

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA



**“FACTORES DE RIEGO EN TRES ESPECIES DE CÉSPED EN LAS
ÁREAS VERDES DE LA UNALM”**

Presentado por:

MIGUEL ANGEL JÁUREGUI VERA

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:
INGENIERO AGRÍCOLA**

Lima - Perú
2017

DEDICATORIA

*Dedico esta tesis a mis padres por educarme y brindarme todo su apoyo de forma
ininterrumpida y desinteresada.*

A mi hermana por sus conocimientos compartidos y el apoyo emocional.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer en primer lugar a Dios por darme salud y las ganas de seguir siempre adelante.

A mis padres y hermana por ayudarme en todos los aspectos de la vida.

A mi asesor de Tesis, el Ing. David Ascencios por sus enseñanzas en clase y por darme parte de su tiempo valioso para la realización de esta importante investigación.

A los Ingenieros José Palacios, Rocío Pastor y Lía Ramos por sus aportes científicos y por ser un ejemplo a seguir.

A mis estimados practicantes de la facultad de Agrícola que me ayudaron en el trabajo duro de esta tesis.

A los Ingenieros Karem Meza y Jeisson Lluen por brindarme el espacio y los recursos materiales para la realización de esta investigación.

Al técnico de la facultad de Agrícola Alan Santibañez y a los técnicos de la URT que también fueron parte importante de este arduo trabajo.

Finalmente a la UNALM por formarme académicamente y ser parte de mi vida.

INDICE

| | | |
|-------|--|----|
| I. | INTRODUCCIÓN | 3 |
| 1.1 | OBJETIVO PRINCIPAL | 4 |
| 1.2 | OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 4 |
| II. | REVISIÓN DE LITERATURA | 5 |
| 2.1 | CÉSPED | 5 |
| 2.1.1 | Césped americano (<i>Stenotaphrum secundatum</i>)..... | 5 |
| 2.1.2 | Césped paspalum (<i>Paspalum vaginatum</i>)..... | 6 |
| 2.1.3 | Césped bermuda (<i>Cynodon dactylon</i>) | 7 |
| 2.2 | EVAPOTRANSPIRACIÓN..... | 8 |
| 2.3 | RIEGO..... | 9 |
| 2.4 | HUMEDAD DEL SUELO | 10 |
| 2.4.1 | Capacidad de campo..... | 10 |
| 2.4.2 | Punto de marchitez | 10 |
| 2.5 | MEDICIÓN DE HUMEDAD DEL SUELO..... | 11 |
| 2.5.1 | Método gravimétrico | 11 |
| 2.5.2 | Reflectometría en el dominio del tiempo (TDR)..... | 12 |
| 2.6 | SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN | 14 |
| 2.6.1 | Ventajas | 14 |
| 2.6.2 | Desventajas..... | 14 |
| 2.7 | COMPONENTES DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN..... | 15 |
| 2.7.1 | Fuente de abastecimiento | 15 |
| 2.7.2 | Cabezal de control | 15 |
| 2.7.3 | Tubos y accesorios | 16 |
| 2.7.4 | Los aspersores | 17 |
| 2.8 | EVALUACIÓN DEL CÉSPED | 18 |
| 2.8.1 | Evaluación cualitativa..... | 19 |
| 2.8.2 | Evaluación cuantitativa..... | 20 |
| 2.9 | DISEÑO COMPLETAMENTE ALEATORIO CON EFECTOS FIJOS | 22 |

| | | |
|-------|--|----|
| III. | MATERIALES Y MÉTODOS | 23 |
| 3.1 | UBICACIÓN DEL ÁREA EXPERIMENTAL..... | 23 |
| 3.2 | CARACTERÍSTICAS METEOROLÓGICAS | 24 |
| 3.3 | CARACTERÍSTICAS DEL AGUA | 25 |
| 3.4 | CARACTERÍSTICAS DEL SUELO | 25 |
| 3.5 | EQUIPOS Y MATERIALES | 26 |
| 3.6 | METODOLOGÍA EXPERIMENTAL..... | 27 |
| 3.6.1 | Diseño estadístico..... | 27 |
| 3.6.2 | Análisis estadístico | 30 |
| 3.6.3 | Procedimiento en la investigación..... | 30 |
| 3.7 | DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN | 34 |
| 3.8 | INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN | 34 |
| 3.8.1 | Movimiento de tierras..... | 35 |
| 3.8.2 | Delimitación de la zona de trabajo | 35 |
| 3.8.3 | Excavación de zanjas e instalación de tuberías | 35 |
| 3.8.4 | Instalación de arcos de riego y difusores..... | 36 |
| 3.8.5 | Instalación del cabezal de riego..... | 36 |
| 3.9 | SIEMBRA DEL CÉSPED..... | 36 |
| 3.10 | RIEGO..... | 37 |
| 3.11 | CONTROL DE MALAS HIERBAS..... | 37 |
| 3.12 | PODA | 38 |
| 3.13 | CONTROL DE LA UNIFORMIDAD DEL RIEGO | 38 |
| IV. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 39 |
| 4.1 | ANÁLISIS DE AGUA | 39 |
| 4.2 | ANÁLISIS DE SUELO..... | 39 |
| 4.2.1 | Características físico-químicas | 39 |
| 4.2.2 | Capacidad de campo y punto de marchitez | 40 |
| 4.3 | CLIMA | 42 |
| 4.4 | EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA (ETO) | 43 |
| 4.5 | DISEÑO E INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO..... | 45 |
| 4.6 | LÁMINAS DE RIEGO | 49 |
| 4.7 | HUMEDAD DEL SUELO | 50 |
| 4.8 | PESO FRESCO DE HOJAS | 54 |
| 4.9 | PESO SECO DE HOJAS | 58 |

| | | |
|-------|---|----|
| 4.10 | HUMEDAD DE HOJAS | 59 |
| 4.11 | ALTURA DE HOJAS | 61 |
| 4.12 | PESO SECO DE RAÍCES..... | 64 |
| 4.13 | PROFUNDIDAD DE RAÍCES | 65 |
| 4.14 | EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA (EUA) | 66 |
| 4.15 | ANÁLISIS CUALITATIVO DEL CÉSPED | 67 |
| a. | Color | 67 |
| b. | Cobertura | 72 |
| c. | Uniformidad..... | 77 |
| V. | CONCLUSIONES | 79 |
| VI. | RECOMENDACIONES..... | 81 |
| VII. | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 82 |
| VIII. | ANEXOS..... | 85 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 01: Registro meteorológico de La Molina 2000-2010 | 24 |
| Tabla 02: Evaluación del color | 33 |
| Tabla 03: Evaluación de la cobertura | 33 |
| Tabla 04: Evaluación de la uniformidad | 34 |
| Tabla 05: Textura del suelo con muestras a una profundidad de 15 cm | 40 |
| Tabla 06: Determinación de la capacidad de campo | 41 |
| Tabla 07: Datos meteorológicos durante la investigación..... | 42 |
| Tabla 08: Cálculo del ADT en sectores S1, S2 y S3 (bloque I) | 46 |
| Tabla 09: Cálculo del ADT en sectores S4, S5 y S6 (bloque II)..... | 46 |
| Tabla 10: Elección de la electrobomba centrífuga | 46 |
| Tabla 11: Láminas acumuladas aplicadas de enero a abril..... | 50 |
| Tabla 12: Láminas acumuladas teóricas de enero a abril | 50 |
| Tabla 13: Pesos frescos de las siete podas en gramos | 55 |
| Tabla 14: Efecto de los tratamientos en el peso fresco de hojas | 57 |
| Tabla 15: Pesos secos de las siete podas en gramos..... | 58 |
| Tabla 16: Porcentajes de humedad de hojas | 59 |
| Tabla 17: Porcentajes de humedad de hojas por tratamiento | 60 |
| Tabla 18: Altura de hojas de las siete mediciones en centímetros | 61 |
| Tabla 19: Efecto de los tratamientos en la altura de hojas | 63 |
| Tabla 20: Pesos secos de raíces en gramos..... | 64 |
| Tabla 21: Profundidades de raíces en centímetros | 65 |
| Tabla 22: Eficiencia en el uso del agua para el césped | 66 |
| Tabla 23: Resultados de la evaluación del color | 68 |
| Tabla 24: Resultados de la evaluación de la cobertura..... | 73 |
| Tabla 25: Resultados de la evaluación de la uniformidad | 78 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 01: <i>Stenotaphrum secundatum</i> | 6 |
| Figura 02: <i>Paspalum vaginatum</i> | 7 |
| Figura 03: <i>Cynodon dactylon</i> | 8 |
| Figura 04: Cantidades relativas de agua disponible en varias texturas de suelo..... | 11 |
| Figura 05: (a) Medidor de humedad del suelo TDR 300 y (b) Sondas de medición de diferentes longitudes..... | 13 |
| Figura 06: Diferencias de color verde del césped..... | 19 |
| Figura 07: Ubicación geográfica de las parcelas experimentales..... | 23 |
| Figura 08: Nivelación del terreno con retroexcavadora..... | 25 |
| Figura 09: Distribución de parcelas experimentales..... | 29 |
| Figura 10: Extracción de suelo para análisis de raíces..... | 32 |
| Figura 11: Excavación de zanjas para tubería matriz..... | 35 |
| Figura 12: Parcelas sembradas con las tres especies de césped..... | 37 |
| Figura 13: Control de malas hierbas..... | 38 |
| Figura 14: Saturación de un metro cuadrado de suelo desnudo..... | 41 |
| Figura 15: Variación de la humedad volumétrica a través del tiempo..... | 41 |
| Figura 16: Variación temporal de la evapotranspiración de referencia..... | 44 |
| Figura 17: Instalación de difusores Rainbird serie 1800..... | 45 |
| Figura 18: Instalación de cabezal de riego..... | 45 |
| Figura 19: Distribución de tuberías en el campo experimental..... | 47 |
| Figura 20: Componentes del cabezal de riego..... | 48 |
| Figura 21: Riego de parcelas del tratamiento 1.0 ETo..... | 49 |
| Figura 22: Evaluación de la uniformidad de riego..... | 50 |
| Figura 23: Medición de humedad del suelo con el TDR 300..... | 51 |
| Figura 24: Curva de calibración del medidor de humedad del suelo TDR 300..... | 51 |
| Figura 25: Contenido de humedad del suelo en el césped T1 (americano)..... | 53 |
| Figura 26: Contenido de humedad del suelo en el césped T2 (<i>paspalum</i>)..... | 53 |
| Figura 27: Contenido de humedad del suelo en el césped T3 (bermuda)..... | 53 |

| | |
|---|----|
| Figura 28: Poda de parcelas experimentales | 54 |
| Figura 29: Tratamiento T1 - 1.0 ETo (americano)..... | 69 |
| Figura 30: Tratamiento T1 - 0.75 ETo (americano)..... | 69 |
| Figura 31: Tratamiento T1 - 0.5 ETo (americano)..... | 69 |
| Figura 32: Tratamiento T2 - 1.0 ETo (paspalum) | 70 |
| Figura 33: Tratamiento T2 - 0.75 ETo (paspalum) | 70 |
| Figura 34: Tratamiento T2 - 0.5 ETo (paspalum) | 70 |
| Figura 35: Tratamiento T3 - 1.0 ETo (bermuda) | 71 |
| Figura 36: Tratamiento T3 - 0.75 ETo (bermuda) | 71 |
| Figura 37: Tratamiento T3 - 0.5 ETo (bermuda) | 71 |
| Figura 38: Porcentajes de cobertura verde para (a) T1 – 1.0 ETo, (b) T1 – 0.75 ETo y (c) T1 – 0.5 ETo..... | 74 |
| Figura 39: Porcentajes de cobertura verde para (a) T2 – 1.0 ETo, (b) T2 – 0.75 ETo y (c) T2 – 0.5 ETo..... | 75 |
| Figura 40: Porcentajes de cobertura verde para (a) T3 – 1.0 ETo, (b) T3 – 0.75 ETo y (c) T3 – 0.5 ETo..... | 76 |

