Centro.

Puig-Bargués, J; Arbat, G; Elbana, M; Duran-Ros, M; Barragán, J; Ramírez de Cartagena, F; Lamm, F.R. 2010. Effect of flushing frequency on emitter clogging in micro irrigation with effluents. *Agricultural Water Management* 97 (2010): 883–891.

Puppo, L; García, M. 2009. Estimación de los coeficientes de tanque «A» para calcular la evapotranspiración del cultivo de referencia en la zona sur del Uruguay. *Agrociencia* 13(2) 47-51.

Rain bird. 2015. Productos de riego paisajístico. Catálogo 2015. 187 p

Ramos, C. 2007. Modelo para estimar la evapotranspiración en La Molina. *Anales Científicos de la Universidad Nacional Agraria La Molina* 68 (4): 125-136.

Roche, H; Vejo, C. 2005. Métodos cualitativos aplicados a la administración. Material de apoyo. Análisis multicriterio. Consultado 1 de septiembre 2016. Disponible en: www.ccee.edu.uy/ensenian/catmetad/material/MdA-Scoring-AHP.pdf

Robock, A; Vinnikov, K; Srinivasan, G; Entin, J; Hollinger, S; Speranskaya N; Liu, S; Namkhai, A. 2000. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 81(6):1281-1299.

Rogers, D; Lamm, F; Alam, M. 2003. Subsurface drip irrigation (SDI) components: Minimum requirements. Kansas State University Cooperative Ext. Irrigation Mgmt. Series, MF-2576. 4p.

Saaty, T. 2008. Relative measurement and its Generalization in Decision Making Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors the Analytic Hierarchy/ Network Process. *Review of the Royal Spanish Academy of Sciences, Series A, Mathematics*. 102(2): 251-318.

Silveira, M; Fernandes, W; Resende, R; Magalhães; Antonio, L. 2014. Relação vazão – pressão de um tubo gotejador submetido à condição subsuperficial. XLII Congreso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA 2014.

Strangeways, I. 2001. Back to basics: The ‘met. Enclosure’. Part 7. Evaporation. Weather 56: 419-427.

SUNASS (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento). 2010. Determinación de la de la fórmula tarifaria, estructura tarifaria y metas de gestión aplicables a la empresa de servicio de agua potable y alcantarillado – SEDAPAL S.A. 203 p.

Thetford, M; Knox, G; Duke, E. 2011. Ornamental Grasses Show Minimal Response to Cultural Inputs. Horttechnology 21 (4): 443-450.

Viana, R. 2010. Utilizando el proceso analítico jerárquico (PAJ) para seleccionar y priorizar proyecto en una cartera. 25 p.

Wei, M.-Y. Ed., 1995. Soil Moisture: Report of a Workshop Held in Tiburon, California, 25–27 January 1994. NASA Conference Publication 3319, 80 pp.

Zotarelli, L; Dukes, M; Morgan, K. 2013. Interpretación del contenido de la humedad del suelo para determinar capacidad de campo y evitar riego excesivo en suelos arenosos utilizando sensores de humedad. Universidad de Florida. p. 1,2.

VIII. ANEXOS
ANEXO 1 ANÁLISIS INICIAL DE SUELO



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 009641

ANÁLISIS DE SUELO - RUTINA

SOLICITANTE : UNALM
 PROYECTO : Requerimiento Hídrico del Cesped
 RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
 FECHA DE ANALISIS : La Molina, 15 de Abril del 2016

Número de muestra		CE	pH	M.O.	P	K	CaCO ₃	Al+3+H+1
Lab.	Campo	dS / m	Relación 1:1	%	ppm	ppm	%	
		Relación 1:1						
9641	TB2-M1D1	1.70	7.77	1.96	27.92	195.40	3.84	-

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO

ING. ANTONIO ENCISO GUTIERREZ
 JEFE DE LABORATORIO



MÉTODOS SEGUIDOS EN EL ANÁLISIS

1. Análisis Mecánico: Textura por el Método de Hidrómetro.
2. Conductividad eléctrica: C. E. Lectura de extracto de relación suelo agua 1:1 y extracto de la pasta saturada.
3. pH. Método de potenciómetro, relación suelo-agua 1:1 y en la pasta saturada.
4. Calcáreo total: Método gaso-volumétrico.
5. Materia orgánica: Método de Walkley y Black % M.O.= %C x 1,724
6. Nitrógeno total: Método Micro Kjeldahl.
7. Fósforo: Método de Olsen Modificado, Extracto, NaHCO_3 0.5M, pH = 8.5
8. Potasio Disponible: Extracto Acetato de Amonio 1N, pH 7,0
9. Capacidad de Intercambio Catiónico: Acetato de Amonio 1N pH 7,0
10. Cambiables: Determinaciones en extracto Amónico.
 Ca^{2+} : Espectrofotometría de Absorción Atómica.
 Mg^{2+} : Espectrofotometría de Absorción Atómica.
 K^+ : Espectrofotometría de Absorción Atómica.
 Na^+ : Espectrofotometría de Absorción Atómica.

11. Iones Solubles

a. Cationes Solubles:

- Ca^{2+} : Espectrofotometría de Absorción Atómica.
 Mg^{2+} : Espectrofotometría de Absorción Atómica.
 K^+ : Espectrofotometría de Absorción Atómica.
 Na^+ : Espectrofotometría de Absorción Atómica.

b. Aniones Solubles:

- Cl^- : Volumétrico; Nitrato de Plata.
 $\text{CO}_3^{=}$: Volumétrico; Ácido Clorhídrico.
 HCO_3^- : Volumétrico; Ácido Clorhídrico.
 $\text{SO}_4^{=}$: Tubidimétrico: Sulfato de Bario.
 NO_3^- : Colorimétrico.

12. Yeso Soluble: Solubilización con agua y precipitación con acetona.
13. Boro Soluble: Colorimétrico, Método de la Curcumina.

INTERPRETACIÓN

C.E. (Sales)
Según respuesta de los cultivos
(dS/m)

- Muy ligeramente Salino : < 2
 Ligeramente Salino : 2 - 4
 Moderadamente Salino : 4 - 8
 Fuertemente Salino : 8 - 16
 Extremadamente Salino : > 16

DISPONIBLES

Clase	Materia Orgánica	Calcáreo Total $\text{CaCO}_3\%$	Fósforo P (ppm)	Potasio K (ppm)
Bajo	< 2%	< 1%	< 7%	< 100
Medio	2 - 4%	1 - 5%	7 - 14%	100 - 240
Alto	> 4%	> 5%	> 14%	> 240

EQUIVALENCIAS

- 1 mmhos/cm = 1 ds/m
 1 cmol(+)/kg = 1 meq/100gr

CIC Efectiva

< 5 meq/100 gr	Muy baja
5 - 10	Baja
10 - 15	Medio
15 - 20	Alto
> 20	Muy alto

Reacción del Suelo (pH)

- 5.1 - 5.5 Fuertemente ácido.
 5.6 - 6.0 Moderadamente ácido.
 6.1 - 6.5 Ligeramente ácido.
 6.6 - 7.3 Neutro.
 7.4 - 7.8 Ligeramente alcalino.
 7.9 - 8.4 Moderadamente alcalino.

* CIC: Capacidad Intercambiable de Cationes.

ANEXO 2 ANÁLISIS FINAL DE SUELO



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 010284

ANÁLISIS DE SUELO

SOLICITANTE : JESUS GUSTAVO PADILLA
PROYECTO : Requerimiento Hídrico del cesped
PROCEDENCIA : Unalm
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 05 de Agosto del 2016

Número de muestra		Análisis Mecánico			
Lab.	Campo	Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura
10284	Suelo	50.00	36.00	14.00	Franco

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO
[Firma]
Ing. Msc. Teresa Velásquez Bejarano
JEFE DE LABORATORIO



ANEXO 3 ANÁLISIS INICIAL DE AGUA

ANALISIS DE AGUA - RUTINA

SOLICITANTE : UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
PROCEDENCIA : La Molina
RESPONSABLE ANALISIS : Ing. Nore Arévalo Flores
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 13 Abril del 2016

N° LABORATORIO	6874
N° DE CAMPO	Agua
CE dS/m	0.49
pH	7.24
Calcio meq/l	3.42
Magnesio meq/l	0.52
Sodio meq/l	0.85
Potasio meq/l	0.10
SUMA DE CATIONES	4.89
Cloruro meq/l	0.84
Sulfato meq/l	2.36
Bicarbonato meq/l	1.62
Nitratos meq/l	0.00
Carbonatos meq/l	0.00
SUMA DE ANIONES	4.83
SAR	0.60
CLASIFICACION	C2-S1
Boro ppm	0.31

Turbidez NTU	5.78
Carbonatos mgCaCO ₃ /L	0.00
Solidos suspendidos mg/L	6.84
DBO ₅ mgO ₂ /L	52.35
DQO mgO ₂ /L	30.00
Dureza total mgCaCO ₃ /L	196.65

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO

 ING. ANTONIO ENCISO GUTIERREZ
 JEFE DE LABORATORIO



ANEXO 4 ANÁLISIS FINAL DE AGUA

ANALISIS DE AGUA - RUTINA

SOLICITANTE : ASTRID CIFUENTES
PROYECTO : Requerimiento Hidrico de Cesped americano
PROCEDENCIA : Unalm
RESPONSABLE ANALISIS : Ing. Nore Arévalo Flores
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 24 Junio del 2016

N° LABORATORIO		6953
N° DE CAMPO		Agua
CE	dS/m	0.68
pH		7.31
Calcio	meq/l	4.66
Magnesio	meq/l	0.76
Sodio	meq/l	0.83
Potasio	meq/l	0.17
SUMA DE CATIONES		6.42
Cloruro	meq/l	1.17
Sulfato	meq/l	3.26
Bicarbonato	meq/l	2.17
Nitratos	meq/l	0.02
Carbonatos	meq/l	0.00
SUMA DE ANIONES		6.62
SAR		0.50
CLASIFICACION		C2-S1
Boro	ppm	0.26

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO


 Ing. Msc. Tereza Valdivia Bejarano
 JEFE DE LABORATORIO




ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUA

SOLICITANTE : ASTRID CIFUENTES
PROYECTO : Requerimiento Hidrico del Cesped americano
PROCEDENCIA : Unalm
RESPONSABLE ANALISIS : Ing. Nore Arévalo Flores
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 12 de Julio del 2016

Nº LABORATORIO	3151
Nº DE CAMPO	AR- FIA 4B
Turbiedad NTU	103.00
Dureza total mg CaCO3/L	220.45
pH	7.44
DBO ₅ mg/O2/L	10.000
DQO mg/O2/L	27.91
Sólidos suspendidos mg/L	110.00
Carbonatos mgCaCO3/L	0.00

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO


 Ing. Msc. Teresa Velásquez Bejarano
 JEFE DE LABORATORIO



CLAVE

PELIGRO DE SALES

C1 - Salinidad baja	(0.00 - 0.25 dS/m)	:	Buenas para riego de diferentes cultivos. Sólo peligro de salinización de suelos muy impermeables de difícil drenaje interno.
C2 - Salinidad moderada	(0.25 - 0.75 dS/m)	:	De calidad buena para cultivos que se adaptan o toleran moderadamente la sal. Peligro para plantas muy sensibles y suelos impermeables.
C3 - Salinidad entre media y alta	(0.75 - 2.25 dS/m)	:	El suelo debe tener buena permeabilidad. El cultivo seleccionado debe ser tolerante a la sal.
C4 - Salinidad alta	(2.25 - 4.00 dS/m)	:	Sólo para plantas tolerantes y suelos permeables, donde pueden ser necesarios lavados especiales para remover las sales.
C5 - Salinidad muy alta	(4.00 - 6.00 dS/m)	:	Sólo para plantas muy tolerantes, suelos muy permeables y donde se puedan aplicar lavados frecuentes para remover el exceso de sales.
C6 - Salinidad excesiva	(más de 6.00 dS/m)	:	Deben tomarse precauciones para su uso (pueden usarse en suelos muy permeables y/o mezclado con agua de buena calidad).

PELIGRO DE SODIO

S1 - Poco sodio	Sin peligro.
S2 - Medio sódica	Peligro en suelos de textura fina o arcillosa con alta capacidad de cambio especialmente si la permeabilidad es baja a menos que el suelo contenga yeso. Puede usarse en suelos de textura gruesa entre arenosa y franca orgánica con permeabilidad adecuada.
S3 - Muy sódica	Peligro en suelos de yeso, requieren estos suelos buen drenaje, adición de materia orgánica y eventuales enmiendas químicas, tales como yeso o azufre, que no son efectivos si las aguas son de salinidad alta C4.
S4 - Excesivamente sódica	No sirven generalmente para riego. Sólo cuando la salinidad es baja o media, donde la solución de calcio del suelo o al uso del yeso u otras enmiendas pueden hacer factibles el uso de esta agua.

PELIGRO DE BORO, CARBONATO DE SODIO RESIDUAL Y DUREZA

Boro		Na ₂ CO ₂ Residual		Dureza Total	
ppm	Clase	meq/l.	Tipo de agua	mgCaCO ₃ /Lt	Tipo de agua
< 0.3	Buena	Menor a 1.25	Recomendable	< 75	Agua blanda
		1.25 - 2.50	Poco recomendable	75 - 150	Agua moderada
0.3 - 4.0	Condicionada	Mayor de 2.50	No recomendable	150 - 300	Agua dura
				> 300	Agua muy dura
> 4.0	No recomendable				

INFORME DE ENSAYO N° 1606378- LMT

SOLICITANTE : UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO

MUESTRA : AGUA PARA RIEGO
(1606378)

PROCEDENCIA : UNALM
TIPO DE ENVASE : Botella de plástico
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 500 ml aprox.
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado
FECHA DE MUESTREO : 2016 - 06 - 15
FECHA DE RECEPCIÓN : 2016 - 06 - 15
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2016 - 06 - 15
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2016 - 06 - 22

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA

Análisis Microbiológico	Muestra 1606378	Estándares Nacionales De Calidad Ambiental Para Agua (*)
¹ Enumeración de coliformes totales (NMP/100 ml)	49	50 x 10 ²
¹ Enumeración de coliformes fecales (NMP/100 ml)	6.1	10 x 10 ²
¹ Enumeración de <i>Escherichia coli</i> (NMP/100 ml)	4.0	10 x 10

(*) Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM. Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales. Vegetales de tallo bajo.

Métodos:

¹SMEWW 21st Ed. 2005, Part 9221. APHA-AWWA-WEF.

Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita.




DRA. DORIS ZÚNIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana
y Biotecnología "Marino Tabusso"
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 614 7800 anexo 274

E-mail: lmt@lamolina.edu.pe

La Molina, 30 de junio del 2016

LABORATORIO DE ECOLOGÍA MICROBIANA Y BIOTECNOLOGÍA "MARINO TABUSSO"

☐ (511)7995788 ó 614-7800 anexo 274 - Fax (511) 349-2805 - E-mail: lmt@lamolina.edu.pe
Apartado Postal 456 - Lima 12 - PERU

ANEXO 5 DISPOSICIÓN EN CAMPO DE LAS UNIDADES EXPERIMENTALES



ANEXO 6 DISEÑO DEL SISTEMA

DISEÑO AGRONÓMICO

Según los datos climatológicos obtenidos durante los años 2000 al 2010 (Tabla 2), la ETo mensual más crítica fue de 4.09 mm/día en el mes de febrero.

El área de cada unidad experimental fue de 3.68 m², y en total fueron doce unidades experimentales por lo que el área total fue de 44.16 m². La ETc fue de 4.09 mm/día, por lo que la demanda de agua fue de 1.26 m³/semana. Para cubrir esta demanda, se seleccionó un tanque Eternit de 1100 L como fuente de agua, puesto que tal demanda podía ser abastecida por la conexión mediante una válvula de acople al sistema de riego por aspersión de la UNALM o, como fuente secundaria de agua la línea de agua potable.

El cultivo fue el césped, por lo que solo con fines de diseño se empleó como coeficiente del cultivo (Kc) el sugerido por la FAO, es decir Kc =1.

Datos de entrada:

Área total: 44.16 m²

ETc máx.= 4.09 mm/día

Características del suelo

Textura:	Franco
Capacidad de Campo:	28 %
Punto de Marchitez:	14%
Densidad Aparente:	1.30 g/cc
Contenido de Materia Orgánica:	1.96%
Conductividad Eléctrica:	1.70 dS/m
pH:	7.77

Características del cultivo

Espaciamiento entre Laterales:	0.4 m
Profundidad de raíz:	200 mm

Especificaciones del gotero

Línea de riego por goteo subterráneo Rain bird XFS con tecnología copper shield.

Caudal de diseño: 2.3 L/h

Porcentaje de área mojada: 100%

<p>Rango operativo</p> <ul style="list-style-type: none"> • Presión: de 8.5 a 60 psi (de 0.58 a 4.14 bares) • Índices de caudal: 0.4 gph, 0.6 y 0.9 gph (1.6 l/h, 2.3 l/hr y 3.5 l/hr) • Temperatura: <ul style="list-style-type: none"> - Agua: hasta 100 °F (37.8 °C) - Ambiente: hasta 125 °F (51.7 °C) • Filtración requerida: malla 120 <p>Especificaciones</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones: DE: 0.634" (16mm); DI: 0.536" (13.6mm); Espesor: 0.049" (1.2mm) • 12", 18", 24" (30.5 cm; 45.7 cm, 61 cm) de espaciado • Disponible en rollos de 100' y 500' (30.5 m y 152.4 m) • Color del rollo: cobre
--

Figura 33: Especificaciones técnicas del gotero
FUENTE: Productos de riego paisajístico Rain bird, 2015.

Modelos de línea de riego por goteo subterráneo XFS SIST. MÉTRICO			
Modelo	Caudal l/h	Espaciamiento cm	Largo de rollo m
XFS-04-12-100	1.60	30.5	250
XFS-04-12-500	1.60	30.5	250
XFS-04-18-100	1.60	45.7	250
XFS-04-18-500	1.60	45.7	25
XFS-06-12-100	2.30	30.5	30.5
XFS-06-12-500	2.30	30.5	152.9
XFS-06-18-100	2.30	45.7	30.5
XFS-06-18-500	2.30	45.7	152.9
XFS-06-24-500	2.30	61.0	152.9
XFS-09-12-100	3.50	30.5	30.5
XFS-09-12-500	3.50	30.5	152.9
XFS-09-18-100	3.50	45.7	30.5
XFS-09-18-500	3.50	45.7	152.9
XFSP-04-12-500 (violeta)	1.60	30.5	152.9
XFSP-04-18-500 (violeta)	1.60	45.7	152.9
XFSP-06-12-500 (violeta)	2.30	30.5	152.9
XFSP-06-18-500 (violeta)	2.30	45.7	152.9
XFSP-09-12-500 (violeta)	3.50	30.5	152.9
XFSP-09-18-500 (violeta)	3.50	45.7	152.9

Figura 34: Caudal y espaciamiento de los goteros
FUENTE: Productos de riego paisajístico Rain bird, 2015.