INDICE DE ANEXOS

| | | |
|---------|---|-----|
| ANEXO 1 | ANÁLISIS DEL SUELO | 85 |
| ANEXO 2 | ANÁLISIS DEL AGUA..... | 89 |
| ANEXO 3 | CALIBRACIÓN DEL TDR 300 | 91 |
| ANEXO 4 | ANÁLISIS ESTADÍSTICO | 93 |
| ANEXO 5 | DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO | 107 |
| ANEXO 6 | EVALUACIÓN DE LA UNIFORMIDAD DEL RIEGO..... | 112 |
| ANEXO 7 | MEDICIÓN DE VELOCIDAD DEL VIENTO | 117 |
| ANEXO 8 | REGISTRO FOTOGRÁFICO DURANTE LA INVESTIGACIÓN | 119 |

RESUMEN

En el estudio se determinó el factor de riego más adecuado para tres especies de césped: Grama de agua (*Paspalum vaginatum*), Bermuda (*Cynodon dactylon*) y Americano (*Stenotaphrum secundatum*), que permitirá presentar condiciones estéticamente aceptables. La investigación se realizó en los meses de enero a abril del 2017 en un área de 243 m² dentro de la Universidad Nacional Agraria La Molina. El diseño estadístico fue completamente al azar para cada especie de césped, donde se evaluaron tres factores de riego. Se obtuvieron en total 27 parcelas experimentales que se regaron con una frecuencia de 3 y 4 días, mediante la aplicación de tres láminas de riego acumuladas en función de la evapotranspiración de referencia (ET_o): 1.0 ET_o, 0.75 ET_o y 0.5 ET_o. La humedad volumétrica del suelo se midió utilizando el TDR 300 (*Time domain reflectometry*) antes y después del riego. Se tomaron los pesos frescos y secos de hojas, humedad de hojas, altura de hojas, peso seco de raíces, profundidad de raíces y la eficiencia en el uso del agua como parámetros cuantitativos del césped y el color, cobertura y uniformidad como parámetros cualitativos del césped. De acuerdo al análisis cuantitativo y cualitativo de la calidad del césped, se eligió el factor de riego 0.75 ET_o como la mejor opción para las tres especies de césped, debido a que con este factor no se produjo materia fresca, ni tampoco altura de hojas en exceso, además de que mantuvo una humedad adecuada del suelo y otorgó una calidad visual aceptable.

Palabras claves: Césped americano, césped bermuda, césped paspalum, evapotranspiración de referencia, parámetros cuantitativos, parámetros cualitativos.

ABSTRACT

This study was carried out to determine the most suitable irrigation factor for three species of grass: Seashore paspalum (*Paspalum vaginatum*), Bermudagrass (*Cynodon dactylon*) and St. Augustinegrass (*Stenotaphrum secundatum*), which will allow to present aesthetically acceptable conditions. The research was carried out in the months of January to April of 2017 in an area of 243 m² within the National University Agraria La Molina. The statistical design was completely randomized for each species of lawn, where three irrigation factors were assessed. A total of 27 experimental plots that were irrigated with a frequency of 3 and 4 days were obtained by applying three irrigation sheets accumulated as a function of the reference evapotranspiration (ET_o): 1.0 ET_o, 0.75 ET_o and 0.5 ET_o. The volumetric soil moisture was measured using TDR 300 (Time domain reflectometry) before and after irrigation. Fresh and dry weights of leaves, moisture of leaves, leaves height, root dry weight, root depth and the efficiency in the use of water were taken as quantitative parameters of the lawn and color, coverage and uniformity as qualitative parameters of the lawn. According to the quantitative and qualitative analysis of the quality of the turf, the irrigation factor 0.75 ET_o was chosen as the best option for the three turf species, because with this factor neither fresh matter was produced, nor height of leaves in excess, in addition to maintaining suitable soil moisture and providing an acceptable visual quality.

Key words: St. Augustinegrass, bermudagrass, seashore paspalum, reference evapotranspiration, quantitative parameters, qualitative parameters.

I. INTRODUCCIÓN

Las áreas verdes son de fundamental importancia para conseguir la sostenibilidad de la ciudad de Lima y para el mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes. La creación, conservación, mantenimiento y expansión de áreas verdes es indispensable por los múltiples servicios ambientales y sociales que brindan. Entre los más importantes se encuentran la generación de oxígeno, disminución de los niveles contaminantes en el aire, amortiguamiento del ruido, regulación del clima, disminución de la erosión del suelo, además de representar sitios de refugio, protección y alimentación de la fauna silvestre. En cuanto a los servicios sociales, las áreas verdes representan los espacios favoritos para la convivencia, el esparcimiento, recreación activa y pasiva de sus habitantes, además del realce de la imagen urbana (MML, 2014).

Por otro lado, las áreas verdes están conformadas en mayor porcentaje por plantas que cubren la superficie del suelo y toleran el tráfico y la defoliación, llamados céspedes (Christians *et al.* 2016) y requieren fundamentalmente del agua para poder cumplir con todos sus beneficios a la sociedad y al ambiente. Sin embargo, el crecimiento urbano de la ciudad de Lima, aumenta la competencia para este recurso hídrico, con alrededor de nueve millones de habitantes. Lima es el hogar de un tercio de la población total del Perú y es el centro comercial, industrial y político del país. Situado en el desierto costero, donde la precipitación media anual de la ciudad es menor a 10 mm (Hommes y Boelens 2017).

Pero la escasez del agua no es el único problema para la mantención de las áreas verdes, sino también la falta de conocimiento sobre los requerimientos hídricos del césped. De manera de ejemplo, en el distrito de San Borja, el consumo diario de agua para el riego de sus áreas verdes es de 4.5 l/m² (Salazar 2017), lo que equivale a una lámina excesiva de 4.5 mm/día, siendo la lámina máxima a reponer de 4.16 mm/día en época de verano (Cifuentes 2016). Por lo tanto, es necesario contar con una adecuada gestión del recurso hídrico, por lo que la presente investigación busca analizar tres especies de césped que sean tolerantes a

la escasez de agua y que requieran de un mínimo de mantenimiento, pero manteniendo una calidad visual aceptable.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, se instalará un sistema de riego por aspersión en un área de 243 m² dentro de la Universidad Nacional Agraria La Molina, en el que se analizarán tres especies de césped de estación cálida: Grama de agua (*Paspalum vaginatum*), Bermuda (*Cynodon dactylon*) y Americano (*Stenotaphrum secundatum*). Se regarán estas tres especies de césped empleando los factores de riego 1.0, 0.75 y 0.5 de la evapotranspiración de referencia (ET_o) para la selección de la mejor opción para cada césped, evaluando los parámetros cualitativos y cuantitativos durante los meses de enero a abril del año 2017.

1.1 OBJETIVO PRINCIPAL

Determinar el factor de riego más adecuado para tres especies de césped: Grama de agua (*Paspalum vaginatum*), Bermuda (*Cynodon dactylon*) y Americano (*Stenotaphrum secundatum*), que permitirá presentar condiciones estéticamente aceptables.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar e instalar el sistema de riego por aspersión en base a un diseño estadístico completamente al azar, para comparar los resultados de los parámetros cuantitativos y cualitativos de todos los tratamientos.
- Aplicar y monitorear las láminas de riego utilizando los factores de riego: 1 ET_o; 0.75 ET_o y 0.5 ET_o, usando el sistema de riego por aspersión mediante difusores.
- Evaluar cualitativa y cuantitativamente el césped aplicando los factores de riego.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 CÉSPED

Por definición, un césped es una gramínea, planta que contiene raíces que cubre la superficie del suelo y tolera el tráfico y la defoliación. Aproximadamente 50 especies de hierba en el mundo se ajustan a este criterio (Christians *et al.* 2016). Por otra parte, la mayoría de céspedes se clasifican de acuerdo a ciertas características anatómicas y fisiológicas en plantas C3 y C4, lo que resultan en diferentes patrones de crecimiento, requerimientos y tolerancias al estrés. Los céspedes C3 se conocen como de estación fría y los C4 como de estación caliente, en donde este último presenta más ventajas sobre el otro, una muy importante es que presentan un sistema radicular más profundo, lo que permitirá una mayor adaptabilidad a la sequía y un menor riego bajo las mismas condiciones.

Monje (2006) indicó que los céspedes además de generar una utilidad estética, recreativa y deportiva que beneficia a la sociedad, también benefician al medio ambiente evitando la erosión del suelo, permiten que se recarguen los acuíferos subterráneos, adsorben las partículas de polvo en suspensión mediante sus hojas, mejoran el suelo gracias al gran porcentaje de materia orgánica y microorganismos en donde el césped está establecido.

2.1.1 Césped americano (*Stenotaphrum secundatum*)

Chippendall, citado por Skerman (1992) indicó que es un césped perenne resistente que se propaga extensamente por medio de rizomas ramificados y estolones de muchos nudos, de tamaño muy variable (Fig. 1). Es oriunda de América del Norte, las Indias occidentales y Australia. Los esquejes se establecen en terrenos poco preparados, pero la buena preparación del terreno es beneficiosa para el crecimiento. Por lo general su crecimiento se ha establecido en suelos con pH cercanos a 6 y 8.5 (Monje 2006). Presenta una tolerancia a la salinidad del suelo que varía de 10.1 a 18 dS/m (Duncan *et al.* 2009).

Prácticamente no produce semillas, por consiguiente, para las nuevas siembras se utiliza el material vegetativo. Se introducen en la tierra los estolones enraizados y preferiblemente se apisonan después. Se siembran los trozos con una separación de 30 a 40 cm en hileras con

una separación de 60 a 80 cm, donde una hectárea de esquejes servirá para sembrar unas 10 ha de tierra. Prospera en la sombra, desplaza las malezas y tiene la capacidad de formar un césped denso (Skerman 1992).



Figura 01: *Stenotaphrum secundatum*

Fuente: Monje (2006)

2.1.2 Césped paspalum (*Paspalum vaginatum*)

Es originaria de las regiones subtropicales de África y América, se puede encontrar también en Australia, Argentina, Florida o Texas. Es una especie perenne que se propaga por rizomas y estolones (Fig. 2). Es una especie que sobrevive largos periodos de sequía, aunque no tan bien como la Bermuda. Presenta buena tolerancia a las altas temperaturas, sin embargo no se adapta como la Bermuda a los fríos, pudiendo tolerar sombras suaves. Es utilizada en zonas donde no se requiera una calidad alta, de los campos de golf, parques y jardines (Monje 2006). Presenta una tolerancia a la salinidad del suelo por encima de los 18 dS/m (Duncan *et al.* 2009). Además, es susceptible a ser infectado por el “*dollar spot*”, siendo un problema conocido para este tipo de césped (Unruh *et al.*, citados por Christians *et al.* 2016).

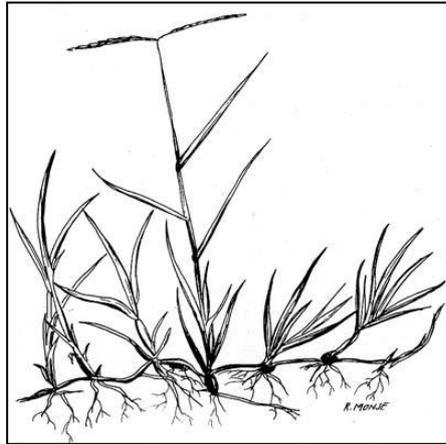


Figura 02: *Paspalum vaginatum*

Fuente: Monje (2006)

2.1.3 Césped bermuda (*Cynodon dactylon*)

Es oriunda de la India y en la actualidad es común en los trópicos (Wheeler, citado por Skerman 1992). Se propaga rápidamente mediante rizomas y estolones y no tanto por semillas (Fig. 3). Una vez establecida, crece vigorosamente y por lo general se marchita bajo una sombra media a densa. Se adapta a muchos suelos y climas. Es apetecible, nutritiva y estabiliza el suelo contra la erosión (Skerman 1992). Presenta una tolerancia a la salinidad del suelo que varía de 10.1 a 18 dS/m, igual que en el caso del césped americano (Duncan *et al.* 2009).