Capacidad máxima de retención del suelo

$$Ln = \left(\frac{CC - PMP}{100} \right) \times Ds \times Prf$$

Ln = 36.4 mm

Espaciamiento entre goteros:

Considerando un traslape de 100 % debido a que se necesita un área mojada del 100 % por el tipo de cultivo (césped) el cual requiere una cobertura total.

Diámetro del bulbo de humedecimiento: 0.5 m.

Área mojada: 100 %

Sin embargo, las mangueras vienen con goteros integrados autocompensados, espaciados 0.305 m, lo cual satisface el cálculo previo.



Figura 35: Área mojada al 100%

Tiempo de riego

Considerando que el tiempo de riego es el volumen entre el caudal del gotero (2.3 L/h), este último es dato del fabricante.

$$Tiempo_{riego} = \frac{Volumen}{Caudal} = \frac{espac. goteros * spac. hileras * \frac{Etc}{Eficiencia}}{Caudal}$$

Tiempo de riego: 14.44 minutos, es decir: 15 minutos.

Velocidad de aplicación:

$$V_{aplicacion} = \frac{Q_{gotero}}{espac. goteros \times spac. hileras}$$

Velocidad de aplicación: 19.17 mm/h

Requerimiento de lavado de sales:

Se considera una lámina adicional por el requerimiento de lavado de sales, a continuación, se observa la tolerancia a la salinidad del césped.

$$R_{ts} = \frac{CE_{agua}}{2 \times CE_{suelo}}$$

CE agua (dS/m): 0.49

CE suelo (dS/m): 8

Requerimiento de lavado de sales (%): 3.06%

DISEÑO HIDRÁULICO

En los cálculos hidráulicos, se consideraron las siguientes formulas. Se tomaron valores de coeficiente de uniformidad de 97% y de coeficiente de variación de fabricación 3.78%, los cuales representan clasificaciones de excelente y buena respectivamente, según Silveira et al. (2014).

Ecuación del emisor

$$q \text{ (L/hora)} = k \times (h_0)^x$$

Donde:

q: Caudal medio del emisor

k: Coeficiente de descarga del emisor

h_0 : Presión de entrada del agua en el emisor (kPa)

x: Exponente de descarga del emisor

Ecuación del emisor, según Silveira et al. (2014)

$$q \text{ (L/hora)} = 1.6720 \times (h_0)^{0.0567}$$

Con un $q = 2.3 \text{ L/h}$

Se efectuó una simulación del sistema de riego por goteo subterráneo mediante el programa Epanet, donde se obtuvo que para la operación del sistema con las doce válvulas abiertas, la pérdida de presión fue de 0.2 m, mientras que el caudal requerido fue de 0.23 l/s, por lo que

se decidió emplear una bomba de 0.85 HP, que satisface los requerimientos de presión y de caudal para el sistema. Ello fue posible puesto que la manguera de riego por goteo subterráneo Rain bird cuenta con goteros autocompensados los que trabajan dentro de un rango de presiones de 5.8 a 41.4m, por lo que la pérdida de carga permisible es de 35 m. La simulación fue efectuada considerando como tuberías de PVC (diámetro 1” y clase 10).

Cabe destacar que los arcos de riego se diseñaron para que contaran con válvulas de aire, necesarias por el sistema de riego por goteo subterráneo, pues evitan la intrusión de partículas de suelo en los emisores. Adicionalmente se colocaron rociadores unispray con boquillas VAN 10 Rain bird (las boquillas se mantuvieron cerradas todo el tiempo), solo confines de verificación visual de que el sistema esté completamente presurizado. Se escogieron válvulas tipo plasson como válvulas para independizar cada una de las unidades experimentales debido a que no permiten cierres bruscos, los cuales se evitan pues hacen proclives las roturas de tuberías. En los tramos finales de cada arco de riego se decidieron colocar puntos de toma de presión para controlar la presión de entrada a cada una de las parcelas.

El diseño incluyó la colocación de válvulas volumétricas por cada dos parcelas, con la finalidad de controlar las láminas teóricas con las láminas aplicadas, pues ello significa un método de control en los sistemas de riego por goteo subterráneo.

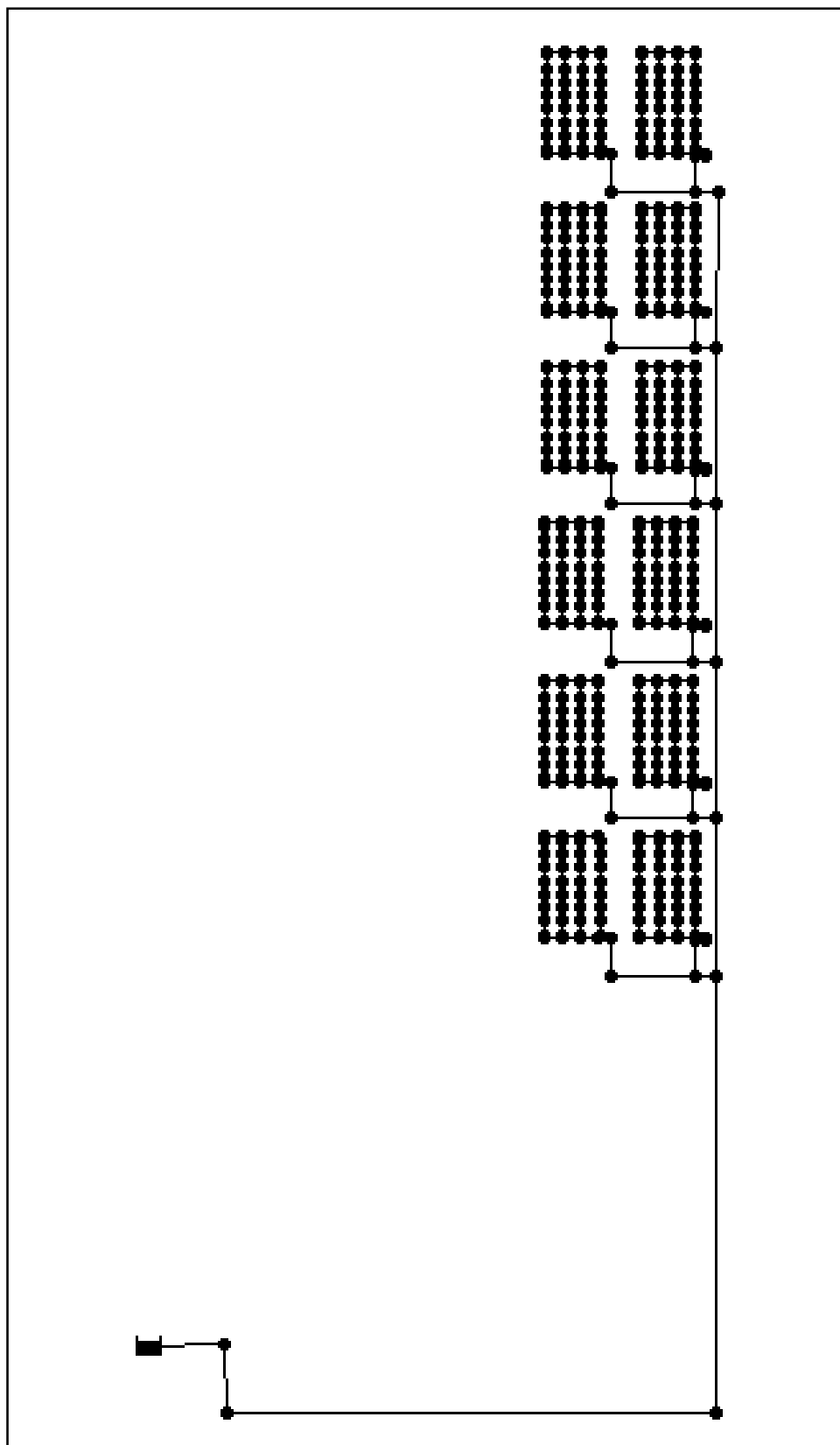


Figura 36: Esquema de diseño hidráulico del sistema de riego por goteo subterráneo en Epanet, con doce válvulas y carga disponible de 15 m

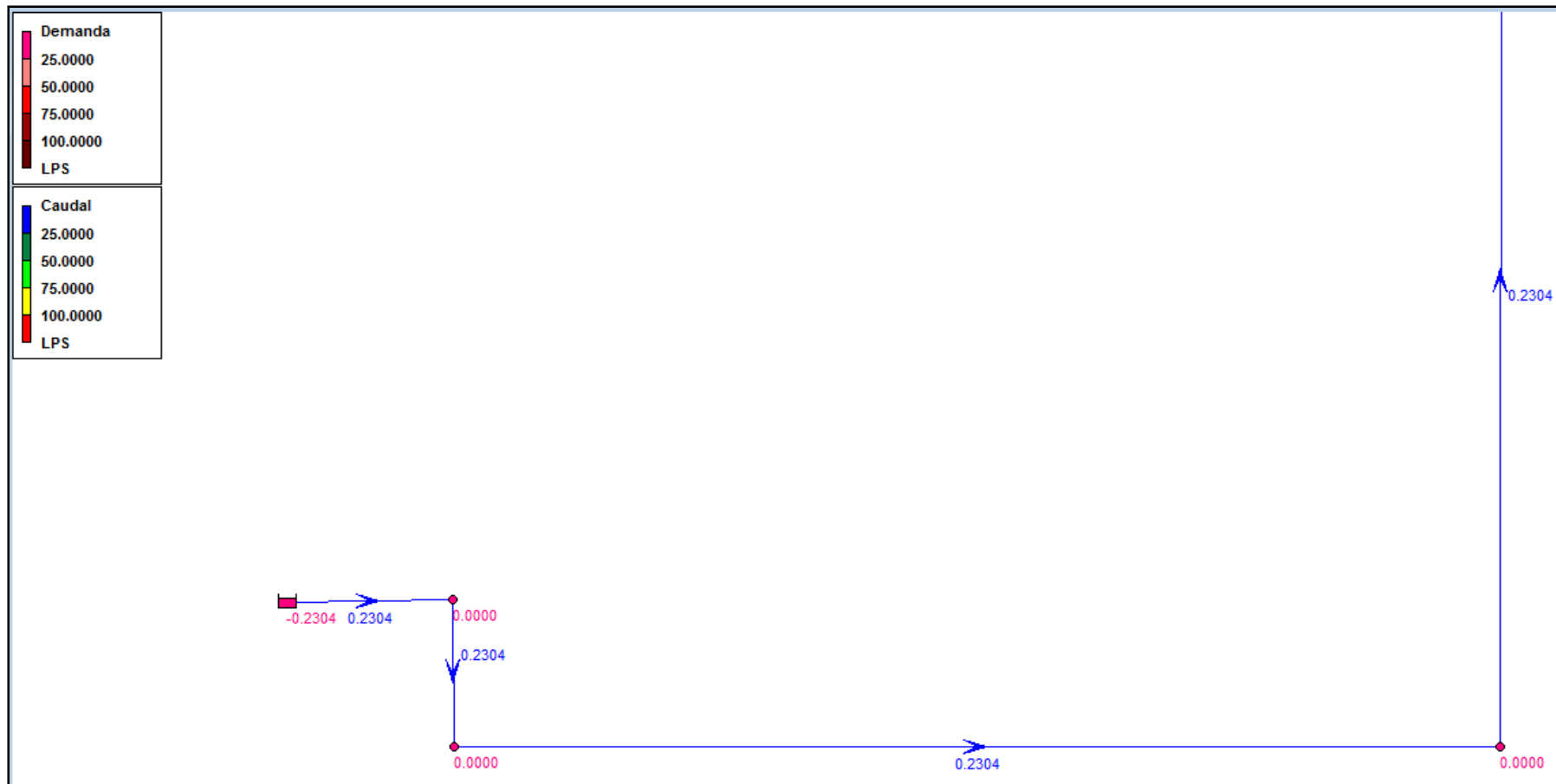


Figura 37: Caudal requerido (0.23 L/s) para la condición más crítica (doce válvulas abiertas) en el cabezal de riego

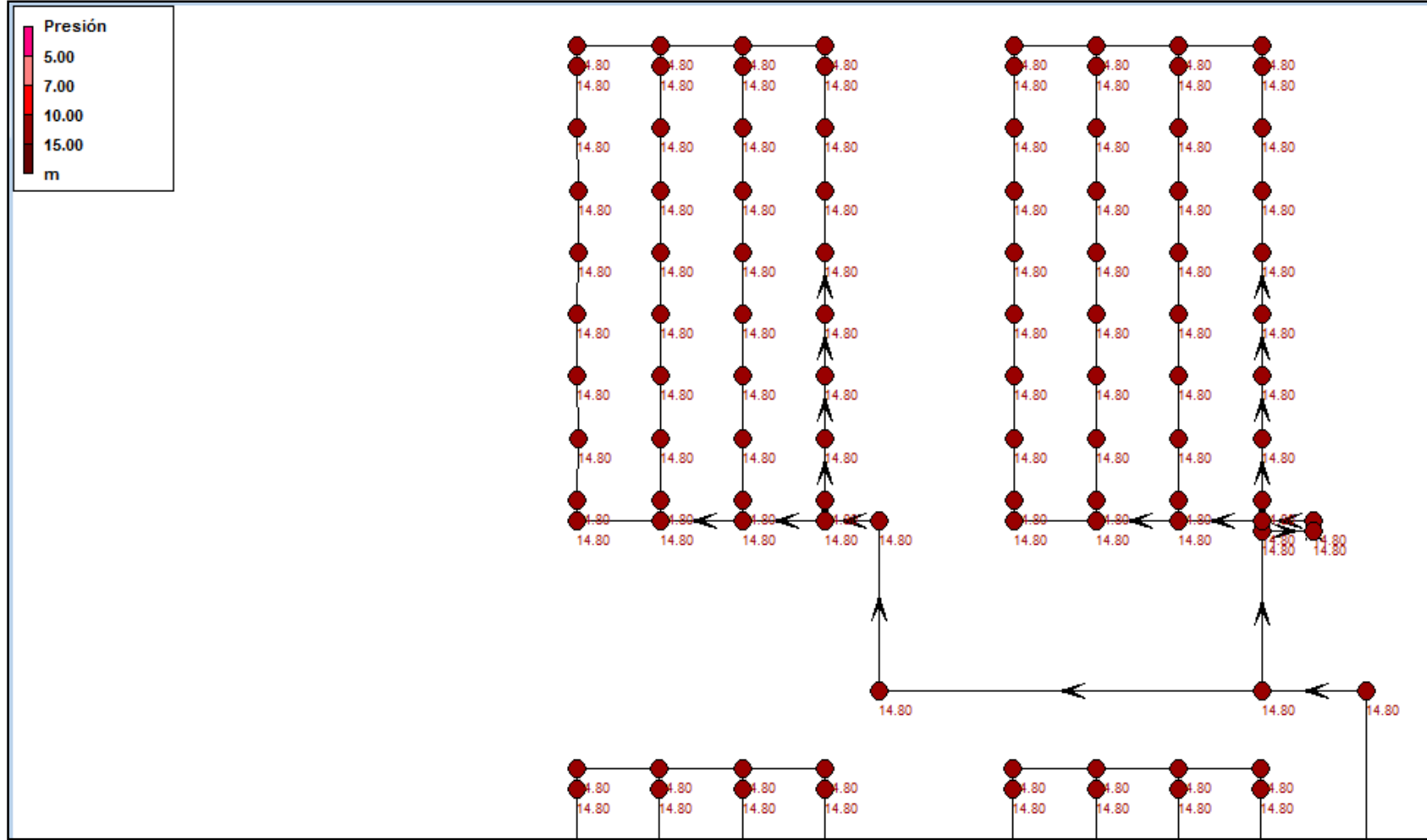


Figura 38: Pérdida de presión para la condición más crítica (doce válvulas abiertas), pérdida total: 0.2m, simulado con carga disponible de 15m

ANEXO 7 CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO

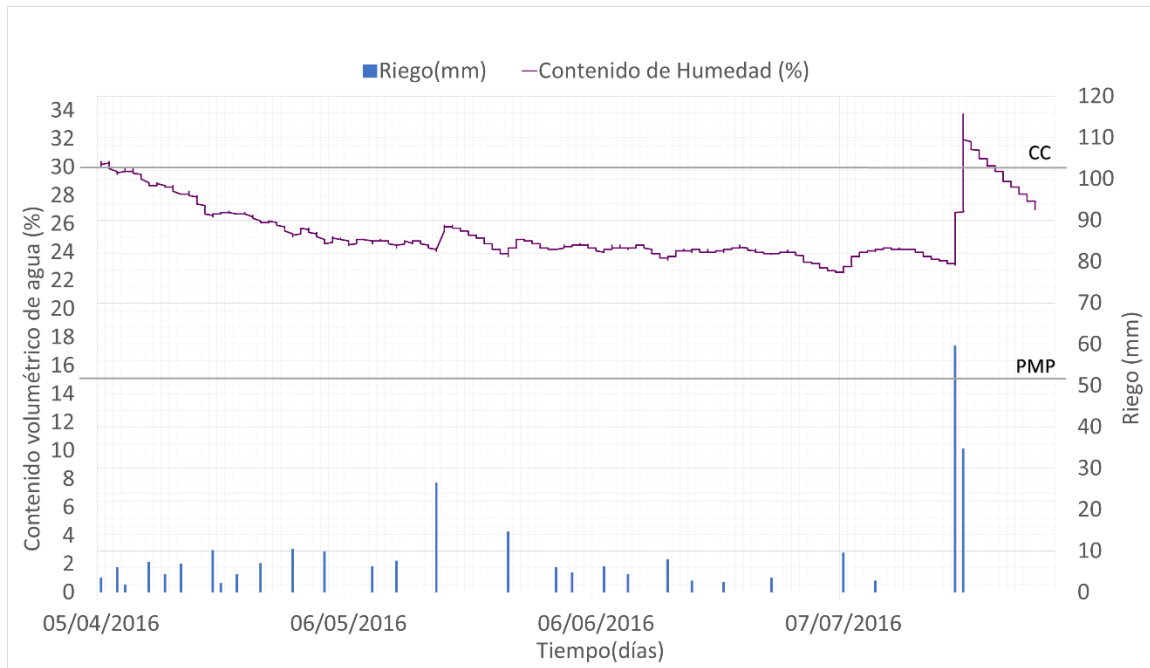


Figura 39: Contenido de humedad en el tratamiento T2

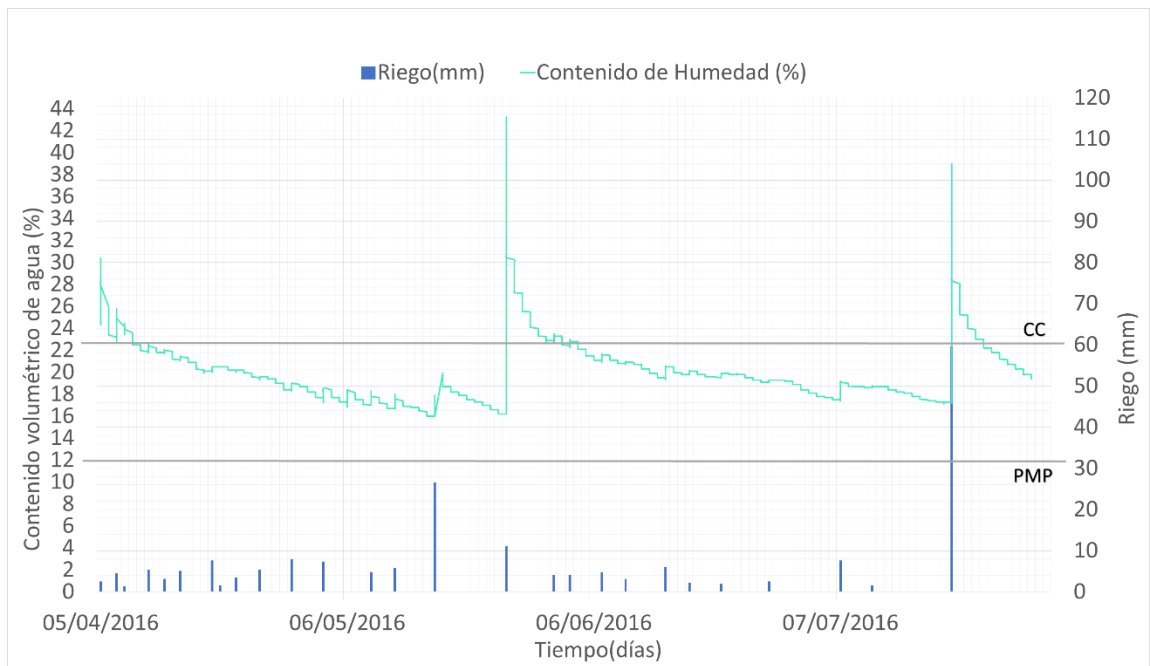


Figura 40: Contenido de humedad en el tratamiento T3

ANEXO 8 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PESOS FRESCOS

El análisis estadístico de pesos frescos se realizó en función a los datos obtenidos de campo, los cuales se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 38: Resumen de pesos frescos