El césped bermuda funciona bien en condiciones de bajo mantenimiento. Este césped es idóneo para los campos de golf, jardines y parques industriales. Es una especie de césped particularmente buena que responde bien a la fertilización moderada, siega frecuente y humedad adecuada (Christians *et al.* 2016).

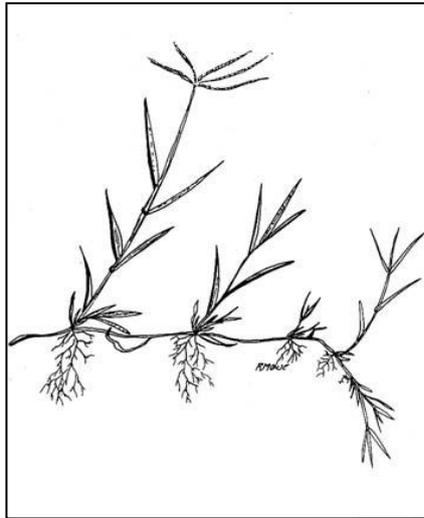


Figura 03: *Cynodon dactylon*

Fuente: Monje (2006)

2.2 EVAPOTRANSPIRACIÓN

Se conoce como evapotranspiración (ET) la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo (Allen *et al.* 2006). La evaporación y transpiración ocurren simultáneamente en superficies cultivadas y no es fácil de cuantificar la magnitud de cada componente. Para aplicaciones prácticas, como la programación del riego y el diseño de sistemas de riego, es más útil considerar ambos procesos de forma combinada (Payero 2005).

En los céspedes, la superficie del suelo está cubierta por las hojas y gran parte de la pérdida de agua se debe a la transpiración. Las plantas están cubiertas por una cutícula cerosa que es muy eficaz para limitar la pérdida de agua. La transpiración ocurre principalmente a través de aberturas en la cutícula llamada estomas, que pueden abrirse y cerrarse en respuesta a las condiciones del entorno (Christians *et al.* 2016).

Hay varias condiciones que afectan la evapotranspiración, incluyendo la temperatura del aire, la velocidad del viento, la humedad y la radiación solar. Un factor adicional son las especies de césped. Por ejemplo, los céspedes de estación cálida tienen tasas de evapotranspiración más bajas que los céspedes de estación fría (Casnoff *et al.*, citados por Christians *et al.* 2016).

La evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o), es la tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia y que ocurre sin restricciones de agua. La superficie de referencia corresponde a un cultivo hipotético de pasto con características específicas. Los únicos factores que afectan la ET_o son los parámetros climáticos. Por lo tanto, la ET_o es también un parámetro climático que puede ser calculado a partir de datos meteorológicos. Expresa el poder evaporante de la atmósfera en una localidad y época del año específicas y no considera ni las características del cultivo, ni los factores del suelo (Allen *et al.* 2006).

Christians *et al.* (2016) indicaron que la ET_o puede determinarse usando un tanque evaporímetro, un atmómetro o varios modelos matemáticos. Sin embargo, es más común estimarlos con modelos matemáticos, principalmente con la ecuación de Penman-Monteith.

Los datos meteorológicos se registran en diferentes tipos de estaciones meteorológicas, donde normalmente se localizan en áreas cultivadas donde los instrumentos se exponen a condiciones atmosféricas similares a las de los cultivos circundantes. En estas estaciones, la temperatura del aire, la humedad, la velocidad del viento y la duración de la insolación se miden típicamente a 2 m sobre una superficie extensa de pasto u otro cultivo corto (Allen *et al.* 2006).

2.3 RIEGO

Los requerimientos del riego varían con las especies del césped, las condiciones del suelo, y las condiciones ambientales. En promedio, un césped establecido usualmente requiere de 25 a 38 mm/semana para una óptima humedad del suelo durante el crecimiento. Un césped recién sembrado puede requerir más riego, debido a que la planta no tiene un sistema de raíces establecido para capturar el agua. El agua puede provenir de la lluvia, el riego, o una combinación de ambos (Christians *et al.* 2016). En promedio, el césped utiliza solo el 1% del riego para el crecimiento y desarrollo, mientras que gran parte del resto se destina a la transpiración (Shearman citado por Christians *et al.* 2016).

Determinar cuándo se aplicará agua al césped es una parte importante de la programación del riego. Se requiere una detallada observación de la planta y una cuidadosa evaluación de las condiciones del suelo, utilizando equipos científicos y observaciones visuales. Existe una variedad de instrumentos científicos con tecnología y precio que pueden variar ampliamente, sin embargo el “*time domain reflectometry*” (TDR) es uno de los medidores

de humedad del suelo más utilizados para determinar las necesidades del riego (Christians *et al.* 2016).

El momento del día para aplicar el agua es otra decisión de gestión que puede afectar la calidad del césped. Una excesiva humedad en el dosel del césped puede contribuir al desarrollo de enfermedades. El riego nocturno mantendrá el dosel húmedo por más tiempo y se debería evitar si es posible. Regar temprano en la mañana antes del amanecer en lugar de poco después del atardecer sería lo correcto para acortar el periodo de humedad foliar. Por lo tanto, las primeras horas de la mañana proporcionan el mejor momento para regar el césped (Christians *et al.* 2016).

2.4 HUMEDAD DEL SUELO

2.4.1 Capacidad de campo

Pizarro (1996) indicó que la capacidad de campo es aquel estado en donde ya no se pierde más agua por drenaje, los microporos retienen el agua contra la fuerza de gravedad y los macroporos están en buena parte ocupados por aire. Esta situación es muy favorable para el desarrollo de los cultivos, debido a que las raíces succionan con facilidad el agua retenida de los microporos, al mismo tiempo que el suelo está suficientemente aireado para permitir la respiración radicular. Sin embargo, la capacidad de campo es un estado definido imprecisamente, porque para llegar a este estado va depender primordialmente de la textura del suelo, como ejemplo, un suelo arenoso llegará más rápido a este estado que un suelo franco, debido al drenaje rápido que experimenta el primer suelo.

2.4.2 Punto de marchitez

Es aquel estado que se caracteriza porque las plantas absorben el agua del suelo con mucha dificultad y experimentan marchitez irreversible. Al igual que la capacidad de campo, el punto de marchitez depende más de la textura que de la estructura del suelo y se puede medir en muestras alteradas (Pizarro 1996).

Por otra parte, el punto de marchitez o punto de marchitez permanente es el contenido de agua en el suelo en el que el césped sucumbirá al estrés. Por lo tanto, el césped puede utilizar el agua en el suelo siempre y cuando la humedad del suelo este por encima del punto de marchitez (Christians *et al.* 2016).

La Fig. 4 muestra los límites de capacidad de campo y de punto de marchitez permanente para diferentes texturas de suelo, así como también del agua útil que está dentro de estos dos límites.

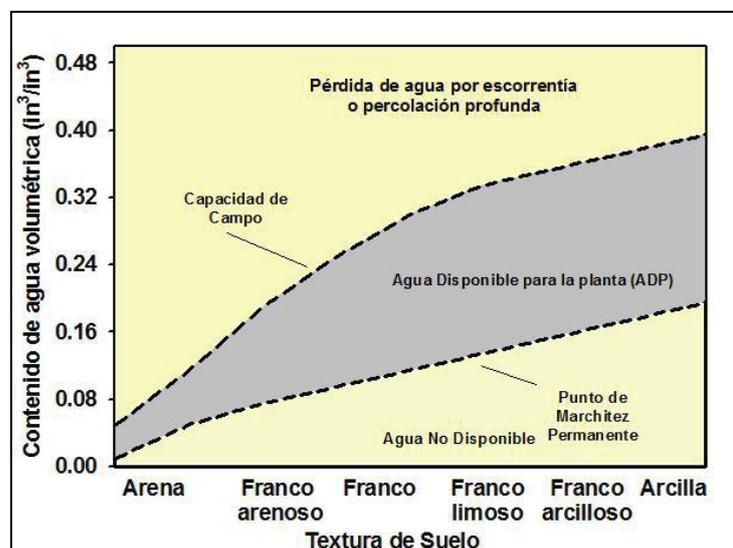


Figura 04: Cantidades relativas de agua disponible en varias texturas de suelo

Fuente: Zotarelli *et al.* (2013)

2.5 MEDICIÓN DE HUMEDAD DEL SUELO

2.5.1 Método gravimétrico

Esta medición clásica de la humedad del suelo consiste en eliminar la humedad de la muestra del suelo por medio de la evaporación. El método gravimétrico o termo gravimétrico (secado al horno) es ampliamente utilizado y sirve para medir y como referencia para determinar el contenido de humedad del suelo. En esta técnica, la muestra de tierra húmeda (usualmente 100 g o menos) se somete a secado en horno durante 24 horas a 105 °C y posteriormente se registra el peso del suelo seco. Sin embargo, para los suelos orgánicos, la temperatura suele disminuir a 50 – 70 °C, debido a que la materia orgánica puede perderse por la volatilización a temperaturas elevadas. Esta técnica asegura una medición precisa de la humedad y no depende de la salinidad y del tipo de suelo (Lekshmi *et al.* 2014).

2.5.2 Reflectometría en el dominio del tiempo (TDR)

Es un método no destructivo de medición de humedad del suelo, cuyo principio físico consiste en determinar la constante dieléctrica (K) de un medio, a partir de las mediciones de la velocidad de propagación de una onda electromagnética, obtenida de un generador de impulsos. La onda electromagnética se propaga a través de un cable coaxial a una sonda, que suele ser una barra de acero inoxidable. El tiempo de ida y vuelta (t), desde el principio hasta el final de la sonda, puede ser medido por un osciloscopio de muestreo o un cable tester (Quinones *et al.* 2003). Con el conocimiento de que la distancia recorrida de la onda es $2L$ (siendo L la longitud de las guías de onda), la velocidad de propagación de la onda electromagnética (v) tendrá las dos siguientes formas:

$$v = \frac{c}{\sqrt{K}} \dots\dots\dots(1)$$

$$v = \frac{2L}{t} \dots\dots\dots(2)$$

Siendo K , la constante dieléctrica de un medio; c , la velocidad de la luz igual a $3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$; L , la longitud de las guías de onda y t , el tiempo de ida y vuelta de una onda electromagnética.

De las ecuaciones (1) y (2) se obtiene:

$$K = \left(\frac{tc}{2L}\right)^2$$

Topp *et al.*, citados por Quinones *et al.* (2003) publicaron una función de calibración universal (polinomio de tercer grado) que describe la relación entre el contenido de agua en el suelo (θ) y la constante dieléctrica para suelos minerales:

$$\theta = -530 + 0.0292K - 5.5K^2 + 0.043K^3$$

Aunque esta ecuación ha sido descrita como ampliamente aplicable en suelos minerales, otros autores han encontrado que se requieren calibraciones para suelos individuales.

Por otra parte, las variaciones de la densidad aparente del suelo causan cambios significativos en la constante dieléctrica, lo que significa que las mediciones del TDR dependen de la densidad del material. Si la densidad aparente del material es significativamente mayor ($> 1.7 \text{ gcm}^{-3}$), la señal del TDR tiende a sobrevalorar la humedad del suelo y si la densidad aparente es relativamente pequeño ($< 1.0 \text{ gcm}^{-3}$), el contenido de agua se minusvalora (Quinones *et al.* 2003).