RESUMEN PESOS FRESCOS						
Tratamientos	Fechas					
	Primera poda (18/04/2016)	Segunda poda (3/05/2016)	Tercera poda (16/05/2016)	Cuarta poda (31/05/2016)	Quinta poda (14/06/2016)	Sexta poda (27/06/2016)
T1-M1	121.7	74.3	102.8	114.9	119.2	73.0
T1-M2	104.3	123.6	64.9	70.7	83.4	54.3
T1-M3	95.6	52.9	42.8	36.7	49.5	28.3
T2-M1	75.3	71	75.9	108.2	74.6	53.1
T2-M2	100.9	98.1	58.9	52.9	47.0	30.7
T2-M3	147.0	153.1	84.4	92.0	62.7	39.1
T3-M1	100.3	63.6	51.1	38.8	54.2	31.5
T3-M2	55.4	68.7	47.9	67.0	49.4	23.9
T3-M3	118.4	118	56.7	69.1	54.0	41.2
T4-M1	144.0	124.5	76.9	80.6	63.5	31.7
T4-M2	61.0	52.7	37.4	57.6	25.5	14.7
T4-M3	85.2	66.4	46.5	25.5	18.6	8.4

Segunda poda (3/05/2016)

Tabla 39: Análisis de varianza del peso fresco en la segunda poda

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
WFRESCO	12	0.11	0.00	41.40	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1378.54	3	459.51	0.34	0.7979
TRATAMIENTOS	1378.54	3	459.51	0.34	0.7979
Error	10840.39	8	1355.05		
Total	12218.93	11			

A partir de la Tabla 39, se observa que no hay diferencia en los tratamientos puesto que p-valor es mayor a 5%.

Comprobación de los supuestos

1 Distribución normal

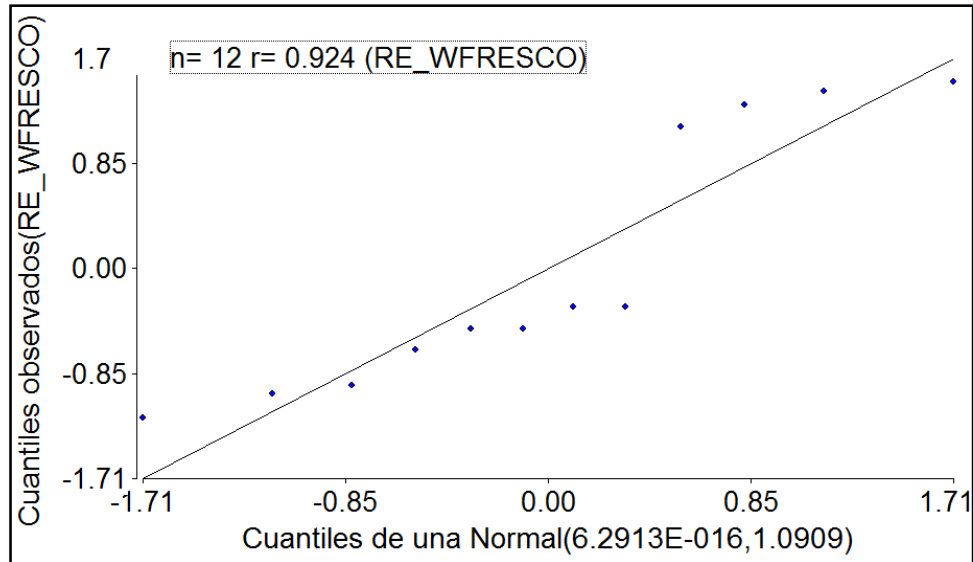


Figura 41: Prueba Shapiro - Wilks del peso fresco en la segunda poda

La recta de la regresión en la Figura 41 fue trazada según la prueba Shapiro-Wilk, donde el valor de r es 0.924, valor no mayor a 0.94, sin embargo bastante alto por lo que se acepta la distribución normal de los residuales. Cualquier función lineal de variables normalmente distribuidas se asume de distribución normal, por ser parte de sus propiedades.

2 Homogeneidad de varianzas

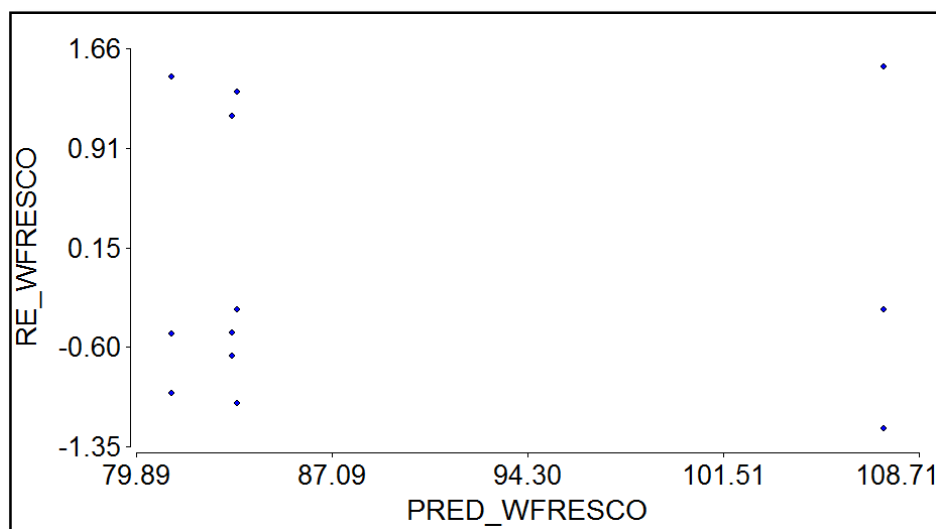


Figura 42: Prueba de homogeneidad de varianzas del peso fresco en la segunda poda

En la Figura 42, los puntos no forman un embudo, por lo tanto hay homogeneidad de varianzas, se cumplen con los dos principios del diseño, es decir distribución normal y homogeneidad de varianzas.

Prueba de Tukey:

Tabla 40: Prueba de Tukey del peso fresco en la segunda poda

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=96.25002				
Error: 1355.0483 gl: 8				
TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.	
T4	81.20	3	21.25	A
T3	83.43	3	21.25	A
T1	83.60	3	21.25	A
T2	107.40	3	21.25	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

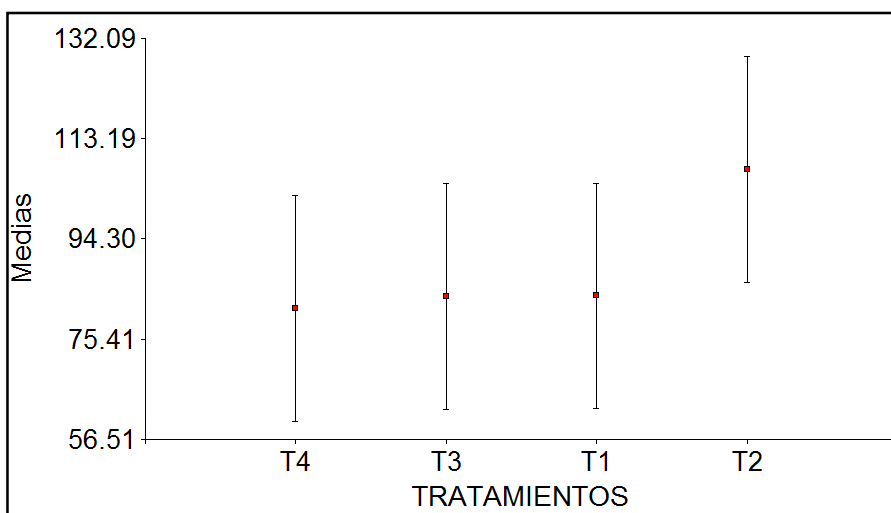


Figura 43: Análisis de medias de los pesos frescos en la segunda poda

La Tabla 40 y la Figura 43 muestran de forma tabular y gráfica respectivamente, que los tratamientos tienen igual efecto, puesto que todos tienen medias parecidas y los errores se traslapan.

Tercera poda (16/05/2016)

Tabla 41: Análisis de varianza del peso fresco en la tercera poda

Análisis de la varianza				
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
WFRESCO	12	0.26	0.00	31.52

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1084.80	3	361.60	0.94	0.4649
TRATAMIENTOS	1084.80	3	361.60	0.94	0.4649
Error	3074.19	8	384.27		
Total	4159.00	11			

A partir de la Tabla 41, se observa que no hay diferencia en los tratamientos puesto que p-valor es mayor a 5%.

Comprobación de los supuestos

1 Distribución normal

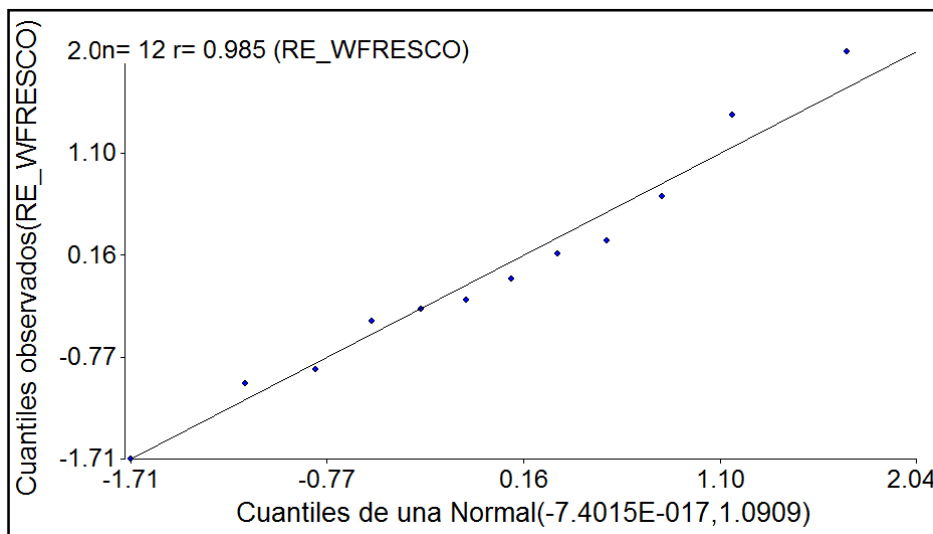


Figura 44: Prueba Shapiro - Wilks del peso fresco en la tercera poda

La recta de la regresión en la Figura 44 fue trazada según la prueba Shapiro-Wilk, donde el valor de r es 0.985, valor mayor a 0.94, por lo que se acepta la distribución normal de los residuales. Cualquier función lineal de variables normalmente distribuidas se asume de distribución normal, por ser parte de sus propiedades.

2 Homogeneidad de varianzas

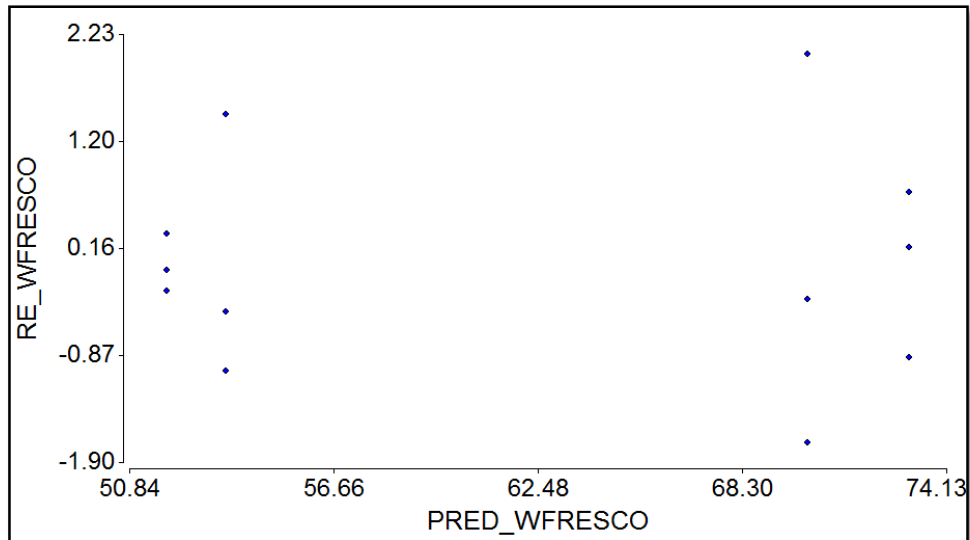


Figura 45: Prueba de homogeneidad de varianzas del peso fresco en la tercera poda

En la Figura 45 los puntos no forman un embudo, por lo tanto hay homogeneidad de varianzas, se cumplen con los dos principios del diseño, es decir distribución normal y homogeneidad de varianzas.

Prueba de Tukey:

Tabla 42: Prueba de Tukey del peso fresco en la tercera poda

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=51.25592				
Error: 384.2742 gl: 8				
TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.	
T3	51.90	3	11.32	A
T4	53.60	3	11.32	A
T1	70.17	3	11.32	A
T2	73.07	3	11.32	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

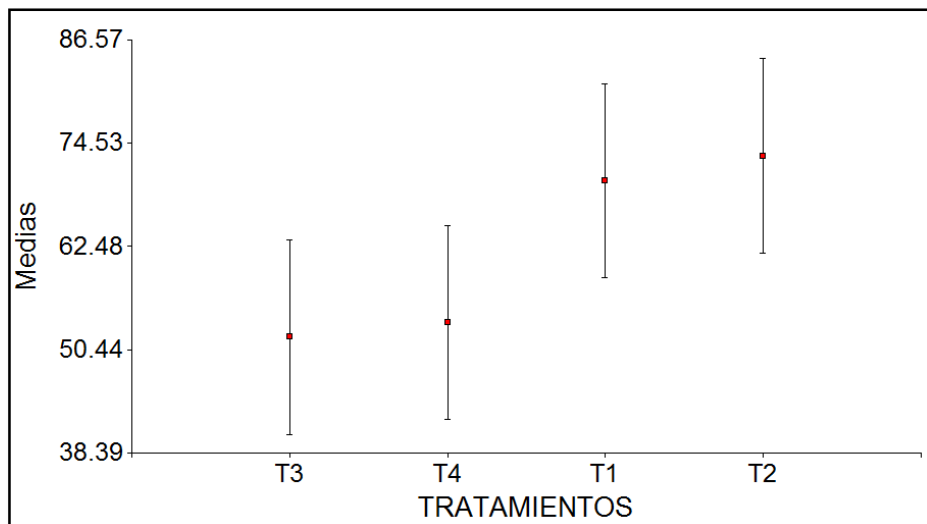


Figura 46: Análisis de medias de los pesos frescos en la tercera poda

La Tabla 42 y la Figura 46 muestran de forma tabular y gráfica respectivamente, que los tratamientos tienen igual efecto, puesto que todos tienen medias parecidas y los errores se traslapan.

Cuarta poda (31/05/2016)

Tabla 43: Análisis de varianza del peso fresco en la cuarta poda

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
WFRESCO	12	0.20	0.00	42.97	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1738.53	3	579.51	0.68	0.5874
TRATAMIENTOS	1738.53	3	579.51	0.68	0.5874
Error	6795.79	8	849.47		
Total	8534.33	11			

A partir de la Tabla 43, se observa que no hay diferencia en los tratamientos puesto que p-valor es mayor a 5%.

Comprobación de los supuestos

1 Distribución normal

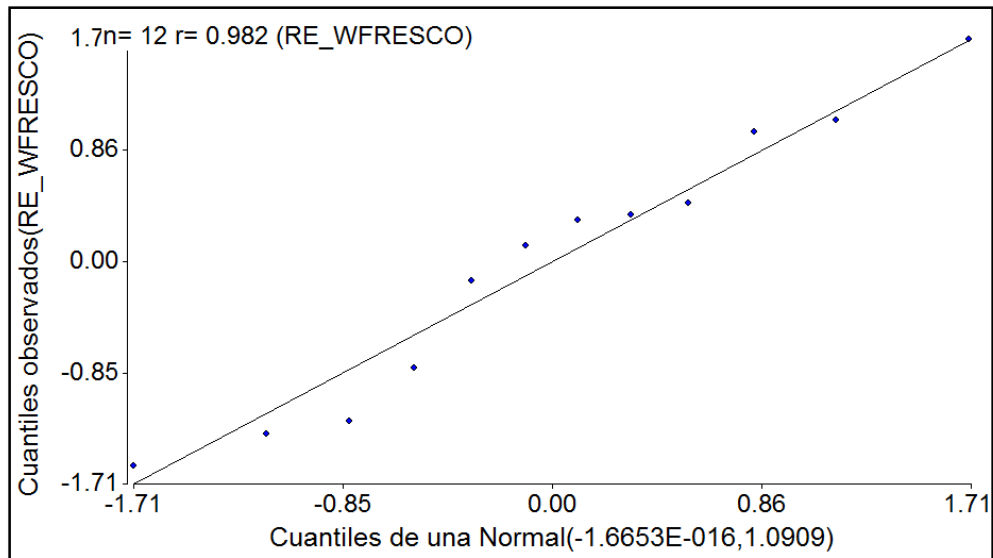


Figura 47: Prueba Shapiro - Wilks del peso fresco en la cuarta poda

La recta de la regresión en la Figura 47 fue trazada según la prueba Shapiro-Wilk, donde el valor de r es 0.982, valor mayor a 0.94, por lo que se acepta la distribución normal de los residuales. Cualquier función lineal de variables normalmente distribuidas se asume de distribución normal, por ser parte de sus propiedades.

2 Homogeneidad de varianzas

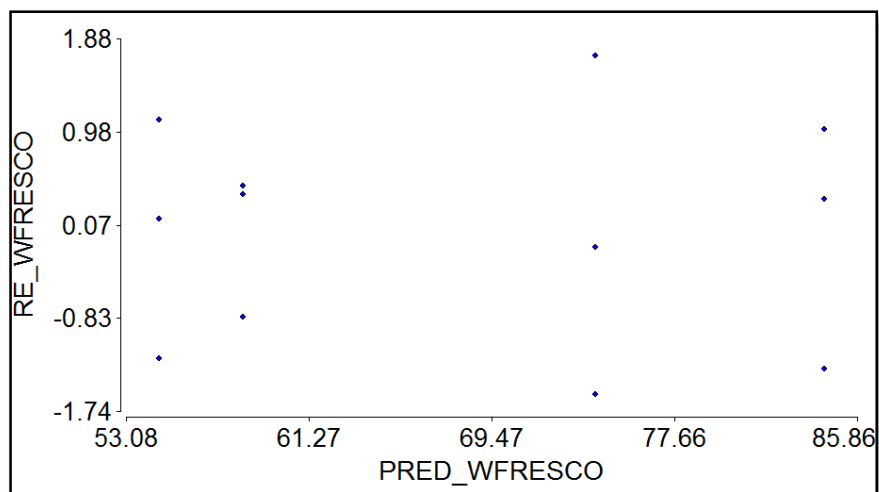


Figura 48: Prueba de homogeneidad de varianzas del peso fresco en la cuarta poda

En la Figura 48 los puntos no forman un embudo, por lo tanto hay homogeneidad de varianzas, se cumplen con los dos principios del diseño, es decir distribución normal y homogeneidad de varianzas.

Prueba de Tukey:

Tabla 44: Prueba de Tukey del peso fresco en la cuarta poda

TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.	
T4	54.57	3	16.83	A
T3	58.30	3	16.83	A
T1	74.10	3	16.83	A
T2	84.37	3	16.83	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

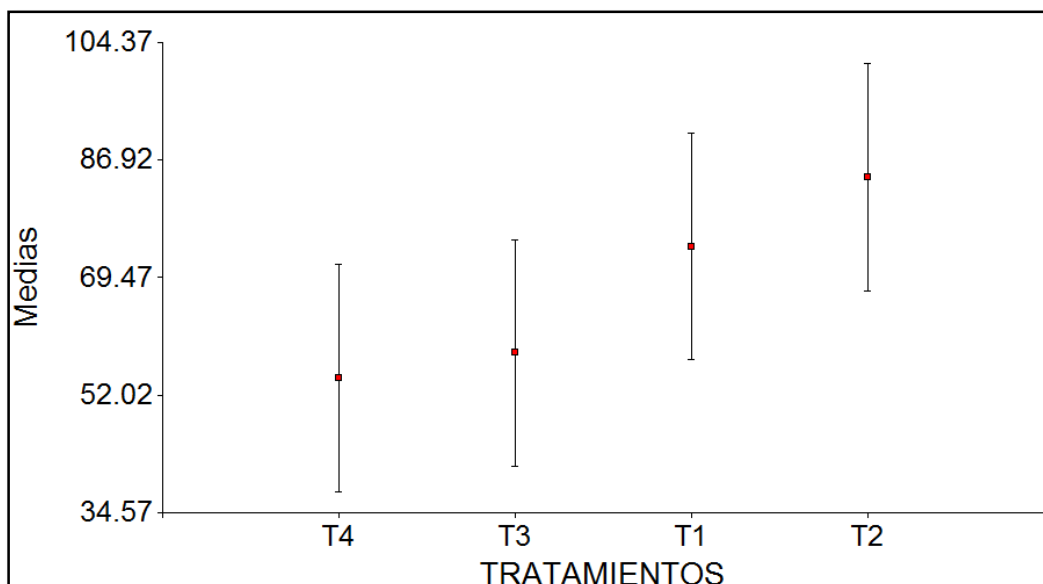


Figura 49: Análisis de medias de los pesos frescos en la cuarta poda

La Tabla 44 y la Figura 49 muestran de forma tabular y gráfica respectivamente, que los tratamientos tienen igual efecto, puesto que todos tienen medias parecidas y los errores se traslapan.

Quinta poda (14/06/2016)

Tabla 45: Análisis de varianza del peso fresco en la quinta poda

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
WFRESCO	12	0.48	0.28	38.23	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	3625.26	3	1208.42	2.42	0.1414
TRATAMIENTOS	3625.26	3	1208.42	2.42	0.1414
Error	3996.89	8	499.61		
Total	7622.15	11			

A partir de la Tabla 45, se observa que no hay diferencia en los tratamientos puesto que p-valor es mayor a 5%.

Comprobación de los supuestos

1 Distribución normal

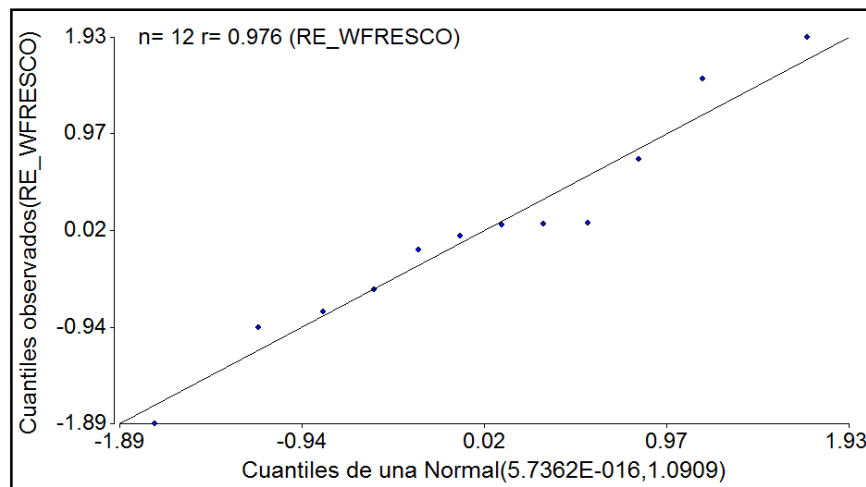


Figura 50: Prueba Shapiro - Wilks del peso fresco en la quinta poda

La recta de la regresión en la Figura 50 fue trazada según la prueba Shapiro-Wilk, donde el valor de r es 0.976, valor mayor a 0.94, por lo que se acepta la distribución normal de los residuales. Cualquier función lineal de variables normalmente distribuidas se asume de distribución normal, por ser parte de sus propiedades.

2 Homogeneidad de varianzas

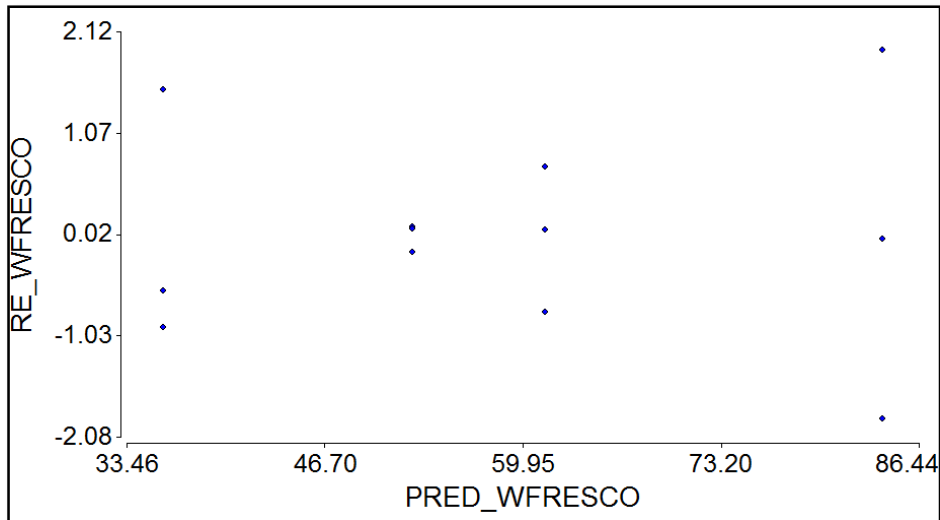


Figura 51: Prueba de homogeneidad de varianzas del peso fresco en la quinta poda

En la Figura 51 los puntos no forman un embudo, por lo tanto hay homogeneidad de varianzas, se cumplen con los dos principios del diseño, es decir distribución normal y homogeneidad de varianzas.

Prueba de Tukey:

Tabla 46: Prueba de Tukey del peso fresco en la quinta poda

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=58.44392				
Error: 499.6108 gl: 8				
TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.	
T4	35.87	3	12.90	A
T3	52.53	3	12.90	A
T2	61.43	3	12.90	A
T1	84.03	3	12.90	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

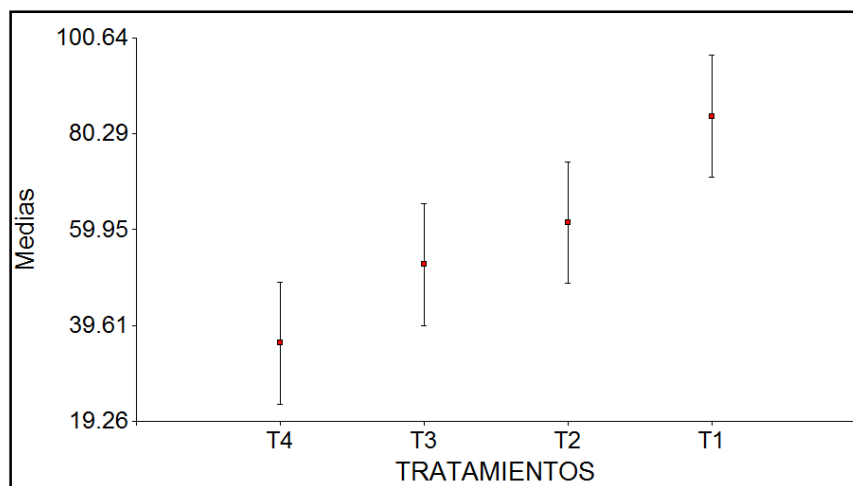


Figura 52: Análisis de medias de los pesos frescos en la quinta poda

La Tabla 46 y la Figura 52 muestran de forma tabular y gráfica respectivamente, que los tratamientos tienen igual efecto, puesto que todos tienen medias parecidas y los errores se traslapan.

Sexta poda (27/06/2016)

Tabla 47: Análisis de varianza del peso fresco en la sexta poda

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
WFRESCO	12	0.52	0.33	40.75	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1815.62	3	605.21	2.84	0.1057
TRATAMIENTOS	1815.62	3	605.21	2.84	0.1057
Error	1704.94	8	213.12		
Total	3520.56	11			

A partir de la Tabla 47, se observa que no hay diferencia en los tratamientos puesto que p-valor es mayor a 5%.

Comprobación de los supuestos

1 Distribución normal

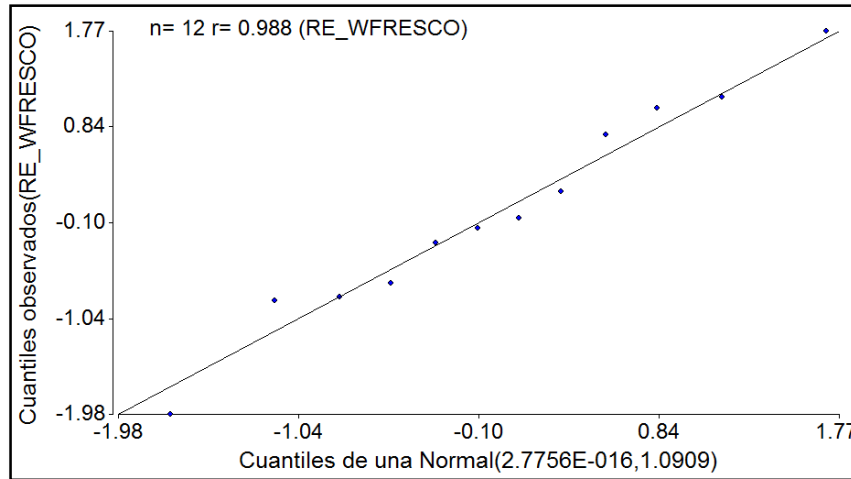


Figura 53: Prueba Shapiro - Wilks del peso fresco en la sexta poda

La recta de la regresión en la Figura 53 fue trazada según la prueba Shapiro-Wilk, donde el valor de r es 0.988, valor mayor a 0.94, por lo que se acepta la distribución normal de los residuales. Cualquier función lineal de variables normalmente distribuidas se asume de distribución normal, por ser parte de sus propiedades.

2 Homogeneidad de varianzas

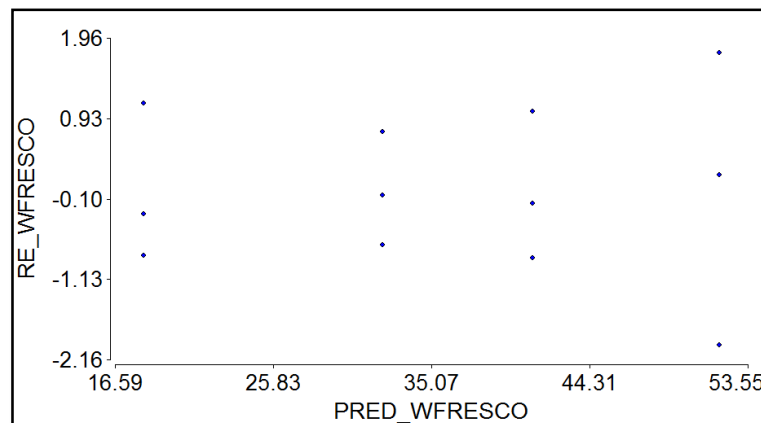


Figura 54: Prueba de homogeneidad de varianzas del peso fresco en la sexta poda

En la Figura 54 los puntos no forman un embudo, por lo tanto hay homogeneidad de varianzas, se cumplen con los dos principios del diseño, es decir distribución normal y homogeneidad de varianzas.

Prueba de Tukey:

Tabla 48: Prueba de Tukey del peso fresco en la sexta poda

TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.	
T4	18.27	3	8.43	A
T3	32.20	3	8.43	A
T2	40.97	3	8.43	A
T1	51.87	3	8.43	A

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=38.17095
 Error: 213.1175 gl: 8
 Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

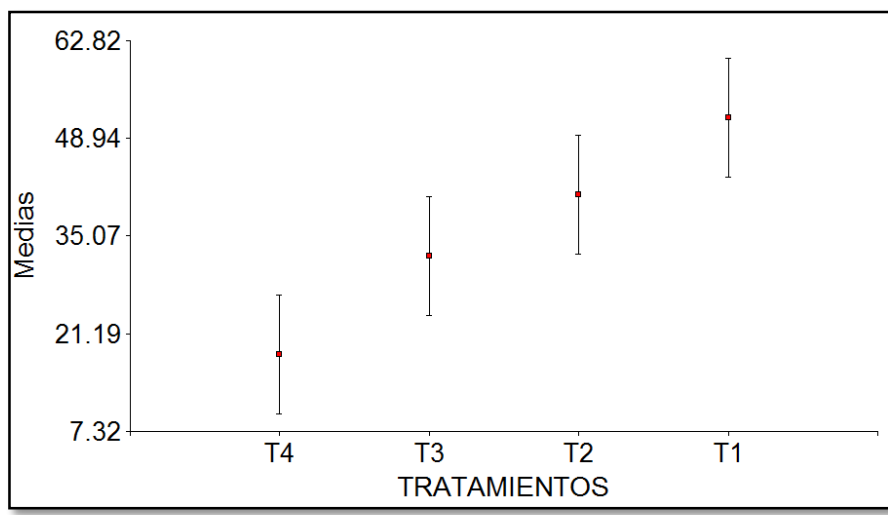


Figura 55: Análisis de medias de los pesos frescos en la sexta poda

La Tabla 48 y la Figura 55 muestran de forma tabular y gráfica respectivamente, que los tratamientos tienen igual efecto, puesto que todos tienen medias parecidas y los errores se traslapan.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PESOS SECOS

El análisis estadístico de pesos secos se realizó en función a los datos obtenidos de campo, los cuales se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 49: Resumen de pesos secos

RESUMEN PESOS SECOS						
Tratamientos	Fechas					
	Primera poda (18/04/2016)	Segunda poda (3/05/2016)	Tercera poda (16/05/2016)	Cuarta poda (31/05/2016)	Quinta poda (14/06/2016)	Sexta poda (27/06/2016)
T1-M1	29.8	20.1	22.5	23.4	25.6	15.6
T1-M2	28.69	30.7	14.7	15.4	20.4	12.4
T1-M3	22.7	15.6	9.9	8.3	12.7	6.8
T2-M1	19.3	18.8	17.4	22.6	17.8	12.0
T2-M2	25.3	25.0	14.1	12.6	13.5	7.3
T2-M3	34.6	36.7	19.4	20.1	15.6	8.9
T3-M1	23.7	17.5	12.7	9.2	13.1	7.2
T3-M2	14.2	18.8	13.5	14.8	12.3	6.0
T3-M3	28.0	29.2	13.4	15.2	14.8	10.7
T4-M1	36.6	32.3	19.5	19.2	17.3	8.0
T4-M2	15.6	15.3	9.8	14.0	7.5	4.1
T4-M3	22.4	17.9	11.8	6.7	6.2	2.7

Segunda poda (3/05/2016)

Tabla 50: Análisis de varianza del peso seco en la segunda poda

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
WSECO	12	0.09	0.00	35.33

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo.	54.20	3	18.07	0.27	0.8454	
TRATAMIENTOS	54.20	3	18.07	0.27	0.8454	
Error	535.41	8	66.93			
Total	589.61	11				

A partir de la Tabla 50, se observa que no hay diferencia en los tratamientos puesto que p-valor es mayor a 5%

Comprobación de los supuestos

1 Distribución normal

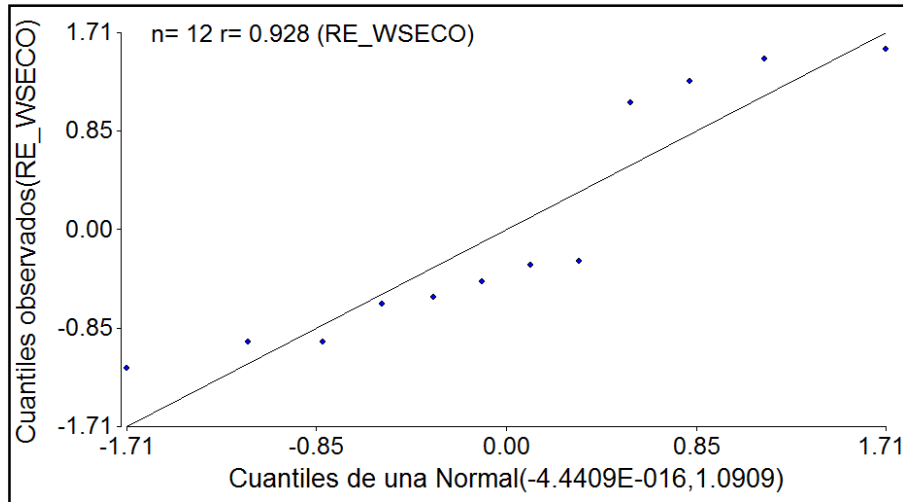


Figura 56: Prueba Shapiro - Wilks del peso seco en la segunda poda

La recta de la regresión en la Figura 56 fue trazada según la prueba Shapiro-Wilk, donde el valor de r es 0.928, valor mayor a 0.94 sin embargo bastante alto, por lo que se acepta la distribución normal de los residuales. Cualquier función lineal de variables normalmente distribuidas se asume de distribución normal, por ser parte de sus propiedades.