La constante dieléctrica también depende de la temperatura, que puede ser una fuente de error en el contenido de agua del suelo. Los efectos de la temperatura se pueden estimar asumiendo que la fase acuosa es principalmente responsable de los cambios en la constante dieléctrica, dado que la constante dieléctrica del agua disminuye cuando la temperatura aumenta, por lo tanto, es razonable pensar que la constante dieléctrica de un suelo húmedo también disminuirá (Persson y Berndtsson, citados por Quinones *et al.* 2003).

En la Fig. 5 (a) se muestra el equipo de medición TDR 300 y en la Fig. 5 (b) se observa diferentes longitudes de sonda.

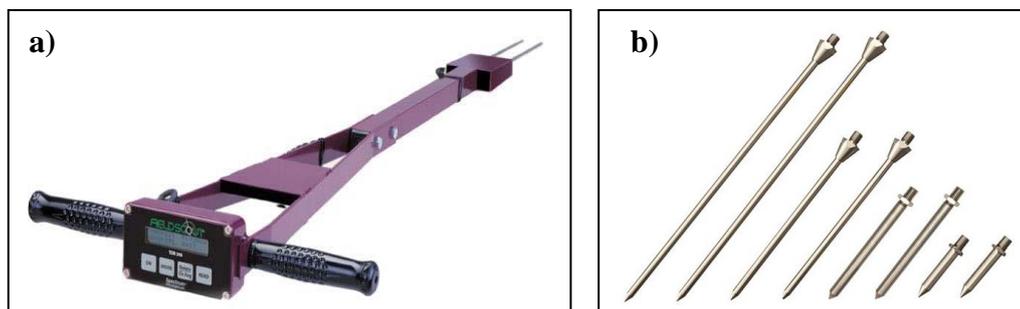


Figura 05: (a) Medidor de humedad del suelo TDR 300 y (b) Sondas de medición de diferentes longitudes

2.6 SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN

La aspersión es un método de riego que distribuye el agua en forma de lluvia sobre el terreno. El agua es conducida por medio de tuberías gracias a la fuerza que le da un grupo de bombeo que hace que el agua salga por el aspersor en forma de lluvia (Palomino 2009).

2.6.1 Ventajas

- Se consigue una alta uniformidad en la aplicación del agua, sin pérdida por filtración profunda.
- Se elimina el peligro de erosión de los suelos.
- Se consiguen más altos rendimientos: hortalizas y frutas.
- Se puede regar eficientemente terrenos con demasiada pendiente.
- Es posible aplicar fertilizantes solubles en el agua, herbicidas e insecticidas y fungicidas.
- Se puede utilizar para proteger cultivos contra las heladas y contra las temperaturas excesivas que puedan reducir la cantidad y calidad de las cosechas.
- Se disminuye el coste de la mano de obra en la aplicación del riego.

2.6.2 Desventajas

- Altos costes de instalación inicial.
- El principal problema que se tiene para aplicar este sistema es el viento que distorsiona la forma de distribución del agua y hace que esta no sea uniforme.
- Las temperaturas altas acentúan las pérdidas por evaporación, especialmente si la lluvia es muy pulverizada.
- El agua tiene que ser limpia, sin arena, sin grandes cantidades de sales disueltas.
- Para usos económicos del equipo, es necesario contar con un abastecimiento estable del agua.

2.7 COMPONENTES DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN

Palomino (2009) indicó que un aspecto muy importante para el buen funcionamiento de los sistemas de riego por aspersión es la operación adecuada del equipo, para ello es necesario conocer y saber la función de los elementos que lo componen. Un sistema de riego por aspersión está compuesto de muchas partes. Estas partes van desde la boquilla del aspersor hasta las válvulas que controlan la entrada del agua al sistema.

Considerando un sistema de riego por aspersión típico, este consta de las siguientes partes:

2.7.1 Fuente de abastecimiento

Esta puede ser un pozo profundo, canal, estanque o cualquier otra forma que garantice un gasto constante o el volumen necesario para regar una superficie determinada (Palomino 2009).

2.7.2 Cabezal de control

Este a su vez consta de las siguientes partes:

a. Unidad de bombeo (motor-bomba)

Es la fuente de energía que proporciona la presión al sistema; está constituido por el motor y la bomba; el motor puede ser eléctrico o de combustión interna y la bomba puede ser centrífuga, sumergible o cualquier tipo de turbina vertical (Palomino 2009).

b. Dispositivos de medición

Son el medidor volumétrico y el manómetro; se encargan de registrar la cantidad de agua utilizada durante el riego y la presión del sistema, controlando los cambios de presión producidos por el mal funcionamiento de algún componente del sistema (Palomino 2009).

c. Dispositivos de seguridad

Son elementos indispensables que previenen daños a los sistemas y entre estos tenemos las válvulas check (retención), válvulas de aire (alivio) y los reguladores de presión (Palomino 2009).

d. Accesorios

Los accesorios del cabezal están formados por: válvulas, llaves de paso, reducciones de campana, bushing, acoples, nipples, tees, codos y tuercas de unión. Estas piezas permiten regular la presión y la distribución del agua, hacer los cambios de los diámetros de acuerdo a la salida seleccionada y hacer las conexiones necesarias para dar forma al cabezal; estas piezas son fundamentalmente de hierro negro galvanizado o de bronce (Palomino 2009).

e. Tanque fertilizador

Es un componente esencial en los equipos de riego a presión, debido a que facilita la aplicación del fertilizante, haciéndose a través del sistema; el tanque puede ser de cierre hermético o abierto y consta de una entrada y una salida interconectada a la dirección del flujo. La entrada permite el paso del agua para llenar y disolver en el tanque y la salida permite el paso de la solución hacia los cultivos (Palomino 2009).

f. Filtros

Su función es dejar libre de residuos orgánicos el agua de riego con el fin de evitar obstrucciones en el sistema, principalmente en las boquillas de los aspersores. Su utilización es menor en el método de riego por aspersión que en el de goteo debido a la mayor área de paso en las boquillas que en los goteros. Por lo que en el método de riego por aspersión su utilización estará condicionada al tipo de fuente de agua y la calidad de la misma (Palomino 2009).

2.7.3 Tubos y accesorios

Según su posición y función de un sistema de riego por aspersión se pueden encontrar los siguientes tipos de tubería:

- De conducción o abastecimiento.
- De distribución.
- Regantes.

a. Tubería de conducción o abastecimiento

Es el conjunto de tubos que lleva agua desde la fuente de abastecimiento a las líneas de distribución. El material de construcción de los tubos es de asbesto cemento, cloruro de polivinilo (PVC) y hierro galvanizado principalmente cuando va enterrado y de aluminio cuando es superficial; sus diámetros varían desde 15 a 40 cm y son fabricados en tramos de 3, 6, 9 y 12 m; también se le conoce como tubería principal. En sistemas pequeños puede no existir esta tubería, siendo la de distribución la que también desarrolla la función de conducción (Palomino 2009).

b. Tubería de distribución

Es el conjunto de tubos que unen la tubería de conducción con las regantes; el material de construcción de los tubos es el mismo empleado en los de conducción, pero se utilizan más los de PVC y de aluminio; sus diámetros varían de 10 a 20 cm y también se le conoce como tubería subprincipal (Palomino 2009).

c. Líneas regantes o laterales

Son los tubos que llevan los aspersores y se localizan directamente en el área de riego. La construcción de estos tubos es a base de materiales livianos como el aluminio y el polietileno, para facilitar su movimiento, principalmente en sistemas portátiles. Los diámetros de los tubos en sistemas portátiles varían de 5 a 10 cm (Palomino 2009).

d. Accesorios para los tubos

Entre ellos están los acoples, codos, tees, válvulas, hidrantes, reducciones, empaques, tubos elevadores, tapones, etc.

2.7.4 Los aspersores

Los aspersores se encargan de distribuir el agua al terreno de manera continua con un grado de uniformidad y una pulverización adecuada en el chorro. Una característica que es común en todos los sistemas de riego por aspersión es que el agua debe ser arrojada a través de aspersores, boquillas o perforaciones a una gran velocidad.

En los sistemas de riego por aspersión son usados aspersores con cabeza giratoria, aspersores con cabeza fija, rociadores con boquilla, entre otros (Palomino 2009).

2.8 EVALUACIÓN DEL CÉSPED

Los encargados del manejo del césped generalmente realizan una evaluación visual de la calidad para estimar el estado de salud del césped, incluyendo las necesidades de fertilización y riego, daños ocasionados y el estrés. La evaluación de la calidad y salud del césped es rutinario pero es un trabajo importante para los encargados del manejo, los investigadores y los productores del césped. La calidad del césped incluye características estéticas y funcionales. Cualidades como la densidad, color y textura son especialmente importantes para los encargados del césped y el público (Turgeon citado por Pessarakli 2008).

Existen otros parámetros cualitativos de la calidad del césped, como la uniformidad y la cobertura, que serán analizados en esta investigación debido a su importancia para las áreas verdes urbanas.

Las puntuaciones de la calidad visual es un método estándar de evaluación para los investigadores del césped. Las puntuaciones visuales son usadas para medir la calidad general del césped, la densidad, el color genético, la textura del césped y el porcentaje de cubierta del suelo.

Según Bell *et al*, citados por Pessarakli (2008), el método de las puntuaciones visuales no es complicado, pero requiere un entrenamiento previo y experiencia del evaluador. El tiempo de evaluación es también importante, donde generalmente la mejor opción para calificar esta entre la media mañana y la temprana tarde. Otra limitación de la clasificación visual es su naturaleza subjetiva. Las calificaciones pueden ser inconsistentes de persona a persona y de día a día para la misma persona.

Además, algunas menores o sutiles diferencias en la calificación del césped no son discernidas fácilmente por el ojo humano o simplemente no pueden ser discriminados utilizando una escala de números enteros (Bell *et al*, citados por Pessarakli 2008).

Así como existen parámetros cualitativos de la calidad del césped, también existen otros parámetros que no requieren de una evaluación visual para conocer si el césped está creciendo normalmente. Parámetros como la producción de materia fresca y seca después de la poda, la humedad de hojas, la altura de hojas, el desarrollo radicular y la eficiencia en el uso del agua, serán estudiados en la presente investigación.

2.8.1 Evaluación cualitativa

a. Color

El color es una medida de la luz reflejada por el césped. Generalmente, mientras más verde es el césped, más atractivo se considera. Un color pobre puede ser causa de una deficiencia de nitrógeno, sequía o estrés por temperatura, enfermedades, insectos u otros tipos de daño. Sin embargo, para algunas especies y variedades de césped es normal tener un color verde claro. Por lo tanto, una falta de color verde oscuro no necesariamente significa que el césped este enfermo (Emmons y Rossi 2014).

En la Fig. 6 se muestra las diferencias de color verde en dos especies de césped.



Figura 06: Diferencias de color verde del césped

Fuente: Emmons y Rossi (2014)

b. Cobertura

Es un parámetro cualitativo que según Bughrara (2007), se puede medir en porcentaje y recibe el nombre de “porcentaje de cobertura de suelo vivo”, que en pocas palabras, representa la superficie cubierta por la especie de césped. Este porcentaje se utiliza para expresar el daño causado por enfermedades, insectos, invasión de malezas o estrés por factores ambientales. El porcentaje de cobertura de suelo vivo se mide frecuentemente en la primavera, verano y otoño.

Especialmente en el verano medimos este parámetro, debido a que en esta estación del año, se realiza la mayoría de labores de mantenimiento de las áreas verdes, como el arenado, el escarificado, mayor frecuencia de siega, etc. Las temperaturas altas ocasionan que el césped se recupere más rápido del estrés a causa de las diferentes labores de mantenimiento.

c. Uniformidad

Es una medida por la cual podemos estimar la apariencia que por igual tiene un césped. Como podremos observar la uniformidad se consigue gracias a la textura, la altura de siega, la densidad, las especies seleccionadas, el color y otros factores culturales (Monje 2006).

2.8.2 Evaluación cuantitativa

a. Peso fresco y altura de hojas

Estos dos parámetros cuantitativos son necesarios para distinguir el crecimiento de las especies de césped evaluados. La producción de materia fresca de hojas sirve para conocer que especie de césped produce una mayor cantidad de hojas después de cada poda durante la investigación. Este parámetro nos permite tomar decisiones con respecto al manejo del césped, especialmente en la mano de obra que se empleará para el césped elegido. De la misma manera, la altura de hojas o de césped según Rosas (2003), es un parámetro cuantitativo muy importante, ya que define el tipo y número de podas, por lo que los céspedes cortos son mejores, debido a que requieren menor mano de obra para el corte. Sin embargo, los céspedes de baja altura, pueden requerir otros mantenimientos más exigentes que ocasionarán mayores inversiones y cuidados.

b. Peso seco de hojas

La producción de materia seca de hojas es importante y necesaria conocerla, debido a la relación que existe con la eficiencia en el uso del agua.

c. Humedad de hojas

Este parámetro cuantitativo se mide en porcentaje y está muy relacionado al color del césped, debido a que un mayor porcentaje de humedad indica un color verde más oscuro en la mayoría de los casos.

d. Desarrollo radicular

Las especies de césped difieren en sus habilidades de enraizamiento. Algunas especies tienen sistemas radiculares profundos, otros de poca profundidad. Generalmente, los céspedes de estación cálida producen raíces profundas, mientras que casi todos los céspedes de estación fría presentan sistemas radiculares poco profundas. Aunque la profundidad de enraizamiento de cada especie de césped es genéticamente controlado, los factores ambientales también lo afectan considerablemente. Las raíces por ejemplo, pueden penetrar más profundamente en suelos arenosos que en suelos arcillosos, generalmente son más profundos en otoño y primavera que en verano e invierno y también más profundos cuando se corta la hierba más alto. Otros factores ambientales que afectan la profundidad de la raíz del césped son el riego, la fertilización, la compactación del suelo y la sombra. Finalmente, la mejor manera de determinar la profundidad de enraizamiento del césped en un lugar específico es mediante la inspección física. Una sonda de muestreo o una pala pueden ser usados (Ali *et al*, 1984).

e. Eficiencia en el uso del agua

La eficiencia en el uso del agua se determina dividiendo la materia seca total producida con la cantidad acumulada de agua utilizada durante el experimento completo. La biomasa seca total incluye las hojas, tallos y raíces secadas al horno (Anower *et al*, 2015).

Blum citado por Anower *et al* (2015) menciona que la eficiencia en el uso del agua es considerado un importante concepto para la producción bajo estrés e incluso como un componente de la resistencia a la sequía.

La eficiencia en el uso del agua varía ampliamente entre las especies. Varios estudios han demostrado que la sequía en general puede incrementar la eficiencia en el uso del agua, mientras que otros no han notado tales efectos (Morgan y LeCain 1991, Hall *et al*. 1994 citados por Anower *et al*, 2015).

2.9 DISEÑO COMPLETAMENTE ALEATORIO CON EFECTOS FIJOS

En este modelo, que estudia el efecto que produce un solo factor en la variable respuesta, la asignación de las unidades experimentales a los distintos niveles del factor se debe realizar de forma completamente al azar. Este modelo, junto con este procedimiento de asignación, recibe el nombre de diseño completamente aleatorizado y está basado en el modelo estadístico de análisis de la varianza de un factor o una vía. Esta técnica estadística se utiliza cuando se tienen que comparar más de dos grupos y la variable respuesta es una variable numérica. Para aplicar este diseño adecuadamente, las unidades experimentales deben ser lo más homogéneas posible (Lara 2016).

En el modelo de efectos fijos, el experimentador decide que niveles concretos se van considerar y las conclusiones que se obtengan sólo son aplicables a esos niveles, no pudiéndose hacer extensivas a otros niveles no incluidos en el estudio.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN DEL ÁREA EXPERIMENTAL

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en un área de 243 m², perteneciente al campo experimental de la Unidad de Riego Tecnificado (URT) de la Universidad Nacional Agraria La Molina (Fig. 7).

Departamento: Lima
Provincia: Lima
Distrito: La Molina
Longitud: 76°56'28" O
Latitud: 12°04'44" S
Elevación: 245 m.s.n.m



Figura 07: Ubicación geográfica de las parcelas experimentales
Fuente: Google Earth (2017)

3.2 CARACTERÍSTICAS METEOROLÓGICAS

El resumen del registro meteorológico entre los años 2000 y 2010 del área donde se llevó a cabo la investigación fueron extraídos de la estación meteorológica Alexander Von Humboldt, ubicada en el interior de la UNALM. La tabla 1 muestra el promedio de los datos meteorológicos entre los años 2000 y 2010, donde el promedio de la temperatura máxima fue de 23.43 °C, el promedio de la temperatura mínima igual a 16.38 °C, el promedio de la humedad relativa fue de 83.28%, el promedio de la velocidad del viento igual a 1.04 m/s, las horas de sol en promedio igual a 4.68 horas y finalmente el promedio de la evapotranspiración de referencia igual a 2.95 mm/día.

Tabla 01: Registro meteorológico de La Molina 2000-2010

| Mes | Tmáx (°C) | Tmín (°C) | Tprom (°C) | HR (%) | u2 (m/s) | H | ETo (mm/día) |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|--------------|
| Enero | 27.41 | 19.44 | 23.43 | 79.60 | 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 | 24.20 | 75.63 | 1.15 | 7.02 | 4.16 |
| Abril | 26.86 | 17.75 | 22.31 | 79.07 | 1.11 | 7.62 | 3.72 |
| Mayo | 23.27 | 15.50 | 19.39 | 83.24 | 0.92 | 5.62 | 2.65 |
| Junio | 19.89 | 14.20 | 17.05 | 87.63 | 0.77 | 2.66 | 1.79 |
| Julio | 18.91 | 14.16 | 16.54 | 88.70 | 0.85 | 2.04 | 1.69 |
| Agosto | 18.31 | 13.92 | 16.12 | 88.53 | 0.88 | 2.40 | 1.89 |
| Setiembre | 19.98 | 13.95 | 16.97 | 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 | 1.10 | 5.01 | 3.16 |
| Diciembre | 25.06 | 17.41 | 21.24 | 82.74 | 1.14 | 4.89 | 3.32 |
| Promedio | 23.43 | 16.38 | 19.91 | 83.28 | 1.04 | 4.68 | 2.95 |
| Tmáx=Máxima temperatura del aire, Tmín=Mínima temperatura del aire, Tprom=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: Resumen del registro meteorológico entre los años 2000 y 2010 (Cifuentes 2016)

3.3 CARACTERÍSTICAS DEL AGUA

El agua utilizada para regar las parcelas experimentales fue proveniente de los reservorios de la URT, en el que se tomó una muestra de agua en una botella de plástico de 1 litro, para posteriormente llevarlo al laboratorio de agua, suelo, medio ambiente y fertirriego de la UNALM y obtener la caracterización físico-química del agua.

3.4 CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

Los suelos que se utilizaron para el establecimiento de las tres especies de césped fueron provenientes de los jardines ubicados en el exterior de la puerta principal de la UNALM, siendo transportados con volquetes hacia el área experimental, debido a que no se podía utilizar el suelo original de la URT, porque en ese lugar se encontraron capas de concreto a muy poca profundidad del suelo y que estaban dispersos por toda el área experimental, siendo un obstáculo para el buen crecimiento del césped.

Después de la nivelación del terreno (Fig. 8), se tomaron tres muestras de suelo a la profundidad de 15 cm, para la caracterización físico-química del suelo correspondientes a los tres sectores de riego de la investigación.



Figura 08: Nivelación del terreno con retroexcavadora

3.5 EQUIPOS Y MATERIALES

Los equipos y materiales que se utilizaron para las etapas de la presente investigación son:

Movimiento y nivelación de tierras

- Retroexcavadora
- Pala
- Pico
- Rastrillo

Trazo de los sectores de riego

- Wincha
- Cal
- Cordel

Toma de muestras de agua y suelo

- Botella de plástico de 1 litro
- Barreno
- Sobres de papel

Excavación de zanja para sistema de riego

- Barreta
- Pala
- Pico

Instalación del sistema de riego por aspersión

- Rociadores de 1/2"
- Filtros de anillos de 2"
- Electroválvulas de 1"

- Contador volumétrico de 2"
- Electrobomba centrífuga de 8.6 HP
- Tuberías y accesorios de PVC

Siembra y mantenimiento del césped

- Champas de las tres especies de césped
- Pala de mano
- Rastrillo de mano
- Podadora de cuchillas helicoidales de 0.35 m de ancho

Medición de la evapotranspiración de referencia (ET_o)

- Estación meteorológica automática DAVIS – Vantage PRO 2

Medición de la humedad del suelo

- Medidor de humedad de suelo TDR 300 Fieldscout con sondas de 20 cm

Accesorios diversos

- Cámara fotográfica
- Balanza
- Horno

3.6 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.6.1 Diseño estadístico

Se empleó el diseño completamente aleatorizado para cada una de las tres especies de césped, en el que se obtuvieron 9 tratamientos en total y 3 repeticiones para cada uno de ellos, haciendo un total de 27 unidades experimentales.

a. Tratamientos

Los tratamientos que se consideraron fueron los factores de riego: 1.0 ETo, 0.75 ETo y 0.5 ETo. Estos tres factores de riego fueron aplicados a las tres especies de césped: americano (T1), paspalum (T2) y bermuda (T3).

b. Unidad experimental

El área total de cada unidad experimental fue de 9 m² (3 m x 3 m), sin embargo se tuvo que separar los tratamientos entre si, para que no haya interacción entre las especies de césped y se pueda hacer un mejor control, por lo que una zanja de 30 cm fue la separación de los tratamientos, obteniéndose un área útil de 7.29 m² (2.70 m x 2.70 m) para cada unidad experimental. La distribución de las 27 unidades experimentales en campo se presenta en la Fig. 9.