2 Homogeneidad de varianzas

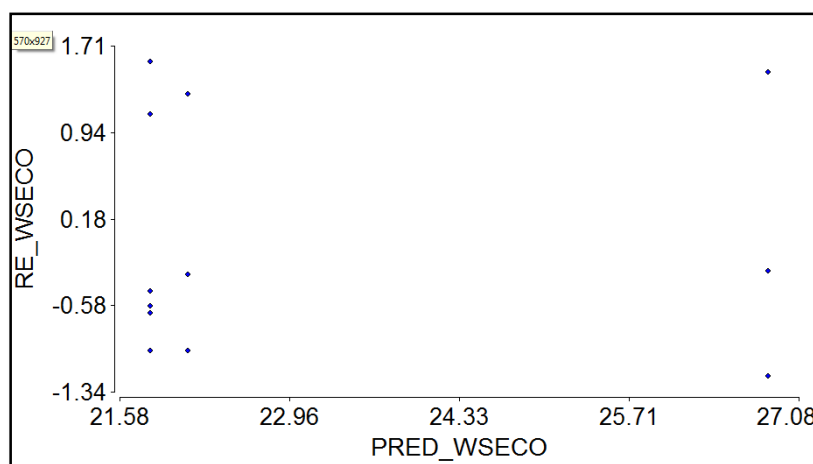


Figura 57: Prueba de homogeneidad de varianzas del peso seco en la segunda poda

En la Figura 57, los puntos no forman un embudo, por lo tanto hay homogeneidad de varianzas, entonces se cumplen los dos principios del diseño, es decir distribución normal y homogeneidad de varianzas.

Prueba de Tukey:

Tabla 51: Prueba de Tukey del peso seco en la segunda poda

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=21.39047				
Error: 66.9258 gl: 8				
TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.	
T3	21.83	3	4.72	A
T4	21.83	3	4.72	A
T1	22.13	3	4.72	A
T2	26.83	3	4.72	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

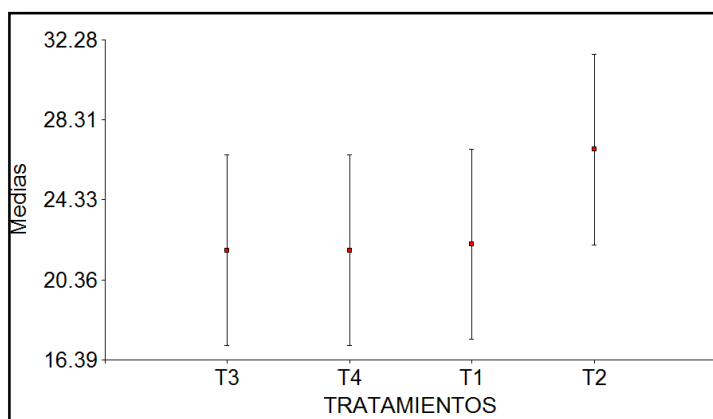


Figura 58: Análisis de medias de los pesos secos en la segunda poda

La Tabla 51 y la Figura 58, muestran de forma tabular y gráfica respectivamente, que los tratamientos tienen igual efecto, puesto que todos tienen medias parecidas y los errores se traslapan.

Tercera poda (16/05/2016)

Tabla 52: Análisis de varianza del peso seco en la tercera poda

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
WSECO	12	0.16	0.00	28.89	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	27.72	3	9.24	0.50	0.6930
TRATAMIENTOS	27.72	3	9.24	0.50	0.6930
Error	148.05	8	18.51		
Total	175.77	11			

A partir de la Tabla 52, se observa que no hay diferencia en los tratamientos puesto que p-valor es mayor a 5%.

Comprobación de los supuestos

1 Distribución normal

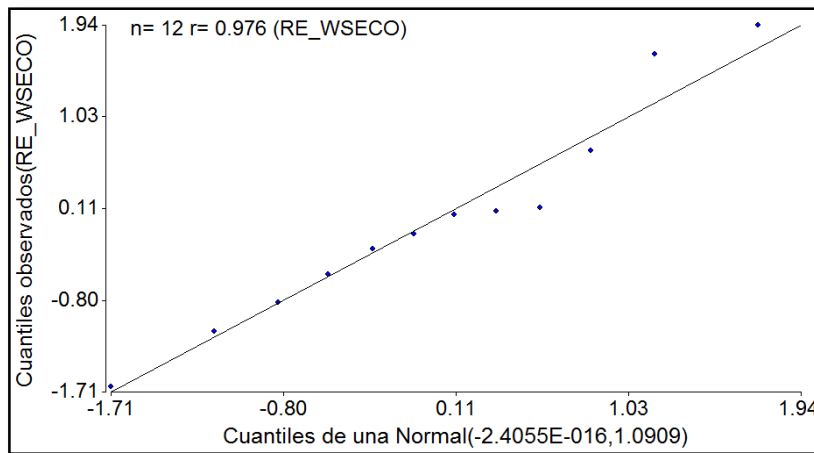


Figura 59: Prueba Shapiro - Wilks del peso seco en la tercera poda

La recta de la regresión en la Figura 59 fue trazada según la prueba Shapiro-Wilk, donde el valor de r es 0.976, valor mayor a 0.94, por lo que se acepta la distribución normal de los residuales. Cualquier función lineal de variables normalmente distribuidas se asume de distribución normal, por ser parte de sus propiedades.

2 Homogeneidad de varianzas

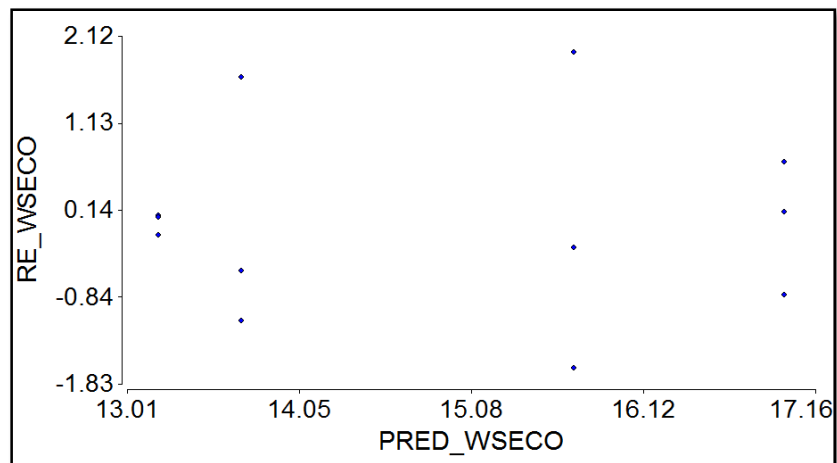


Figura 60: Prueba de homogeneidad de varianzas del peso seco en la tercera poda

En la Figura 60, los puntos no forman un embudo, por lo tanto hay homogeneidad de varianzas, entonces se cumplen los dos principios del diseño, es decir distribución normal y homogeneidad de varianzas.

Prueba de Tukey:

Tabla 53: Prueba de Tukey del peso seco en la tercera poda

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=11.24806				
Error: 18.5058 gl: 8				
TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.	
T3	13.20	3	2.48	A
T4	13.70	3	2.48	A
T1	15.70	3	2.48	A
T2	16.97	3	2.48	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

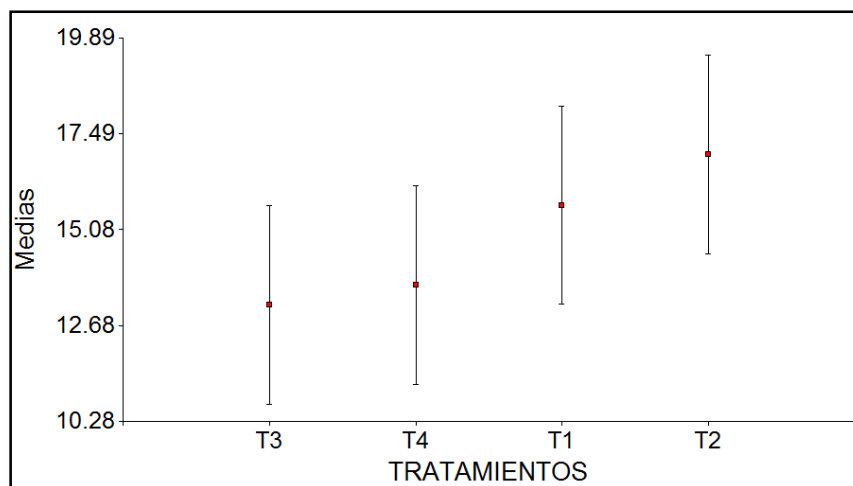


Figura 61: Análisis de medias de los pesos secos en la tercera poda

La Tabla 53 y la Figura 61, muestran de forma tabular y gráfica respectivamente, que los tratamientos tienen igual efecto, puesto que todos tienen medias parecidas y los errores se traslapan.

Cuarta poda (31/05/2016)

Tabla 54: Análisis de varianza del peso seco en la cuarta poda

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
WSECO	12	0.17	0.00	38.39	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	56.53	3	18.84	0.56	0.6568
TRATAMIENTOS	56.53	3	18.84	0.56	0.6568
Error	269.67	8	33.71		
Total	326.20	11			

A partir de la Tabla 54, se observa que no hay diferencia en los tratamientos puesto que p-valor es mayor a 5%.

Comprobación de los supuestos

1 Distribución normal

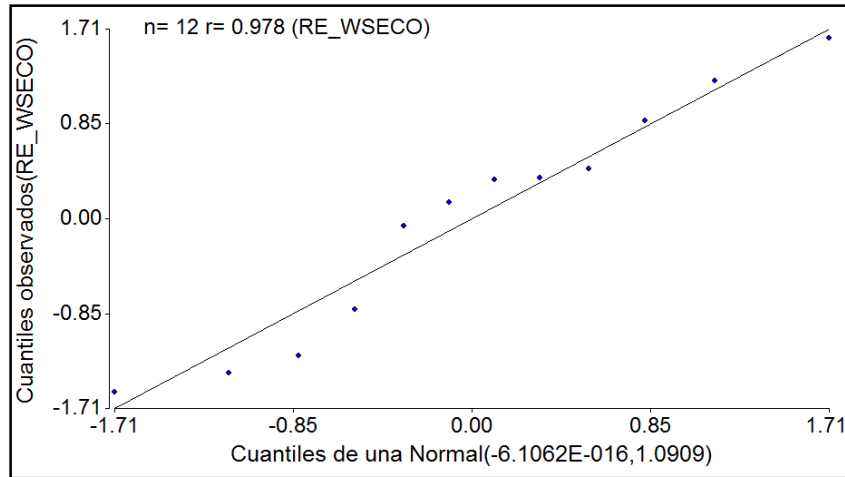


Figura 62: Prueba Shapiro - Wilks de los pesos secos en la cuarta poda

La recta de la regresión en la Figura 62 fue trazada según la prueba Shapiro-Wilk, donde el valor de r es 0.978, valor mayor a 0.94, por lo que se acepta la distribución normal de los residuales. Cualquier función lineal de variables normalmente distribuidas se asume de distribución normal, por ser parte de sus propiedades.

2 Homogeneidad de varianzas

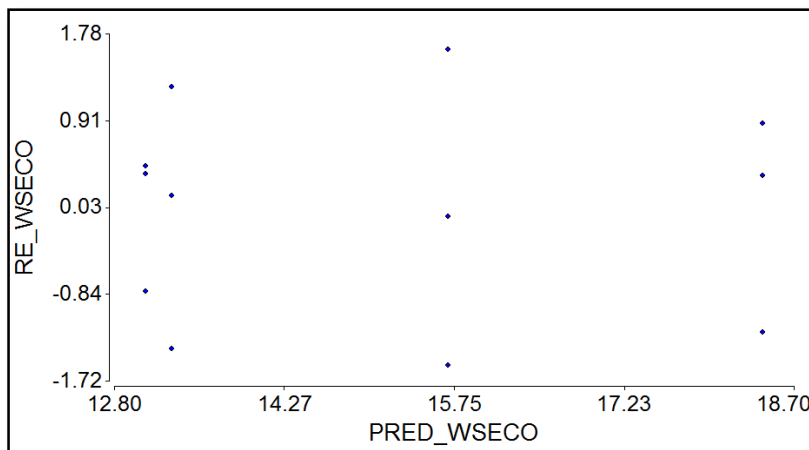


Figura 63: Prueba de homogeneidad de varianzas del peso seco en la cuarta poda

En la Figura 63, los puntos no forman un embudo, por lo tanto hay homogeneidad de varianzas, entonces se cumplen los dos principios del diseño, es decir distribución normal y homogeneidad de varianzas.

Prueba de Tukey:

Tabla 55: Prueba de Tukey de los pesos secos en la cuarta poda

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=15.18090				
Error: 33.7092 gl: 8				
TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.	
T3	13.07	3	3.35	A
T4	13.30	3	3.35	A
T1	15.70	3	3.35	A
T2	18.43	3	3.35	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

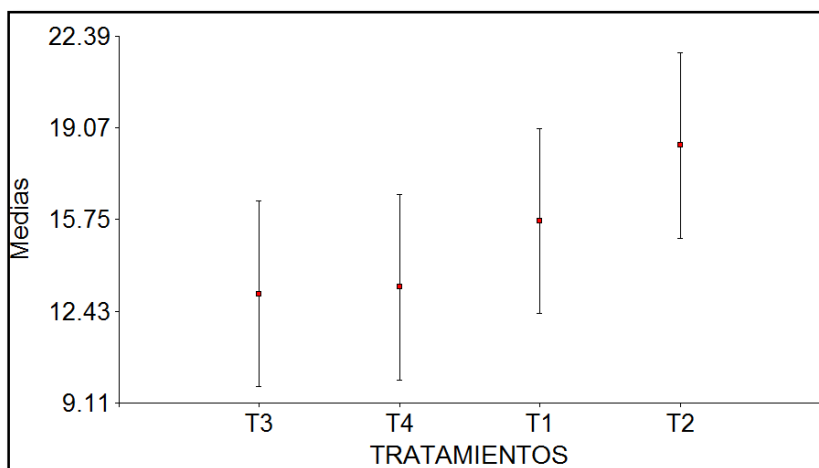


Figura 64: Análisis de medias de los pesos secos en la cuarta poda

La Tabla 55 y la Figura 64, muestran de forma tabular y gráfica respectivamente, que los tratamientos tienen igual efecto, puesto que todos tienen medias parecidas y los errores se traslapan.

Quinta poda (14/06/2016)

Tabla 56: Análisis de varianza del peso seco en la quinta poda

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
WSECO	12	0.44	0.24	31.32	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	135.93	3	45.31	2.13	0.1750
TRATAMIENTOS	135.93	3	45.31	2.13	0.1750
Error	170.40	8	21.30		
Total	306.33	11			

A partir de la Tabla 56, se observa que no hay diferencia en los tratamientos puesto que p-valor es mayor a 5%.

Comprobación de los supuestos

1 Distribución normal

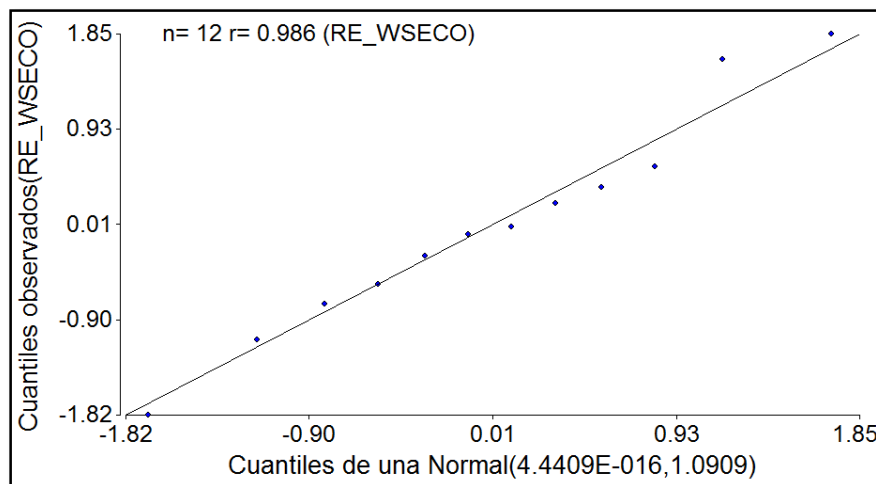


Figura 65: Prueba Shapiro - Wilks del peso seco en la quinta poda

La recta de la regresión en la Figura 65 fue trazada según la prueba Shapiro-Wilk, donde el valor de r es 0.986, valor mayor a 0.94, por lo que se acepta la distribución normal de los residuales. Cualquier función lineal de variables normalmente distribuidas se asume de distribución normal, por ser parte de sus propiedades.

2 Homogeneidad de varianzas

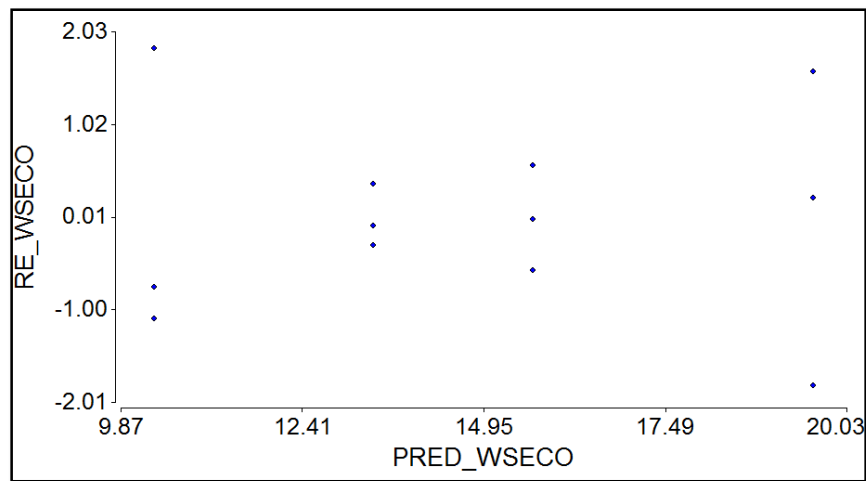


Figura 66: Prueba de homogeneidad de varianzas del peso seco en la quinta poda

En la Figura 66, los puntos no forman un embudo, por lo tanto hay homogeneidad de varianzas, entonces se cumplen los dos principios del diseño, es decir distribución normal y homogeneidad de varianzas.