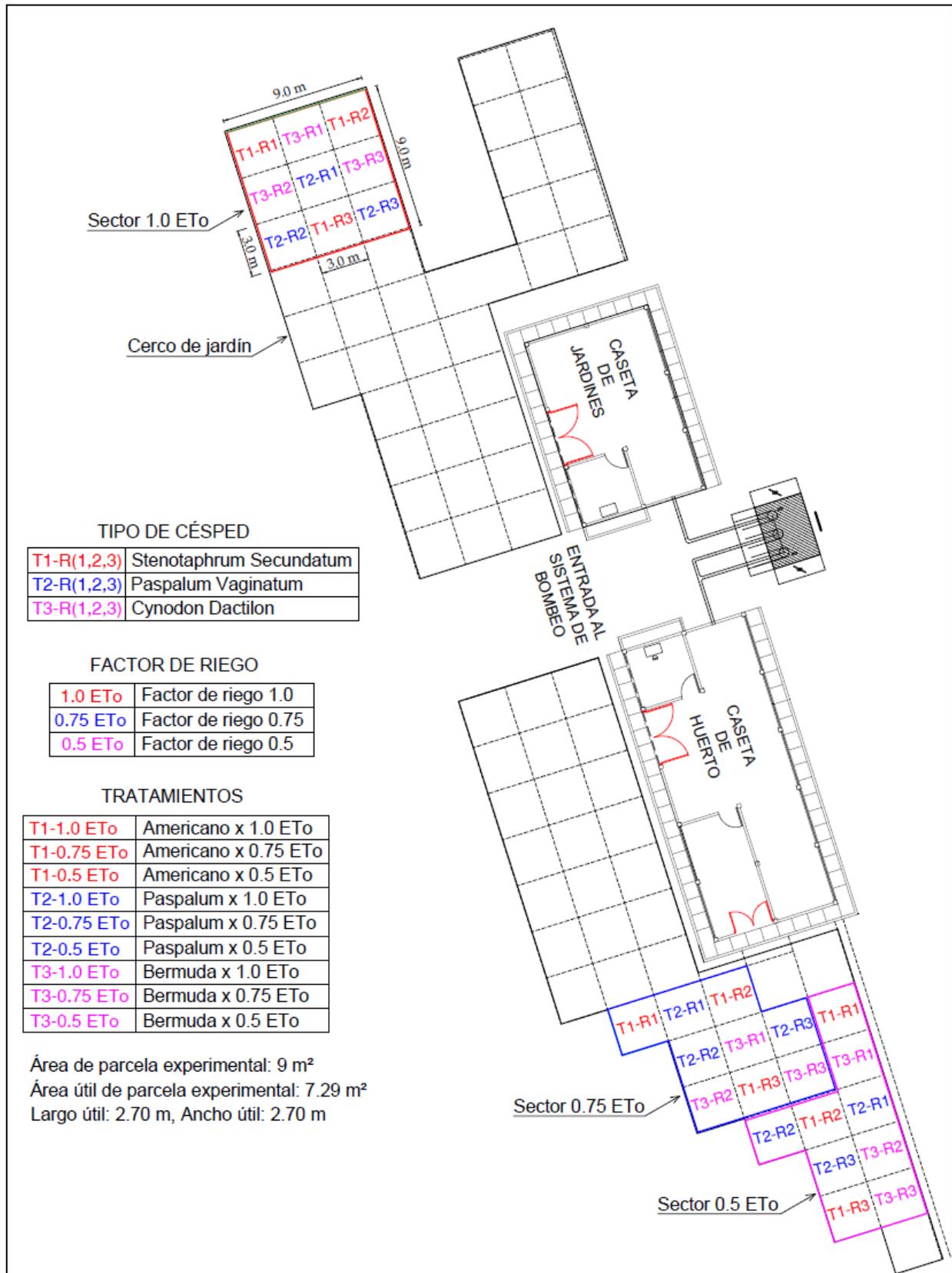


Figura 09: Distribución de parcelas experimentales

3.6.2 Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó mediante el software libre InfoStat, donde se analizaron los parámetros cuantitativos: peso fresco de hojas y altura de hojas.

En todos los casos analizados se empleó el procedimiento estadístico ANOVA (*Analysis of variance*) o análisis de varianza en español, con la prueba de comparación LSD Fisher y un nivel de significancia del 5%.

3.6.3 Procedimiento en la investigación

a. Parámetros cuantitativos

Láminas de riego

Las láminas de riego aplicadas a las parcelas experimentales fueron el resultado de la diferencia entre la evapotranspiración de referencia (ET_o) y la precipitación efectiva, pero como la investigación se desarrolló en los meses de verano, la precipitación efectiva fue casi siempre nula y por lo tanto las láminas de riego se consideraron iguales a las evapotranspiraciones de referencia. Los datos de la ET_o fueron calculadas mediante la ecuación de Penman-Monteith modificada a partir del procesamiento de los parámetros climáticos obtenidos de la estación meteorológica automática perteneciente al Departamento de Recursos Hídricos de la UNALM. Estas láminas se aplicaron con una frecuencia de riego de 3 y 4 días, correspondiendo la lámina acumulada al 100% para las parcelas pertenecientes al factor 1.0 ET_o, el 75% de la lámina acumulada para las parcelas pertenecientes al factor 0.75 ET_o y el 50% de la lámina acumulada para las parcelas pertenecientes al factor 0.5 ET_o.

Contenido de humedad del suelo

La humedad del suelo se midió con el TDR 300 antes y después de cada riego. En el primer caso, entre las 9 y 10 am del día que se regó y para el segundo caso también en la misma hora, pero del día siguiente del riego. El conocimiento de la humedad del suelo fue una consideración importante en la elección del factor de riego más adecuado para cada especie de césped, debido a que humedades muy bajas originaron daños estéticos en las parcelas experimentales.

Además, se hizo la calibración del medidor de humedad del suelo, mediante la extracción de muestras de suelo a la profundidad de la sonda del TDR 300 (20 cm), previamente tomándose tres mediciones en un lugar específico dentro de la parcela y sacando el promedio de estas. Luego, las muestras se llevaron al horno y se empleó el método gravimétrico para la determinación de las humedades volumétricas. En el anexo 3 se presentan los datos de todas las muestras extraídas y en la sección de resultados, la curva de calibración del TDR 300.

Capacidad de campo y punto de marchitez

Se saturó un metro cuadrado de suelo desnudo con la misma textura de las parcelas experimentales y se cubrió con un plástico para evitar pérdidas de humedad por evaporación. Posteriormente, se extrajeron cinco muestras de suelo a la profundidad de 20 cm durante dos semanas y se llevaron las muestras inmediatamente al laboratorio para pesarlos y después secarlos en el horno a 105 °C durante 24 horas, para finalmente volverlos a pesar.

Se procesaron los datos obtenidos en el transcurso de los días hasta observar que la humedad del suelo se hacía constante y es ahí donde se eligió la capacidad de campo. Por otra parte, para la determinación del punto de marchitez de forma práctica, se dividió la capacidad de campo entre dos.

Peso fresco y seco de hojas

Se realizó la poda en todas las parcelas experimentales con una frecuencia de 15 días, en el que se recogieron las hojas cortadas de la franja central de cada parcela con un área de 0.95 m² (2.70 m x 0.35 m). Luego se depositaron en sobres de papel, para llevarlos al laboratorio, pesarlos y colocarlos al horno a una temperatura de 105 °C durante 24 horas. Finalmente, después de las 24 horas, se pesaron las muestras de hojas para obtener el peso seco.

Humedad de hojas

Se determinó la humedad de hojas mediante la división de la diferencia de los pesos frescos y secos con los pesos frescos. Estos resultados se llevaron en porcentajes y se compararon solamente entre los tratamientos de una misma especie de césped.

Altura de hojas

Se tomaron las alturas de hojas antes y después de cada poda y solo la altura de hojas antes del corte se analizó estadísticamente, debido a que esta altura alcanzada difiere según la especie de césped.

Peso seco y profundidad de raíces

Se tomaron muestras de raíces mediante un cilindro muestreador de 20 cm de largo y 9 cm de diámetro (Fig. 10), en solo nueve unidades experimentales que representan a los nueve tratamientos de la investigación. Posteriormente se depositaron las muestras en bolsas plásticas y se procedieron a lavarlas con mucho cuidado, separando el suelo de las raíces, utilizando tamices para este fin. Cuando se pudo separar las raíces del suelo, se les midió longitudinalmente, tomando como dato a la mayor profundidad de raíz alcanzada, luego se pesaron en fresco y se llevaron al horno durante 24 horas. Finalmente, después de las 24 horas, se pesaron las muestras para obtener los pesos secos de raíces. Las mediciones de los pesos secos y las profundidades de raíces se realizaron durante dos únicas fechas: 15/02/2017 y 28/04/17.

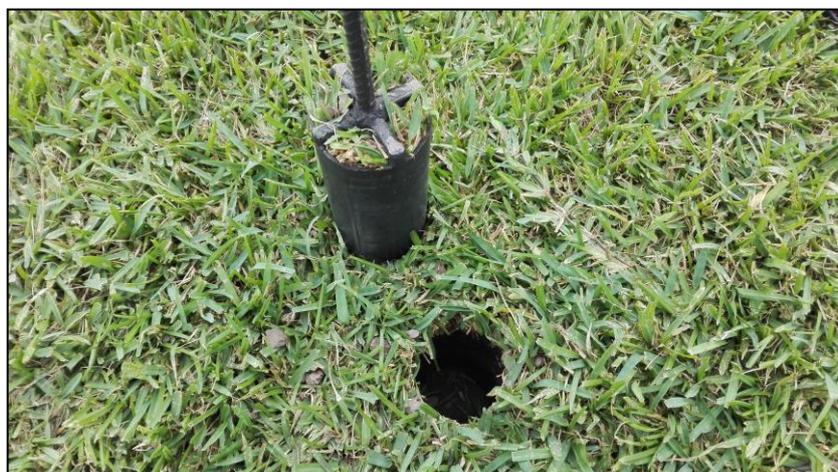


Figura 10: Extracción de suelo para análisis de raíces

Eficiencia en el uso del agua

Este parámetro cuantitativo se calculó para todas las unidades experimentales y se obtuvo mediante la división del peso seco de hojas total producido de las siete podas y la cantidad acumulada de agua utilizada durante la investigación.

b. Parámetros cualitativos

Color

Se realizaron las evaluaciones visuales del color para todas las unidades experimentales, durante tres fechas a lo largo de la investigación. La tabla 2 muestra la descripción del color de acuerdo a las valoraciones.

Tabla 02: Evaluación del color

| Color | |
|-------------------|--------------------|
| Valoración | Descripción |
| 3 | verde oscuro |
| 2 | verde medio |
| 1 | verde claro |

Cobertura

La cobertura al igual que el color, se evaluó visualmente, además se utilizó el software ImageJ, versión 1.49k, que mediante fotografías tomadas a una altura de 2 m sobre el suelo y en posición horizontal paralela a las parcelas, permitió calcular el porcentaje de cobertura verde de un metro cuadrado dentro de cada una de ellas. En la tabla 3 se muestra la descripción de la cobertura de acuerdo a las valoraciones.

Tabla 03: Evaluación de la cobertura

| Cobertura | |
|-------------------|--------------------|
| Valoración | Descripción |
| 3 | alta |
| 2 | media |
| 1 | baja |

Uniformidad

Este último parámetro cualitativo mide la homogeneidad en cuanto al color, cobertura, altura de hojas, densidad y otros factores que presentan las parcelas. La evaluación fue del tipo visual en todas las unidades experimentales y se realizó en tres fechas a lo largo de la investigación. La tabla 4 muestra la descripción de la uniformidad de acuerdo a las valoraciones.

Tabla 04: Evaluación de la uniformidad

| Uniformidad | |
|--------------------|--------------------|
| Valoración | Descripción |
| 3 | alta |
| 2 | media |
| 1 | baja |

3.7 DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN

El diseño del sistema de riego estuvo comprendido por el diseño agronómico e hidráulico, en el que para el primer caso, se utilizó la ETo crítica reportada entre los años 2000 y 2010 de la estación Alexander Von Humboldt y teniendo en cuenta la velocidad de aplicación de la boquilla 10 VAN y las áreas de los sectores de riego, se calculó el caudal preliminar de la bomba. Para el diseño hidráulico, se calcularon las pérdidas de carga por fricción en las tuberías matrices y de distribución para hallar sus diámetros y teniendo en cuenta la presión de operación del difusor, el caudal acumulado y las pérdidas de carga de los demás componentes de riego, se halló la ADT del sistema y posteriormente la elección de la electrobomba.

3.8 INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN

La instalación del sistema de riego por aspersión comprendió desde el movimiento de tierras de la zona experimental con fecha de 16 de mayo del 2016 hasta la colocación del cabezal de riego con fecha de 18 de agosto del 2016. Las actividades realizadas se describen a continuación desde el inicio hasta el final de la instalación del sistema de riego.

3.8.1 Movimiento de tierras

Se llevaron tierras provenientes de los jardines del exterior de la UNALM con el uso de volquetes hacia la zona experimental, luego se utilizó una retroexcavadora para retirar las capas de concreto que se encontraban a poca profundidad del suelo original de la investigación. Una vez retirada esas capas, se procedió a insertar el nuevo suelo a la zona experimental, donde se hizo una nivelación del terreno posteriormente.

3.8.2 Delimitación de la zona de trabajo

Se realizó el trazado mediante cal, de las unidades experimentales, tuberías matrices, de distribución y laterales, además de los dos arcos de riego que presenta el sistema.

3.8.3 Excavación de zanjas e instalación de tuberías

Se excavaron las zanjas correspondientes a las tuberías matrices con un ancho de 0.35 m y una profundidad de 0.70 m (Fig. 11), para el caso de tuberías de distribución y laterales, la profundidad de excavación fue de 0.5 m. Posteriormente, se instalaron las tuberías matrices y de distribución de PVC, de 2” y 1.5” de diámetro y clase 10. Las tuberías correspondientes a los laterales de riego fueron de 1” de diámetro y clase 10. Además se instalaron tees y codos, haciendo uso de pegamento para PVC.



Figura 11: Excavación de zanjas para tubería matriz

3.8.4 Instalación de arcos de riego y difusores

Se instalaron dos arcos de riego que constaron de 3 electroválvulas cada una, donde solo 3 de las 6 electroválvulas en total, pertenecieron a la presente investigación. Además se instalaron tomas de presión a la entrada de las electroválvulas y uniones universales para el fácil mantenimiento. Por otra parte, se instalaron los difusores de 1/2" en todas las parcelas experimentales y con las boquillas de la serie 10 HE-VAN.

3.8.5 Instalación del cabezal de riego

Se instaló una electrobomba centrifuga de 8.6 HP de potencia, una válvula check horizontal para el antiretorno del flujo, un sistema de alivio conformado por una válvula de bola, 2 codos de 90° y tubo de 2" de diámetro. Para el sistema de filtrado se instaló 2 filtros de anillos de 130 micrones en paralelo, además de uniones universales, codos y tees. También se instaló una toma de presión, una válvula tipo wafer bridado de 75 mm y una válvula de aire de simple efecto de 1". Adicionalmente a estos componentes del cabezal, se instalaron un tablero eléctrico, un programador de riego de 6 estaciones y un contador volumétrico.

3.9 SIEMBRA DEL CÉSPED

La siembra del césped comenzó el 04 de junio del 2016, en el que se utilizaron tres especies de césped, el americano que fue otorgado por el programa de ornamentales de la facultad de agronomía, el bermuda proveniente de las canchas de fútbol, administrados por la oficina de extensión universitaria y proyección social de la UNALM y por último, el paspalum, que se compró de una empresa de venta de césped ubicado en el distrito de Lurín. En los céspedes bermuda y americano, solo se emplearon 10 m² de champas de cada especie, para cubrir un área de 65.7 m² cada uno. Para el caso del césped paspalum, se emplearon 20 m² de champas para cubrir 65.7 m². Cada champa de césped, se cortó en pedazos pequeños de 5 cm de largo y 5 cm de ancho, para luego ser sembrados y regados con una lámina muy espesa. Para el caso del paspalum, los pedazos pequeños eran de 15 cm de largo y 15 cm de ancho.

En la Fig. 12 se muestra las parcelas sembradas con las tres especies de césped.



Figura 12: Parcelas sembradas con las tres especies de césped

3.10 RIEGO

El riego de las parcelas experimentales durante los meses de crecimiento del césped hasta alcanzar el 100% de cobertura total, se efectuó principalmente mediante el uso de difusores en el que la lámina de riego aplicada ha sido la misma para todos los tratamientos, respetando la ETo acumulada en el momento del riego. En los meses de investigación, desde enero hasta abril del año 2017, se regaron las parcelas solo con difusores y haciendo uso de la diferenciación de los tratamientos. El riego de las parcelas experimentales se efectuó entre las 5 y 7 pm.

3.11 CONTROL DE MALAS HIERBAS

El control de las malas hierbas se realizó una vez por semana en los primeros cuatro meses de crecimiento, posteriormente, el control de malas hierbas fue quincenal (Fig. 13). Cabe recalcar que hubo un mayor crecimiento de malas hierbas en el césped bermuda debido a su lento desarrollo superficial. En contraste con el césped americano, cuyo control de malas hierbas ha sido mucho menor en comparación al césped bermuda y paspalum.



Figura 13: Control de malas hierbas

3.12 PODA

El corte de las parcelas experimentales se inició solo con los céspedes americano y bermuda a partir del mes de setiembre del 2016, mediante el uso de motoguadaña. En los meses de enero hasta abril del 2017, solo se utilizó para el corte del césped, la podadora manual de cuchillas helicoidales, con una frecuencia de 15 días.

3.13 CONTROL DE LA UNIFORMIDAD DEL RIEGO

Se realizaron cuatro mediciones de uniformidad de riego durante la investigación, en el que se usó el método del 1/4 inferior, para controlar si la lámina de riego aplicada era igual o semejante a la lámina teórica. En el anexo 6 se presentan los resultados de las mediciones de la uniformidad de riego y en el anexo 7, las curvas de velocidad del viento. Para ambos casos los resultados corresponden al mes de abril.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ANÁLISIS DE AGUA

Se obtuvo que el pH fue de 7.09 lo que indica un agua neutra. La conductividad eléctrica fue de 0.55 dS/m, perteneciendo a la clasificación C2 (salinidad moderada). La relación de adsorción del sodio (SAR) fue de 0.79, clasificándose como agua S1 (agua baja en sodio). Con respecto al Boro se obtuvo 0.14 ppm, lo que no representa un peligro para el césped. Según Thomas y Guerin (1985), estos tres últimos resultados de la calidad del agua de riego no ocasionan daños a los céspedes investigados.

En el anexo 2 se muestran los resultados de laboratorio respecto a la calidad del agua.

4.2 ANÁLISIS DE SUELO

4.2.1 Características físico-químicas

Las conductividades eléctricas de los sectores 1.0 ETo, 0.75 ETo y 0.5 ETo, obtenidas por el método de suspensión del suelo en agua (relación 1:1), fueron respectivamente 1.65 dS/m, 0.71 dS/m y 1.16 dS/m. Sin embargo, estos valores se multiplicaron por 4 (textura franco-arenosa) para estimar la salinidad de la pasta saturada en las tres muestras y poder compararlos con las tolerancias de salinidad de las tres especies de césped (Duncan *et al.* 2009).

Dando como resultados los siguientes valores: 6.6 dS/m, 2.84 dS/m y 4.64 dS/m para los sectores 1.0 ETo, 0.75 ETo y 0.5 ETo respectivamente. Por lo que se demuestra que no hubo problemas de salinidad en las tres especies de césped, debido a que los resultados que se obtuvieron fueron menores a sus tolerancias.

Con respecto al pH del suelo se obtuvieron para los sectores 1.0 ETo, 0.75 ETo y 0.5 ETo, los valores 7.84, 7.98 y 7.79 respectivamente, indicando que son suelos ligeramente alcalinos. Estos resultados de pH obtenidos no ocasionaron problemas a las especies de césped, porque estos resultados están dentro de los rangos permisibles de pH de cada especie.

La tabla 5 muestra los resultados del análisis mecánico para los tres sectores, indicando que son suelos de textura franco arenosa.

Tabla 05: Textura del suelo con muestras a una profundidad de 15 cm

| Análisis Mecánico | | | | |
|--------------------------|----------------|---------------|------------------|----------------|
| Sector | Arena % | Limo % | Arcilla % | Textura |
| 1.0 Eto | 66 | 28 | 6 | Franco arenoso |
| 0.75 Eto | 56 | 30 | 14 | Franco arenoso |
| 0.5 Eto | 60 | 32 | 8 | Franco arenoso |

Fuente: Laboratorio de Agua, Suelo, Medio ambiente y Fertirriego de la UNALM

Con respecto a la materia orgánica se obtuvieron valores bajos (menos del 1%) en los tres sectores. El carbonato de calcio disponible también resultó bajo (menos del 1%). En cuanto a los nutrientes disponibles Fósforo (P) y Potasio (K), para el primer caso se obtuvo un alto contenido (14.85 ppm) en el sector 1.0 ETo y un contenido medio (7 – 14 ppm) en los sectores 0.75 ETo y 0.5 ETo. Para el segundo caso se obtuvo un contenido medio (100 – 240 ppm) para los tres sectores. Estos resultados de nutrientes disponibles aseguran un desarrollo saludable del césped.

En el anexo 1 se muestran los resultados de laboratorio respecto a la calidad del suelo.

4.2.2 Capacidad de campo y punto de marchitez

Se determinó la capacidad de campo por medio de la saturación de un metro cuadrado de suelo desnudo (Fig. 14), obteniéndose un valor del 20% de humedad volumétrica y se asumió un valor del 10% para el punto de marchitez. La tabla 6 presenta los datos para la obtención de las humedades volumétricas de las muestras de suelo a través del tiempo y en la Fig. 15 se muestra gráficamente la disminución de la humedad del suelo, haciéndose constante aproximadamente en el valor del 20%.



Figura 14: Saturación de un metro cuadrado de suelo desnudo

Tabla 06: Determinación de la capacidad de campo

| Fecha | Muestra | Peso húmedo (g) | Peso seco (g) | Volumen cilindro (cm ³) | Densidad aparente (g/cm ³) | Humedad gravimétrica (%) | Humedad volumétrica (%) |
|------------|---------|-----------------|---------------|-------------------------------------|--|--------------------------|-------------------------|
| 26/01/2017 | 1 | 175.1 | 144.8 | 98.18 | 1.47 | 20.93 | 30.86 |
| 27/01/2017 | 2 | 184.7 | 155.9 | 98.18 | 1.59 | 18.47 | 29.33 |
| 31/01/2017 | 3 | 189.5 | 170.8 | 98.18 | 1.74 | 10.95 | 19.05 |
| 06/02/2017 | 4 | 170 | 149.6 | 98.18 | 1.52 | 13.64 | 20.78 |
| 08/02/2017 | 5 | 149.5 | 133.7 | 98.18 | 1.36 | 11.82 | 16.09 |

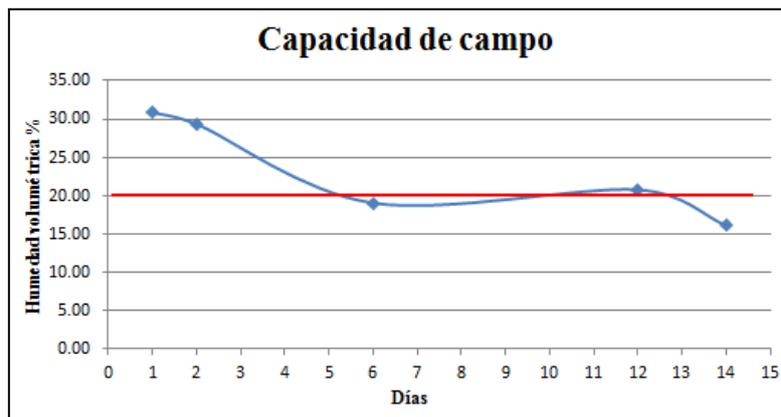


Figura 15: Variación de la humedad volumétrica a través del tiempo

4.3 CLIMA

Los principales datos meteorológicos fueron obtenidos de la estación automática Davis Vantage Pro 2 para los meses de enero a abril, de donde se calcularon los promedios mensuales para estos datos. Durante el tiempo de investigación, los meses de mayor temperatura fueron febrero y marzo con 29.4 °C y 29 °C respectivamente, mientras que el mes con menor temperatura fue abril con 20.2 °C. La velocidad del viento promedio para los meses de enero, febrero y abril fue de 1.5 m/s y para marzo fue de 1.6 m/s. En cuanto a la humedad relativa, el mayor valor obtenido fue en el mes de abril con 82.1% y al mismo tiempo fue el mes con menor radiación solar igual a 144.5 W/m² y 186.4 W/m² para marzo que fue el de mayor radiación solar. Las precipitaciones en los cuatro meses fueron despreciables y la mayor evapotranspiración de referencia fue de 3.8 mm/día para los meses de febrero y marzo.