Prueba de Tukey:

Tabla 57: Prueba de Tukey del peso seco en la quinta poda

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=12.06739				
Error: 21.3000 gl: 8				
TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.	
T4	10.33	3	2.66	A
T3	13.40	3	2.66	A
T2	15.63	3	2.66	A
T1	19.57	3	2.66	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

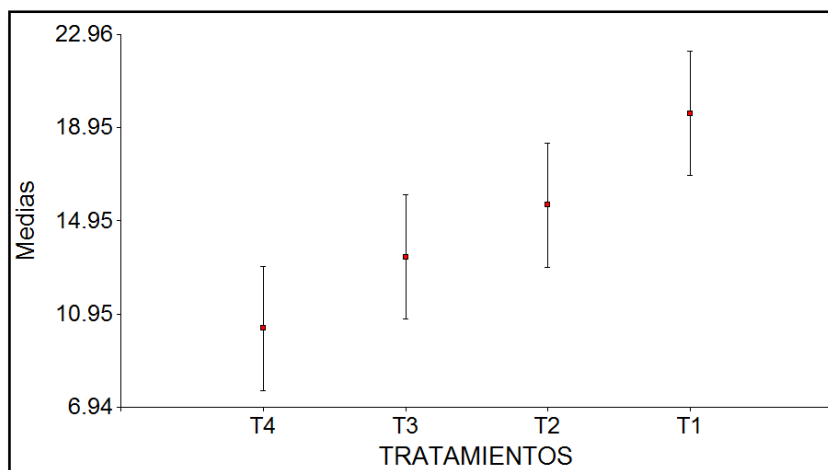


Figura 67: Análisis de medias de los pesos secos en la quinta poda

La Tabla 57 y la Figura 67, muestran de forma tabular y gráfica respectivamente, que los tratamientos tienen igual efecto, puesto que todos tienen medias parecidas y los errores se traslapan.

Sexta poda (27/06/2016)

Tabla 58: Análisis de varianza del peso seco en la sexta poda

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
WSECO	12	0.47	0.28	36.87	
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	70.27	3	23.42	2.40	0.1434
TRATAMIENTOS	70.27	3	23.42	2.40	0.1434
Error	78.11	8	9.76		
Total	148.38	11			

A partir de la Tabla 58, se observa que no hay diferencia en los tratamientos puesto que p-valor es mayor a 5%.

Comprobación de los supuestos

1 Distribución normal

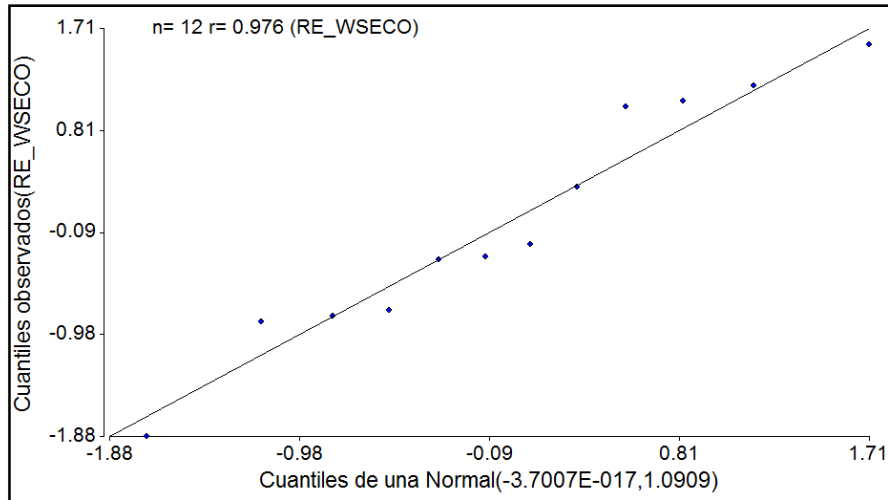


Figura 68: Prueba Shapiro - Wilks del peso seco en la sexta poda

La recta de la regresión en la Figura 68 fue trazada según la prueba Shapiro-Wilk, donde el valor de r es 0.976, valor mayor a 0.94, por lo que se acepta la distribución normal de los residuales. Cualquier función lineal de variables normalmente distribuidas se asume de distribución normal, por ser parte de sus propiedades.

2 Homogeneidad de varianzas

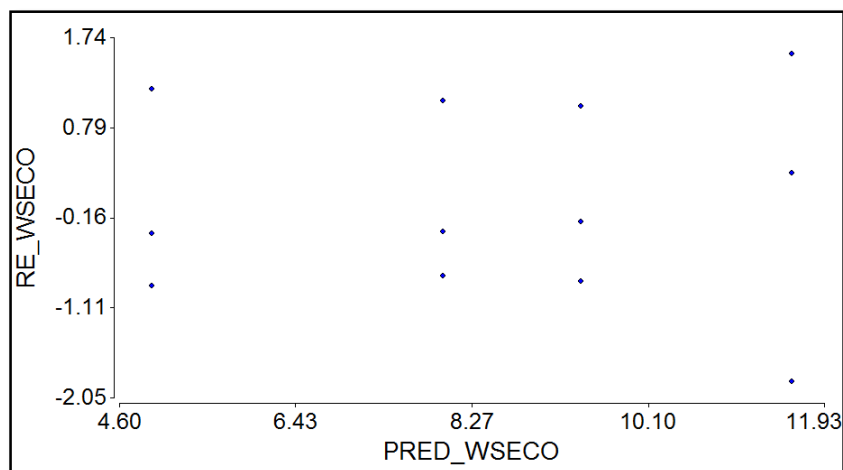


Figura 69: Prueba de homogeneidad de varianzas del peso seco en la sexta poda

En la Figura 69, los puntos no forman un embudo, por lo tanto hay homogeneidad de varianzas, entonces se cumplen los dos principios del diseño, es decir distribución normal y homogeneidad de varianzas.

Prueba de Tukey:

Tabla 59: Prueba de Tukey del peso seco en la sexta poda

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=8.17036				
Error: 9.7642 gl: 8				
TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.	
T4	4.93	3	1.80	A
T3	7.97	3	1.80	A
T2	9.40	3	1.80	A
T1	11.60	3	1.80	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

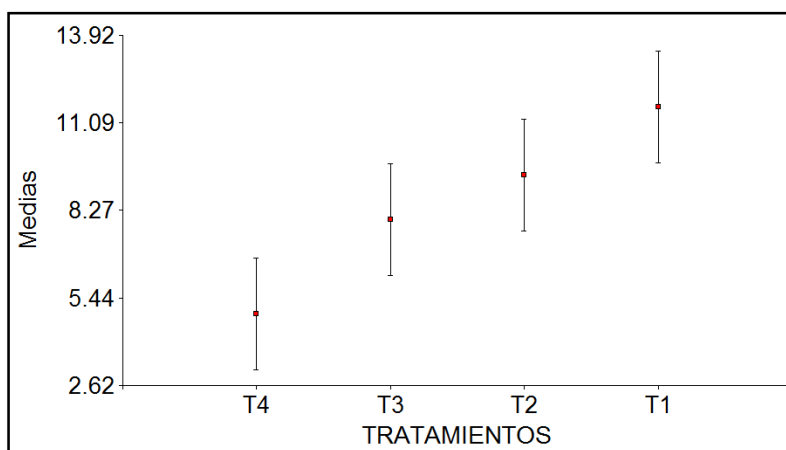


Figura 70: Análisis de medias de los pesos secos en la sexta poda

La Tabla 59 y la Figura 70, muestran de forma tabular y gráfica respectivamente, que los tratamientos tienen igual efecto, puesto que todos tienen medias parecidas y los errores se traslapan.

ANEXO 9 MANUAL DE OPERACIÓN: SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO SUBTERRÁNEO

MANUAL DE OPERACIONES

Actividades diarias:

Hora de llegada: La hora de llegada debe ser entre 8 y 10 de la mañana puesto que las mediciones requieren de un intervalo de tiempo constante y por las mañanas.

ACTIVIDAD 1: Lectura de la ETo en el tanque evaporímetro Clase A

Dicha actividad consiste en medir la evaporación diaria mediante el tanque evaporímetro. Para ello se enraza la punta del tornillo micrométrico con el pelo de agua y se anota el valor que marque el tornillo, la escala vertical indica las unidades mientras que la escala horizontal (circular) indica las centésimas, es decir la precisión en centésimas.

Cabe destacar que el cambio de agua del tanque evaporímetro debe efectuarse se forma semanal pues la acumulación de elementos ajenos al agua incrementa la turbidez y perjudica las lecturas. El borde libre (Según FAO) debe ser de 5 cm, mientras que el tornillo se debe dejar al nivel de 50 mm para tener un mayor rango de mediciones y lo máximo que puede disminuir el nivel de agua es de 7.5 cm. Adicionalmente para evitar la formación de algas, se debe agregar 10 g de sulfato de cobre al tanque en cada cambio de agua, y como el objetivo es evitar las partículas suspendidas, se debe emplear agua potable para el llenado del tanque.

Se debe anotar en una libreta la hora en la que se efectúa la medida y el valor en mm que se lea del tanque.

Además los valores de la ETo deben estar multiplicados por el coeficiente del tanque evaporímetro cuyo valor es 0.8, es necesario hacer esta corrección para determinar la lámina que se debe regar a cada una de las parcelas.

Actividades Semanales:

ACTIVIDAD 1: Riego en las parcelas con riego subterráneo.

El riego está en función de la ETo, y por lo tanto de la estación, en la estación de invierno la evapotranspiración diaria es menor, lo que permite acumular láminas hasta una semana. Recordar que el valor de la lectura de la ETo obtenida del tanque, está afectada por el factor del tanque (0.8), por lo que para el cálculo de las láminas de riego se debe considerar la diferencia entre las lecturas del día actual y del último día de riego, siendo que cada lectura diaria esta multiplicada por el factor del tanque y por la fracción del día transcurrido entre una medida y la otra.

La lámina que se deba reponer debe reducirse multiplicando por los coeficientes de riego de 0.8, 0.6, 0.4 y 1. Esta última corresponde al tratamiento de factor de riego 1, al cual se le repone todo lo que evapora a diferencia de los otros en los que se reduce un 20, 40 y 60 por ciento. Mediante la velocidad de aplicación se calcula el tiempo de riego.

Los tiempos de riego para cada tratamiento van disminuyendo según la lámina, es por ello que el riego se efectúa inicialmente abriendo las doce válvulas (de cada parcela) y conforme se van cumpliendo los tiempos de cada uno de los tratamientos se van cerrando dichas válvulas.

Tomar en cuenta que al inicio del riego se deben abrir las doce válvulas y tomar nota de los valores que marcan cada uno de los caudalímetros, siendo que existen seis caudalímetros distribuidos entre las doce parcelas, además del caudalímetro que se encuentra en el cabezal de riego. Los valores que se obtengan sirven de control de las láminas que se están aplicando a cada parcela.

El sistema de riego se activa presionando el botón verde del tablero eléctrico y, con el botón rojo se apaga el sistema.

Segundos antes de presionar el botón verde de encendido, abrir la válvula de bola del cabezal para abrir el paso del agua presurizada a la línea de las tuberías.

Durante el riego se debe tomar nota de las presiones en cada una de las parcelas. La presión en la que se ha trabajado durante todo el proyecto será entre 14 y 15 m. Se debe regular dicha presión al inicio del riego desde el cabezal, desde donde se tiene 1m de pérdida de presión. Evitar trabajar a presiones altas (20 m) puesto que ello genera que colapsen las líneas de purga. El manómetro a nivel del cabezal debe marca 15m para asegurar una adecuada presión al sistema de riego. Además, conforme se van cerrando las válvulas se debe adecuar las presiones pues que aumentan. Controlar las presiones tanto a nivel del cabezal como a nivel de las parcelas.

Al final del tiempo de riego del tratamiento de coeficiente de riego 1 se apaga de frente el sistema y posteriormente se cierra cada válvula.

Después de que todas las válvulas se encuentren cerradas, se procede a anotar los valores de todos los caudalímetros (incluido el del cabezal).

ACTIVIDAD 2: Descarga de datos de los sensores de humedad FDR

Existen cuatro sensores ubicado en las parcelas de códigos: T3-M1, T4-M3, T2-M2 y T1-M3, dichos sensores están conectados a un registrador donde se almacenan los datos cada media hora. La descarga de los datos puede efectuarse dos o tres veces por semana. Para ello se debe disponer de una Laptop o de una Tablet y que dicho dispositivo tenga instalado el software DATATRAC 3. El registrador o Data Logger se encuentra bajo el nivel del suelo dentro de una caja de seguridad la misma que está protegida por una caja de registro. Para acceder al Data Logger solo se debe abrir la tapa de la caja de registro con una llave cualquiera y abrir la caja de seguridad con la llave proporcionada por el fabricante. En el interior se observará un cable con puerto USB el cual se debe conectar a la Tablet o Laptop. En el ordenador se abre el programa Datatrac 3 y se selecciona el tipo de puerto USB en la parte superior CONECTARSE VIA en este caso, se debe elegir de la pestaña la opción COM3 Decagon UCA y luego se da un clic en el icono CONECTAR. Cuando el Data Logger esté conectado correctamente a la computadora se podrá apreciar el estado de la batería y el icono DESCONECTAR activado. Posteriormente se da un clic en el icono DESCARGAR y se obtendrá toda la información almacenada en el registrador. En la interfaz del programa se puede modificar las fechas desde las cuales se tiene registro. En este caso se tiene registro desde el 10 de marzo del 2016, por lo que será la fecha de inicio, la fecha en la que se está haciendo la descarga también se deberá ingresar para obtener la gráfica real del estado de

humedad del suelo. Después de la descarga de datos se da un clic en la opción DESCONECTAR y se desconecta el cable USB del puerto de la Laptop o Tablet. Los datos se guardan en la Computadora donde se han descargado los datos y pueden ser analizados posteriormente en gabinete.

Guardar cuidadosamente el cable USB dentro de la caja de seguridad y cerrar con llave la misma. Luego cerrar la tapa metálica de la caja de registro, puesto que el objetivo es mantener el sistema lo menos visible que se pueda.

ACTIVIDAD 3: Descarga de datos de la estación meteorológica

Dicha actividad consiste en acercarse a la Laboratorio de Recursos Hídricos de la Facultad de Ingeniería Agrícola, donde se encuentra instalada una estación meteorológica automática Davis vantage pro 2. La descarga de datos requiere de una Laptop o Tablet a la cual se conecta a uno de los puertos USB el cable de la consola de la estación. Además, se debe tener instalado el programa Weather Link en el ordenador o Tablet para acceder a los datos registrados.

En la interfaz del software (y con el cable USB conectado al ordenador) se selecciona la opción OPEN STATION, después de lo cual aparece una ventana de donde se selecciona la carpeta donde se guardarán los datos descargados.

Luego, se da un clic en el icono de DOWNLOAD THE WEATHER STATION y aparece el porcentaje de uso de la memoria de la consola y se da un clic en ACEPTAR.

Los datos descargados se exportan en formato de texto ingresando menú BROWSE y entre las opciones se elige EXPORT RECORDS.

Con respecto de la memoria, no permitir que el porcentaje de almacenamiento supere el 60% debido a que ello podría generar superposición de días y por lo tanto la pérdida de datos.

También es necesario mencionar que las pilas de la consola se deben cambiar cada 4 meses, por recomendaciones del fabricante es necesario realizar el mantenimiento de la estación al menos una vez por año (más información revisar manual de la estación meteorológica).

Actividades quincenales y mensuales:

ACTIVIDAD 1: Poda de césped

El corte de césped se realiza cada quince días y para ello es necesario acercarse al Centro de Ventas de la UNALM y solicitar el préstamo de la podadora manual, bajo la condición de que la devolución se hará al día siguiente o a los dos días. Asegurarse además de que la podadora se encuentre en buen estado al momento de la devolución, es decir que esté limpia y con todos sus elementos.

El primer paso consiste en la toma de muestras, para ello se toma como distancia de poda de referencia un palo de madera de 2.1 m, el cual servirá como guía para saber desde donde hasta donde se debe podar. Se realizarán dos pasadas con la podadora una de ida y otra de regreso, luego de cada una se debe almacenar el material recolectado en la malla negra de la cortadora de césped, en sobres de papel. Cada sobre debe tener rotulado el código de la parcela a la que pertenece la muestra, la fecha de la poda, la hora de la recolección de muestras, los pesos húmedos y los pesos secos. Se debe recolectar las muestras de cada una de las doce unidades experimentales, y rotuladas llevarlas al Laboratorio de Riego y Drenaje para el pesaje de cada una en la balanza. Anotar los pesos húmedos de las muestras en los sobre y en una libreta (incluir los códigos, fecha, hora de poda y pesaje). Luego de ello colocar cuidadosamente las muestras en el horno a 105°C por un día. Verificar que el horno se encuentre a dicha temperatura puesto que a veces hay errores en el manejo y se cambia el valor a altas temperaturas lo cual perjudica a las muestras.

Al día siguiente retirar las muestras del horno y pesarlas en la balanza, anotando a la vez en la libreta los pesos secos obtenidos. Después de ello tomar fotos de las muestras en conjunto de tal forma que se pueda apreciar los pesos de cada una, ello servirá de referencia y/o comprobación si es que existe alguna duda o error de digitación.

Después de obtenidas las muestras se procede con la poda total de cada una de las parcelas.

Para finalizar dicha esta actividad se debe tomar fotos de cada una de las parcelas, una foto para cada hilera tanto de la derecha como de la izquierda, y una foto general donde se trate de enfocar las doce parcelas.

ACTIVIDAD 2: Purga del sistema de riego subterráneo (cada mes)

Al utilizarse este sistema de riego los goteros están en constante contacto con el suelo y existen mayores probabilidades de una obstrucción del gotero. Por tanto es necesario la purga cada mes, para tener la seguridad de que los goteros están funcionando de manera adecuada y a su vez conocer cómo se están comportando las mangueras en el interior del suelo. Para esta actividad se cuentan con llaves de purga (color celeste, ubicadas en la superficie) las cuales se abrirán cada dos parcelas y se emplea la potencia de la bomba para que se limpie el interior de las mangueras. Cabe resaltar que se recomienda llevar un control de las válvulas volumétricas, tomar su medida antes y después de la purga para saber cuánta agua se está utilizando para la purga. El tiempo de la purga es variable por cada dos parcelas, pero en promedio se puede considerar un minuto. Adicionalmente se debe controlar los niveles de carbonatos y de materia orgánica puesto que ello puede generar obstrucción en los goteros. Ante tal situación se debe aplicar 0.1 L de hipoclorito por m³ de agua. Sin embargo, la cantidad de ácido a aplicar dependerá de la calidad del agua.

CADA MES: INVIERNO

CADA 15 DIAS: VERANO

Operaciones y manejo del sistema hidráulico

Operación de la bomba: El sistema hidráulico cuenta con una electrobomba Pedrollo de 0.85 HP (25 m. de presión) para el funcionamiento del riego presurizado. Para poder accionar la bomba se tiene instalado un tablero eléctrico monofásico arranque directo. Dicho tablero eléctrico cuenta con una llave de cuchillas, ubicada en el interior del tablero para permitir el paso de la energía eléctrica de la fuente al tablero, es importante considerar ello porque de ser necesario se puede bajar la llave en caso el sistema no se utilice en 4 o 5 días por razones de seguridad.

El encendido de la bomba es manera manual, solo es necesario presionar el botón verde y para apagarla presionar el botón rojo. Dichos botones o comandos están en la tapa del tablero.

Manejo de la válvula de alivio: Esta válvula no se consideró en el planteamiento del proyecto, porque tanto el sistema de riego como el área experimental son de dimensiones poco significativas comparadas al común de los proyectos de riego. De no considerarse este

sistema de alivio se presentaran fallas en las mangueras ciegas de drenaje en el sistema de riego subterráneo. Por tanto para graduar las distintas presiones necesarias para las dos investigaciones que se llevan a cabo, es necesario graduar la válvula de globo instalada en este sistema de alivio, ayudándonos de manómetros para la regulación de la presión del sistema hidráulico.

Para las dos investigaciones se recomienda mantener una presión en campo de 1.5 bar o 15 mca.

Fuentes de agua: En todo sistema de riego es de vital importancia para su funcionamiento una fuente de agua. En particular para el riego presurizado es necesario tener un reservorio o una fuente de agua continua. Para ello en esta investigación se utiliza un tanque de agua de 1100 L. El llenado del mismo se realiza comúnmente de una válvula de acople rápido ubicado en la esquina de la berma que esta próxima a la entrada de vehículos del pool de máquinas. Para ello se cuenta con una manguera con todo sus accesorios necesarios para la extracción del agua de la válvula de acople rápido perteneciente al sistema de riego de jardines del campus de la UNALM.

De ser el caso que no esté habilitada la válvula de acople rápido o no halla agua, se pedirá la ayuda del técnico Alan Santibáñez para que brinde el agua necesaria del reservorio ubicada atrás del Laboratorio Marino Tabusso.

Como última opción también se cuenta con una fuente de agua ubicada a la espalda de la facultad de Ingeniería Agrícola, considerar que esta fuente de agua es la última alternativa para utilizar porque la composición del agua que provee es distinta a los otras fuentes mencionadas, y ello puede provocar una alteración en la investigación de utilizar continuamente esta fuente de agua.

Recomendaciones

Los siguientes elementos son los que se desgastan con mayor rapidez por lo que se sugiere contar siempre con repuestos para asegurar el continuo monitoreo y buen funcionamiento del sistema.

- Manómetros.

- Tomas de presión (10).
- Cambio de pintura del tanque evaporímetro Clase A.
- Pilas de la consola de la estación meteorológica.

**ANEXO 10 FOTOGRAFÍAS TOMADAS DURANTE EL PERIODO DE LA
INVESTIGACIÓN**



Figura 71: Preparación del terreno con maquinaria pesada

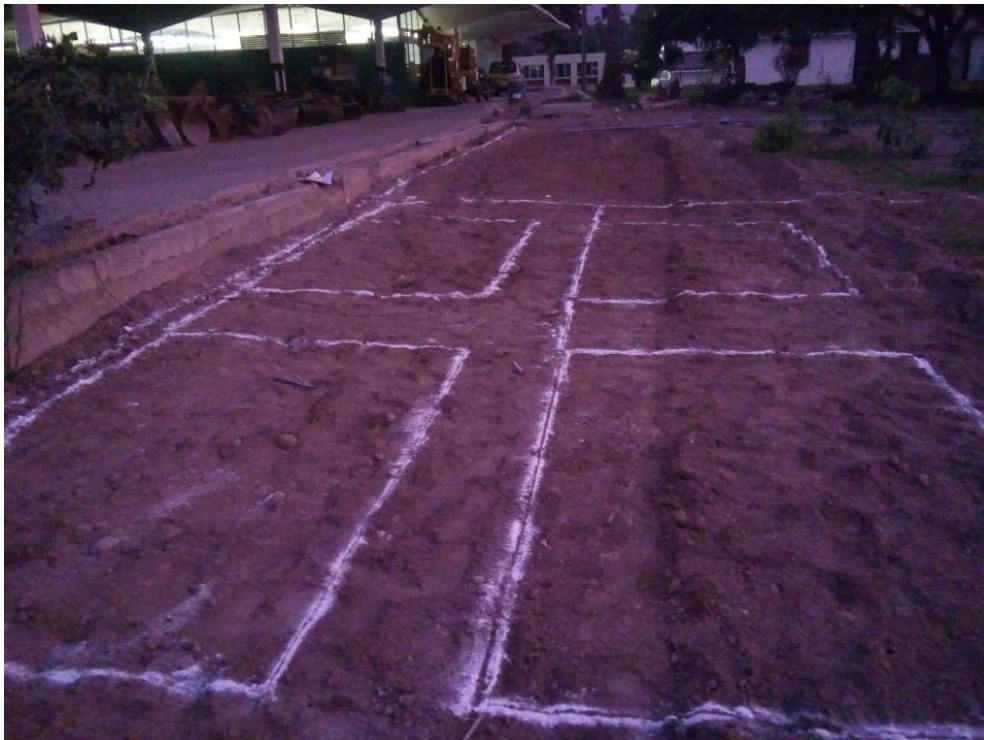


Figura 72: Delimitación de las parcelas experimentales con cal



Figura 73: Excavación de zanjas e instalación de tubería principal



Figura 74: Excavación de zanjas para las mangueras subterráneas



Figura 75: Excavación de zanjas por parcelas para las mangueras subterráneas



Figura 76: Mangueras Rain bird para riego por goteo subterráneo

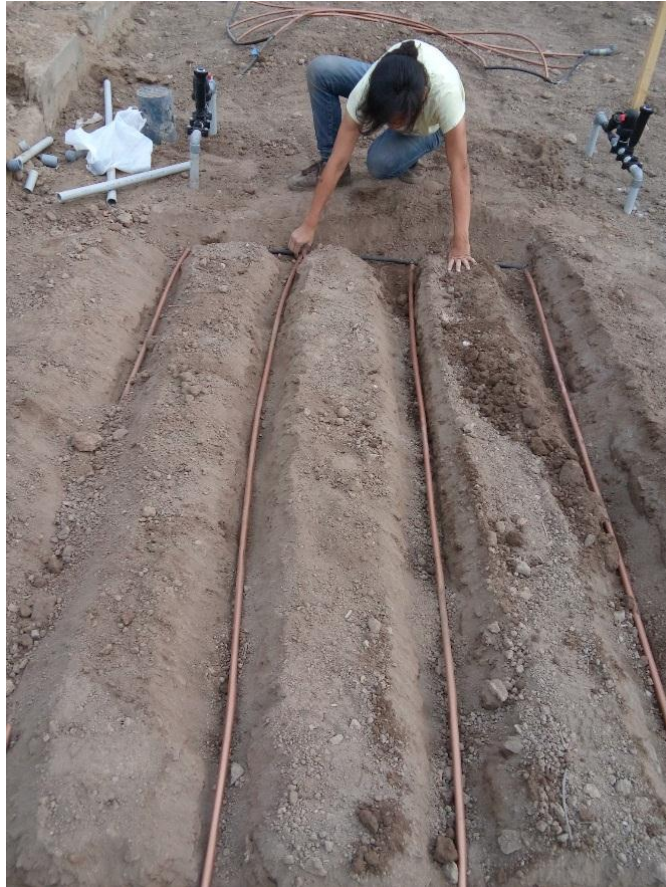


Figura 77: Instalación de mangueras subterráneas



Figura 78: Mangueras de riego por goteo subterráneo instaladas



Figura 79: Arcos de riego cascos de protección de válvulas volumétricas



Figura 80: Construcción de la losa para el tanque y de la caseta de riego



Figura 81: Colocación del tanque Eternit de 1100 L



Figura 82: Instalación eléctrica



Figura 83: Tablero de control eléctrico



Figura 84: Cabezal de riego



Figura 85: Canastilla de seguridad de la bomba, anclada a una losa



Figura 86: Sistema de alivio de presión



Figura 87: Esquejes de césped para la siembra



Figura 88: Siembra de césped por esquejes



Figura 89: Parcelas después de la siembra por esquejes



Figura 90: Instalación del apoyo del tanque evaporímetro Clase A



Figura 91: Llenado del tanque evaporímetro Clase A



Figura 92: Nivelación del pozo de estabilización



Figura 93: Calibración del tornillo micrométrico



Figura 94: Instalación de malla de protección



Figura 95: Instalación de caja de seguridad del Data logger



Figura 96: Interior del Data logger



Figura 97: Caja de registro sobre la caja de seguridad del Data logger



Figura 98: Instalación de los sensores de humedad



Figura 99: Zanjas para los cables de los sensores



Figura 100: Armado de la estación meteorológica Davis



Figura 101: Poste soldado de soporte para la estación



Figura 102: Ajustes finales de la estación



Figura 103: Estación meteorológica Davis instalada



Figura 104: Rotulado de las parcelas



Figura 105: Cobertura total del césped 56 días después de la siembra



Figura 106: Primera poda del césped



Figura 107: Estado del césped después de la primera poda



Figura 108: Profundidad de instalación de las mangueras subterráneas



Figura 109: Piedras encontradas en las parcelas



Figura 110: Muestras de césped tomadas después de la poda



Figura 111: Muestra de césped deshidratado



Figura 112: Control de malezas



Figura 113: Descarga de datos de contenido de humedad



Figura 114: Control de válvulas volumétricas



Figura 115: Válvulas volumétricas



Figura 116: Toma de muestras de agua



Figura 117: Limpieza de filtros



Figura 118: Agua del purgado de las mangueras subterráneas



Figura 119: Vista general de las parcelas después de la primera poda



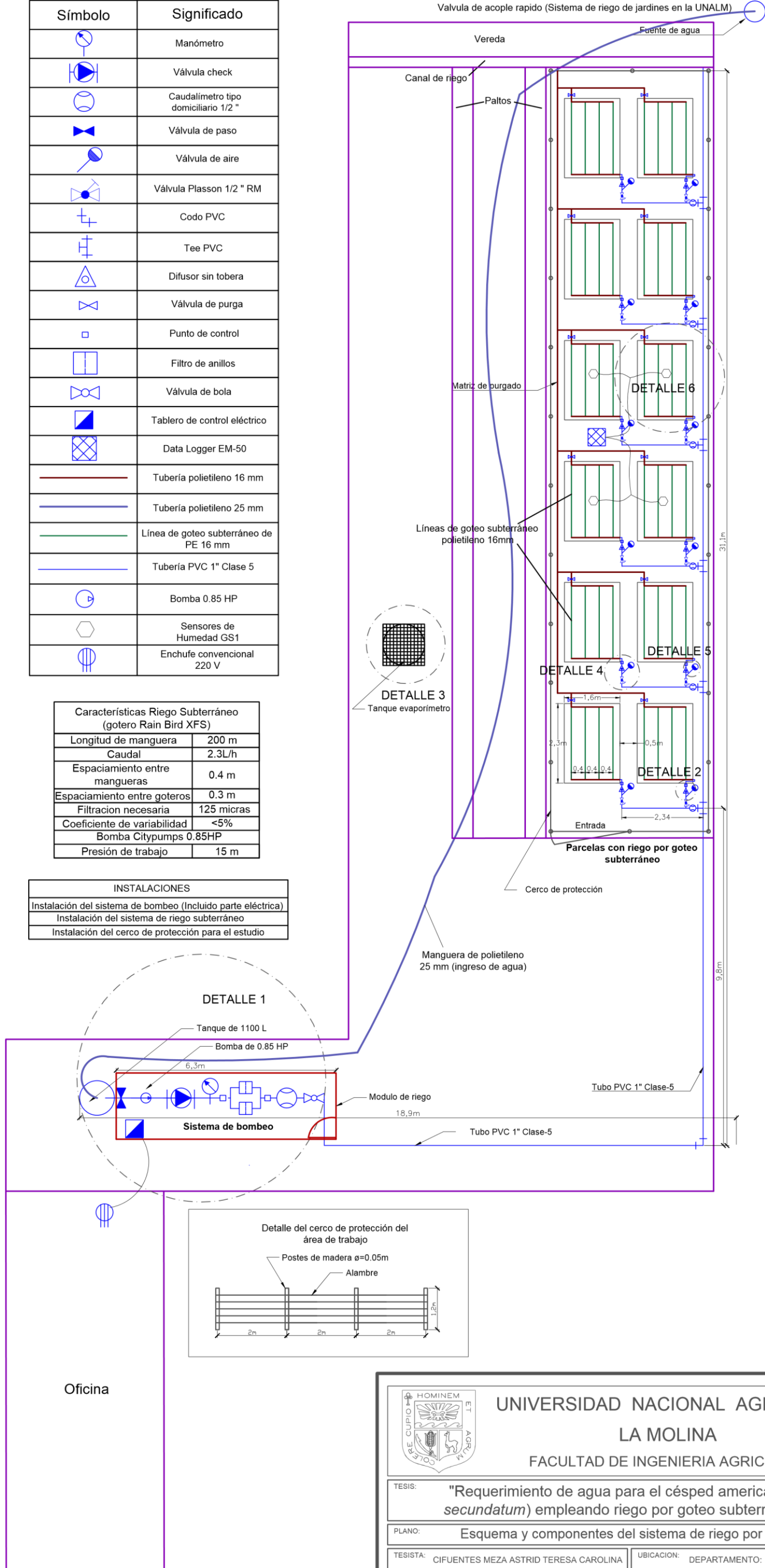
Figura 120: Vista general de las parcelas después de la sexta poda

Leyenda

Símbolo	Significado
	Manómetro
	Válvula check
	Caudalímetro tipo domiciliario 1/2"
	Válvula de paso
	Válvula de aire
	Válvula Plasson 1/2" RM
	Codo PVC
	Tee PVC
	Difusor sin tobera
	Válvula de purga
	Punto de control
	Filtro de anillos
	Válvula de bola
	Tablero de control eléctrico
	Data Logger EM-50
	Tubería polietileno 16 mm
	Tubería polietileno 25 mm
	Línea de goteo subterráneo de PE 16 mm
	Tubería PVC 1" Clase 5
	Bomba 0.85 HP
	Sensores de Humedad GS1
	Enchufe convencional 220 V

Características Riego Subterráneo (gotero Rain Bird XFS)	
Longitud de manguera	200 m
Caudal	2.3L/h
Espaciamiento entre mangueras	0.4 m
Espaciamiento entre goteros	0.3 m
Filtración necesaria	125 micras
Coefficiente de variabilidad	<5%
Bomba Citypumps 0.85HP	
Presión de trabajo	15 m

INSTALACIONES	
Instalación del sistema de bombeo (Incluido parte eléctrica)	
Instalación del sistema de riego subterráneo	
Instalación del cerco de protección para el estudio	

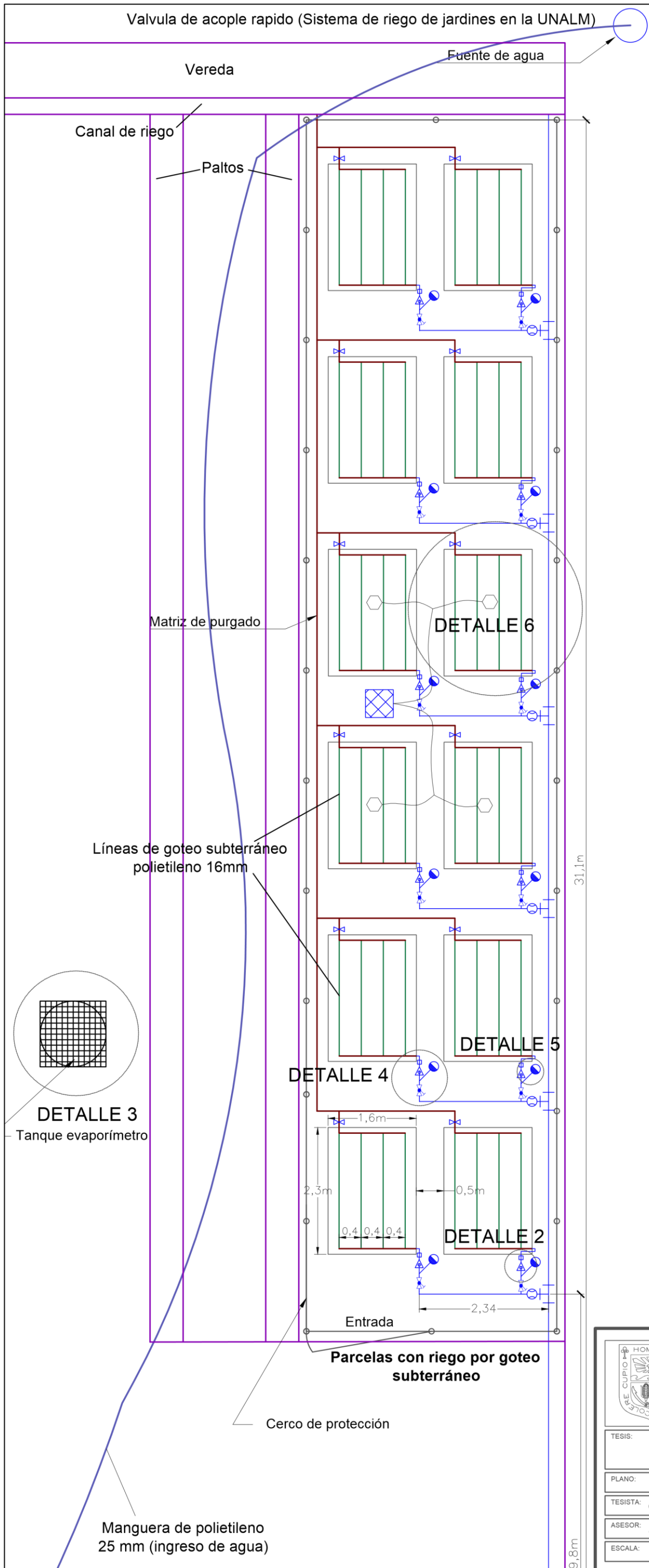




**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA

TESIS: "Requerimiento de agua para el césped americano (<i>Stenotaphrum secundatum</i>) empleando riego por goteo subterráneo en la UNALM"	
PLANO: Esquema y componentes del sistema de riego por goteo subterráneo	
TESISISTA: CIFUENTES MEZA ASTRID TERESA CAROLINA	UBICACION: DEPARTAMENTO: LIMA
ASESOR: ASCENCIOS TEMPO DAVID	PROVINCIA : LIMA
ESCALA: 1:125	DISTRITO : LA MOLINA
FECHA: 17 / 09 / 2016	N° 01




Leyenda

Símbolo	Significado
	Manómetro
	Válvula check
	Caudalímetro tipo domiciliario 1/2 "
	Válvula de paso
	Válvula de aire
	Válvula Plasson 1/2 " RM
	Codo PVC
	Tee PVC
	Difusor sin tobera
	Válvula de purga
	Punto de control
	Filtro de anillos
	Válvula de bola
	Tablero de control eléctrico
	Data Logger EM-50
	Tubería polietileno 16 mm
	Tubería polietileno 25 mm
	Línea de goteo subterráneo de PE 16 mm
	Tubería PVC 1" Clase 5
	Bomba 0.85 HP
	Sensores de Humedad GS1
	Enchufe convencional 220 V

Características Riego Subterráneo (gotero Rain Bird XFS)	
Longitud de manguera	200m
Caudal	2.3L/h
Espaciamiento entre mangueras	0.4m
Espaciamiento entre goteros	0.3m
Filtración necesaria	125 micras
Coefficiente de variabilidad	<5%
Bomba Citypumps 0.85HP	
Presión de trabajo	15 m

INSTALACIONES	
Instalación del sistema de bombeo (Incluida parte eléctrica)	
Instalación del sistema de riego subterráneo	
Instalación del cerco de protección para el área de estudio	



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA



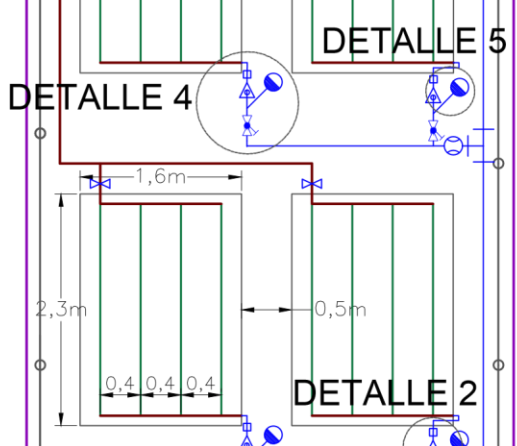
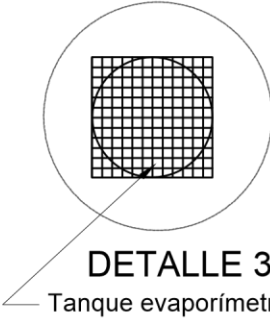
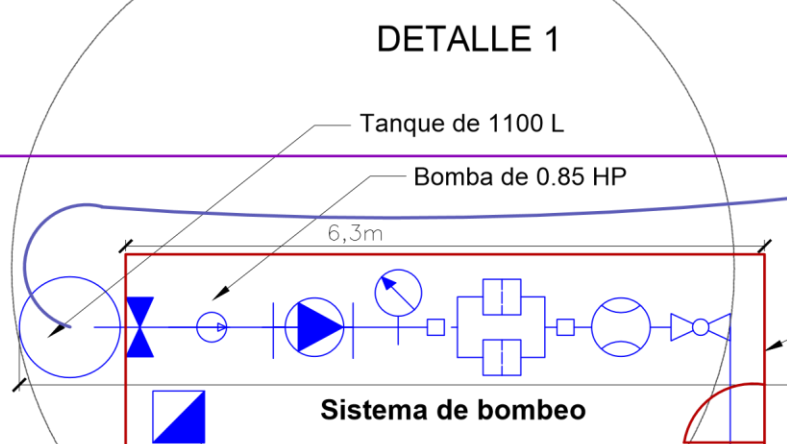
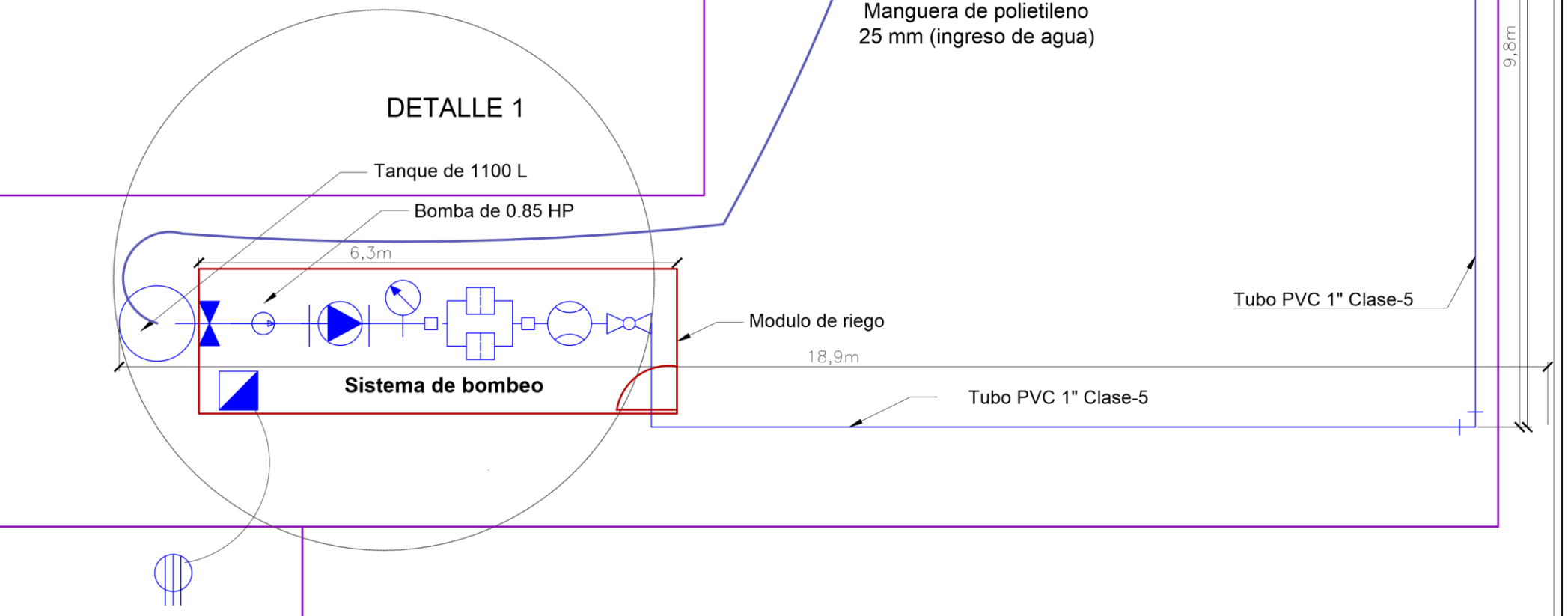
TESIS: "Requerimiento de agua para el césped americano (<i>Stenotaphrum secundatum</i>) empleando riego por goteo subterráneo en la UNALM"	
PLANO: Esquema y componentes del sistema de riego por goteo subterráneo	
TESISTA: CIFUENTES MEZA ASTRID TERESA CAROLINA	UBICACION: DEPARTAMENTO: LIMA
ASESOR: ASCENCIOS TEMPO DAVID	PROVINCIA : LIMA
ESCALA: 1:75	FECHA: 17 / 09 / 2016
	DISTRITO : LA MOLINA

LAMINA: N° 02

	Tablero de control eléctrico
	Data Logger EM-50
	Tubería polietileno 16 mm
	Tubería polietileno 25 mm
	Línea de goteo subterráneo de PE 16 mm
	Tubería PVC 1" Clase 5
	Bomba 0.85 HP
	Sensores de Humedad GS1
	Enchufe convencional 220 V

Características Riego Subterráneo (gotero Rain Bird XFS)	
Longitud de manguera	200 m
Caudal	2.3L/h
Espaciamento entre mangueras	0.4 m
Espaciamento entre goteros	0.3 m
Filtración necesaria	125 micras
Coefficiente de variabilidad	<5%
Bomba Citypumps 0.85HP	
Presión de trabajo	15 m

INSTALACIONES
Instalación del sistema de bombeo (Incluido parte eléctrica)
Instalación del sistema de riego subterráneo
Instalación del cerco de protección para el estudio





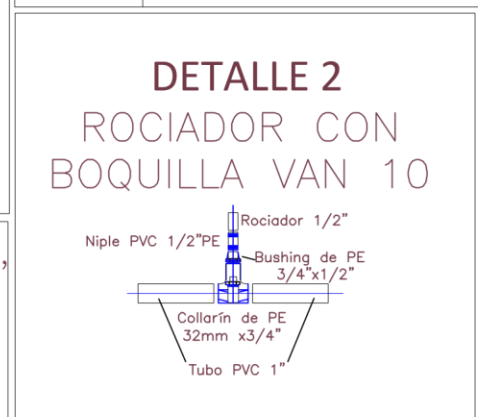
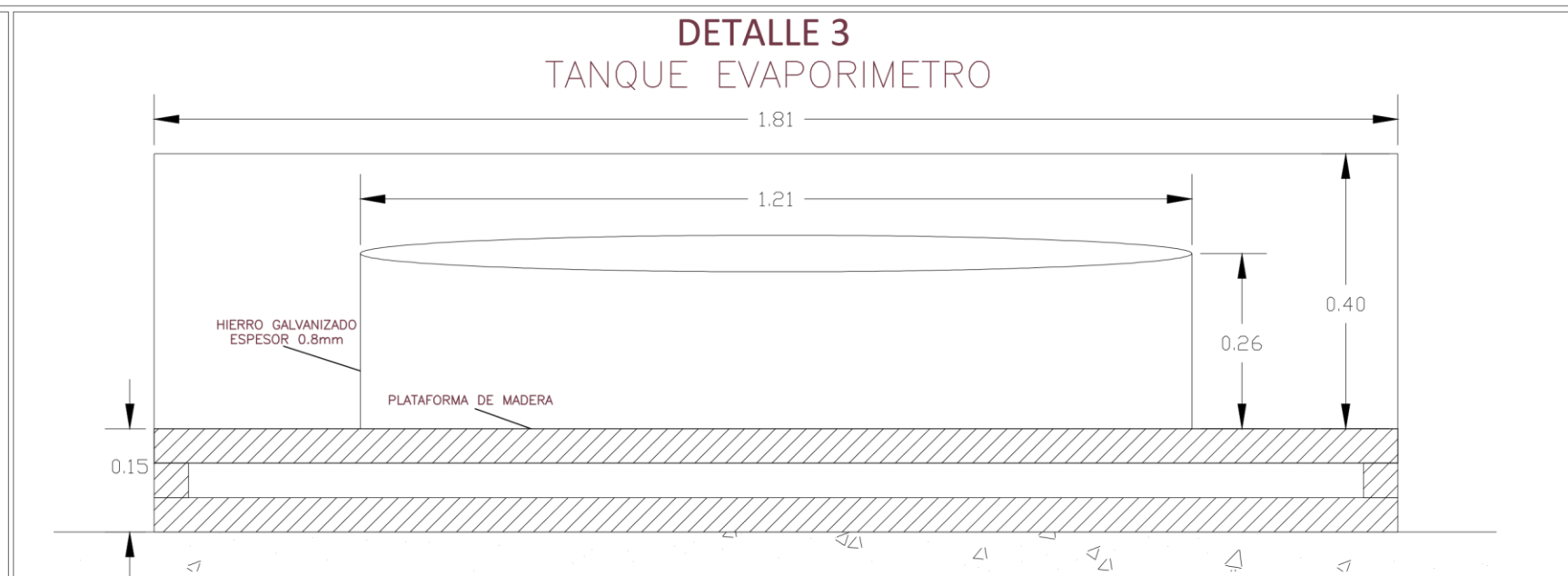
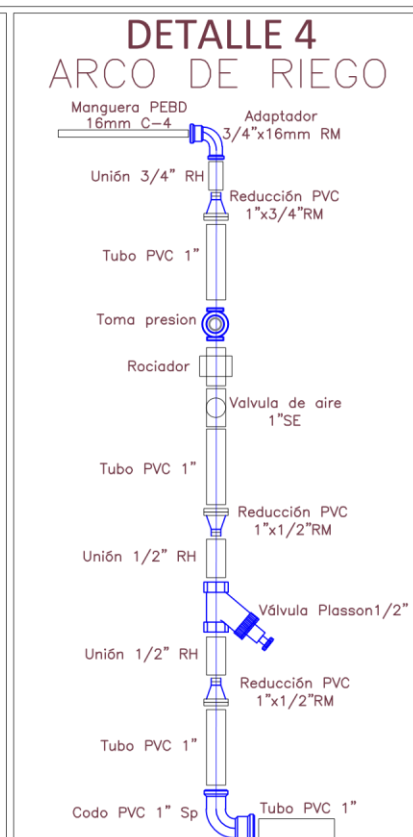
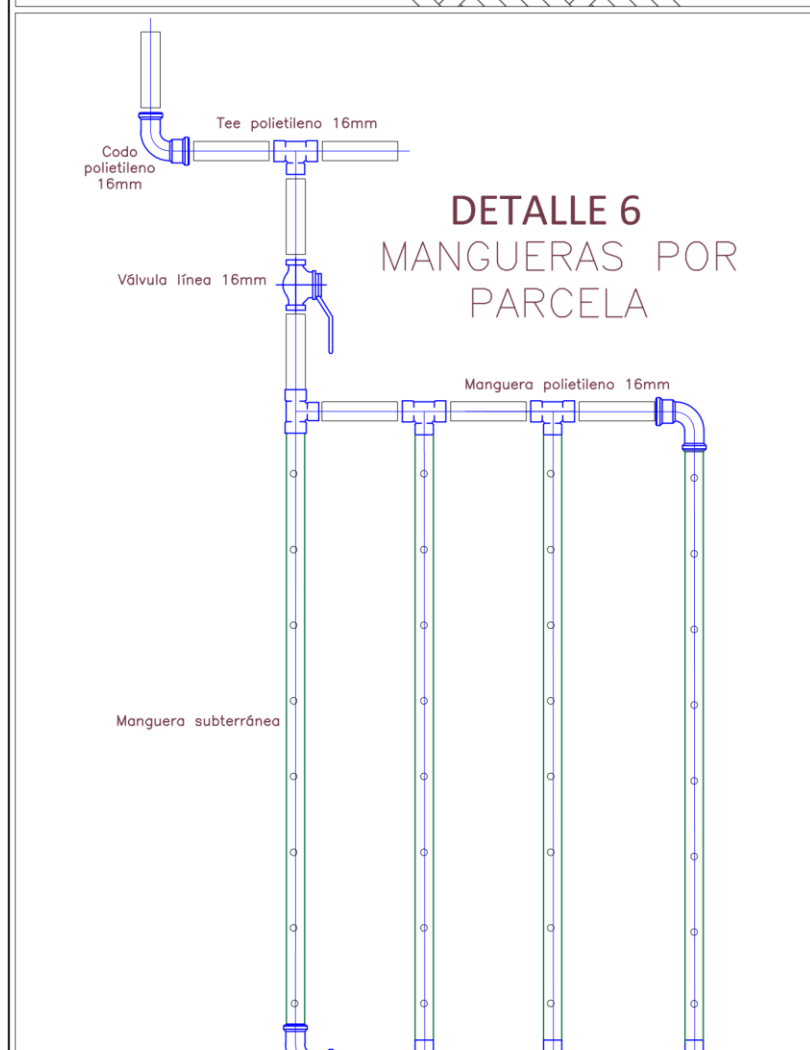
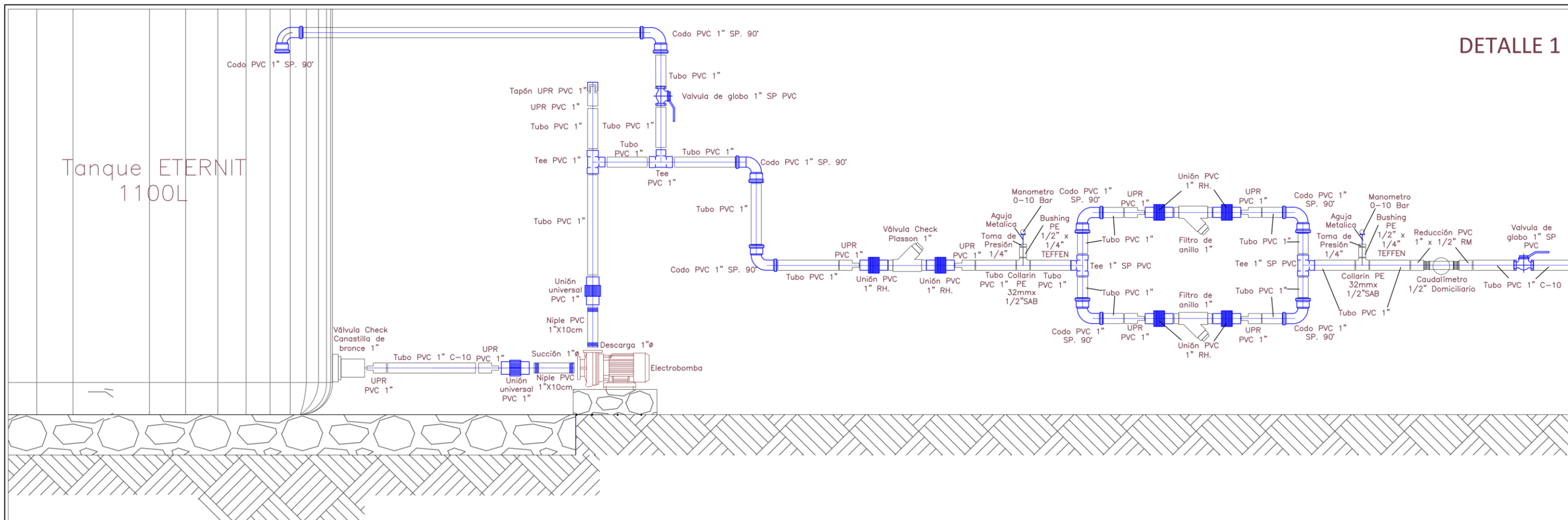
**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**
FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA


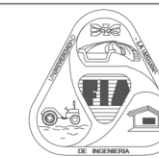


TESIS: "Requerimiento de agua para el césped americano (<i>Stenotaphrum secundatum</i>) empleando riego por goteo subterráneo en la UNALM"	
PLANO: Esquema y componentes del sistema de riego por goteo subterráneo	
TESISTA: CIFUENTES MEZA ASTRID TERESA CAROLINA	UBICACION: DEPARTAMENTO: LIMA
ASESOR: ASCENCIOS TEMPO DAVID	PROVINCIA : LIMA
ESCALA: 1:75	FECHA: 17 / 09 / 2016
	DISTRITO : LA MOLINA

N° 03

DETALLE 1



 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA		
TESIS: "Requerimiento de agua para el césped americano (<i>Stenotaphrum secundatum</i>) empleando riego por goteo subterráneo en la UNALM"		
PLANO: Detalles del sistema de riego por goteo subterráneo		
TESISTA: CIFUENTES MEZA ASTRID TERESA CAROLINA	UBICACION: DEPARTAMENTO: LIMA	
ASESOR: ASCENCIO TEMPO DAVID	PROVINCIA : LIMA	
FECHA:	FECHA:	LAMINA: N° 04