En la tabla 7 se presentan los promedios de los datos meteorológicos.

Tabla 07: Datos meteorológicos durante la investigación

| Mes | Tmáx (°C) | Tmín (°C) | Tprom (°C) | V (m/s) | HR (%) | Rs (W/m ²) | Eto (mm/día) |
|---------|-----------|-----------|------------|---------|--------|------------------------|--------------|
| Enero | 27.9 | 22.1 | 24.5 | 1.5 | 78.6 | 148.1 | 3.1 |
| Febrero | 29.4 | 22.7 | 25.5 | 1.5 | 74.9 | 182.6 | 3.8 |
| Marzo | 29.0 | 22.8 | 25.5 | 1.6 | 76.7 | 186.4 | 3.8 |
| Abril | 26.0 | 20.2 | 22.6 | 1.5 | 82.1 | 144.5 | 2.8 |

Tmáx: Temperatura máxima del aire, Tmín: Temperatura mínima del aire, Tprom: Temperatura promedio del aire, V: Velocidad del viento, HR: Humedad relativa, Rs: Radiación solar, Eto: Evapotranspiración de referencia.

4.4 EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA (ETO)

La Fig. 16 muestra la variación temporal de la evapotranspiración de referencia diaria en los meses de enero hasta abril, en donde se registraron mayores valores en los meses de febrero y marzo, llegando a alcanzar un valor máximo de 4.71 mm/día en febrero y 4.67 mm/día en marzo. La evapotranspiración de referencia diaria comienza a decrecer en el mes de abril, alcanzando un valor mínimo de 0.58 mm/día. Según la tabla 7, las evapotranspiraciones de referencia promedio para los meses de enero, febrero, marzo y abril fueron de 3.1, 3.8, 3.8 y 2.8 mm/día respectivamente.

Los datos de evapotranspiración de referencia fueron registrados de forma horaria de la estación meteorológica automática Davis vantage pro 2, para posteriormente calcular la ETo diaria y hacer la gráfica de variación temporal en excel tal como aparece en la Fig. 16.

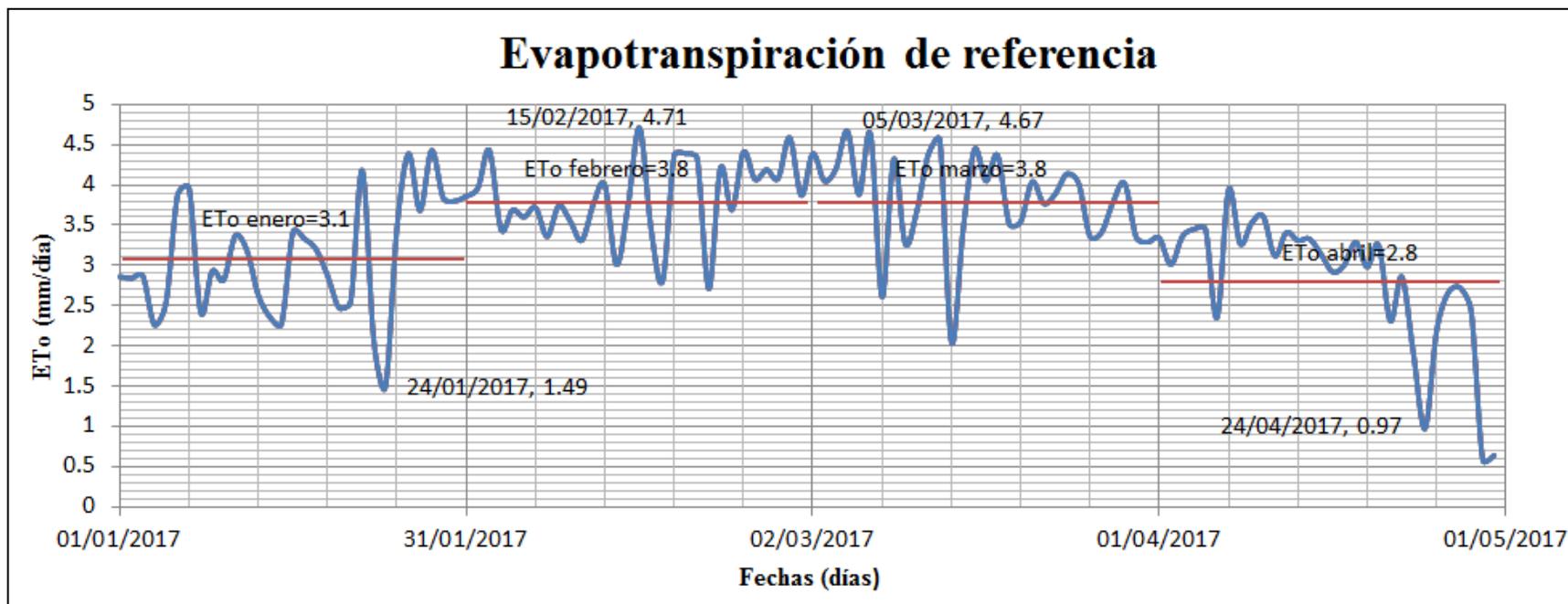


Figura 16: Variación temporal de la evapotranspiración de referencia

4.5 DISEÑO E INSTALACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO

En el diseño del sistema de riego se agruparon las parcelas que recibieron la misma lámina de riego en un sector, controlado por una electroválvula. Se utilizaron difusores de 1/2" con boquillas de la serie 10 HE-VAN (Fig. 17), de precipitación horaria igual a 44 mm/h a una presión de 2.1 bar y una uniformidad de riego en promedio del 70% y en la Fig. 18 se muestra el cabezal de riego instalado. Las tablas 8 y 9 presentan los cálculos de la ADT para los dos bloques del sistema de riego, eligiéndose la mayor ADT igual a 36.70 m.c.a. y un caudal de 7.31 lps. Con estos datos se eligió una electrobomba centrífuga de potencia igual a 8.6 HP, cuyas características técnicas se presenta en la tabla 10. Posteriormente todos los componentes del sistema de riego se muestran de forma esquemática y detallada en las Figs. 19 y 20 y los cálculos del diseño agronómico e hidráulico se presentan en el anexo 5.



Figura 17: Instalación de difusores Rainbird serie 1800



Figura 18: Instalación de cabezal de riego

Tabla 08: Cálculo del ADT en sectores S1, S2 y S3 (bloque I)

| PARÁMETROS | VALOR (m.c.a.) |
|--|---------------------------|
| PRESIÓN DE TRABAJO | 21.00 |
| ALTURA DE SUCCIÓN | 4.00 |
| PÉRDIDAS DE PRESIÓN EN ARCO DE RIEGO | 2.00 |
| PÉRDIDAS DE PRESIÓN EN MATRIZ | 1.78 |
| PÉRDIDAS DE PRESIÓN EN ACCESORIOS (10% Matriz) | 0.18 |
| PÉRDIDAS DE PRESIÓN EN CABEZAL DE FILTRADO | 6.00 |
| SEGURIDAD (5%) | 1.75 |
| DESNIVEL TOPOGRÁFICO | 0.00 |
| TOTAL | 36.70 |

Tabla 09: Cálculo del ADT en sectores S4, S5 y S6 (bloque II)

| PARÁMETROS | VALOR (m.c.a.) |
|--|---------------------------|
| PRESIÓN DE TRABAJO | 21.00 |
| ALTURA DE SUCCIÓN | 4.00 |
| PÉRDIDAS DE PRESIÓN EN ARCO DE RIEGO | 2.00 |
| PÉRDIDAS DE PRESIÓN EN MATRIZ | 1.53 |
| PÉRDIDAS DE PRESIÓN EN ACCESORIOS (10% Matriz) | 0.15 |
| PÉRDIDAS DE PRESIÓN EN CABEZAL DE FILTRADO | 6.00 |
| SEGURIDAD (5%) | 1.73 |
| DESNIVEL TOPOGRÁFICO | 0.00 |
| TOTAL | 36.42 |

Tabla 10: Elección de la electrobomba centrífuga

| ELECTROBOMBA SELECCIONADA | | |
|----------------------------------|-----------------------|-------|
| REQUERIMIENTOS | | |
| ADT | 36.7 | m.c.a |
| Caudal | 7.31 | lps |
| ELECTROBOMBA CENTRÍFUGA | | |
| Marca | HIDROSTAL | |
| Modelo | B 1 1/2"x 2 1/2" 8.6T | |
| Potencia del motor | 8.6 | HP |
| Diámetro de succión | 2.5 | pulg |
| Diámetro de descarga | 1.5 | pulg |

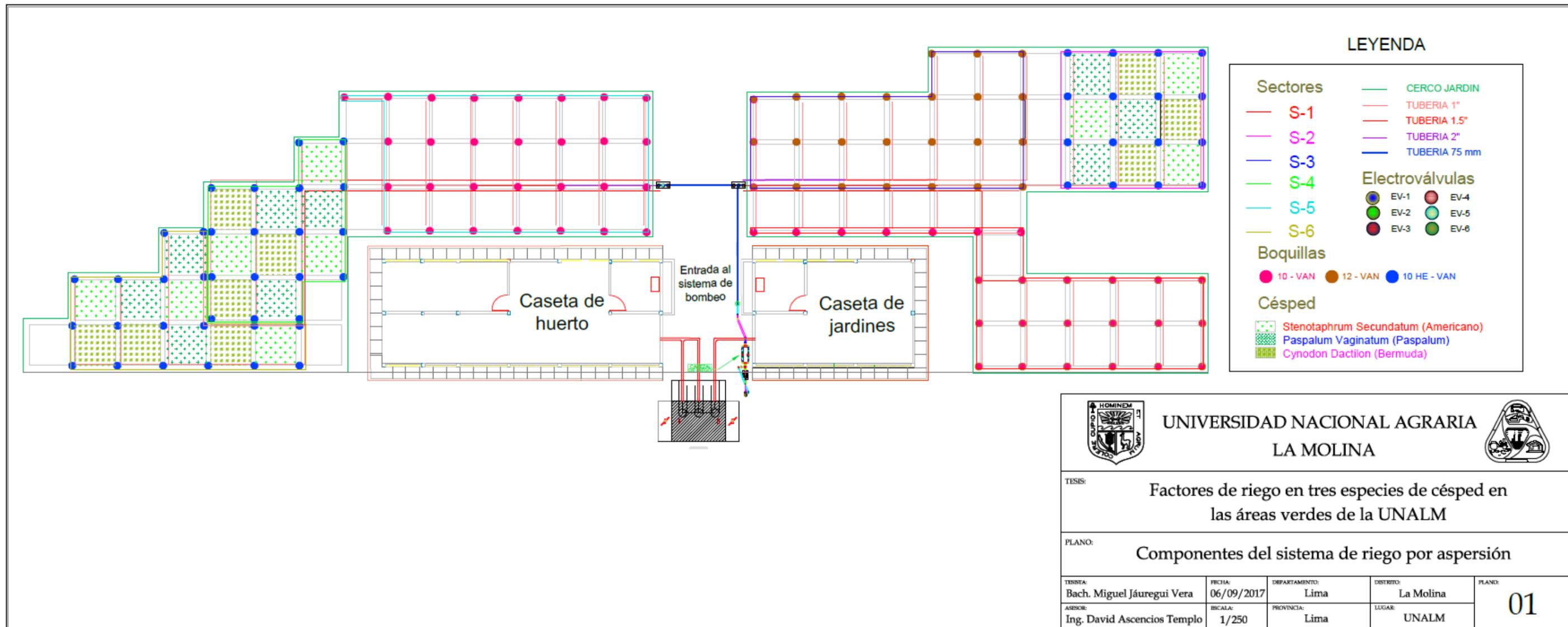


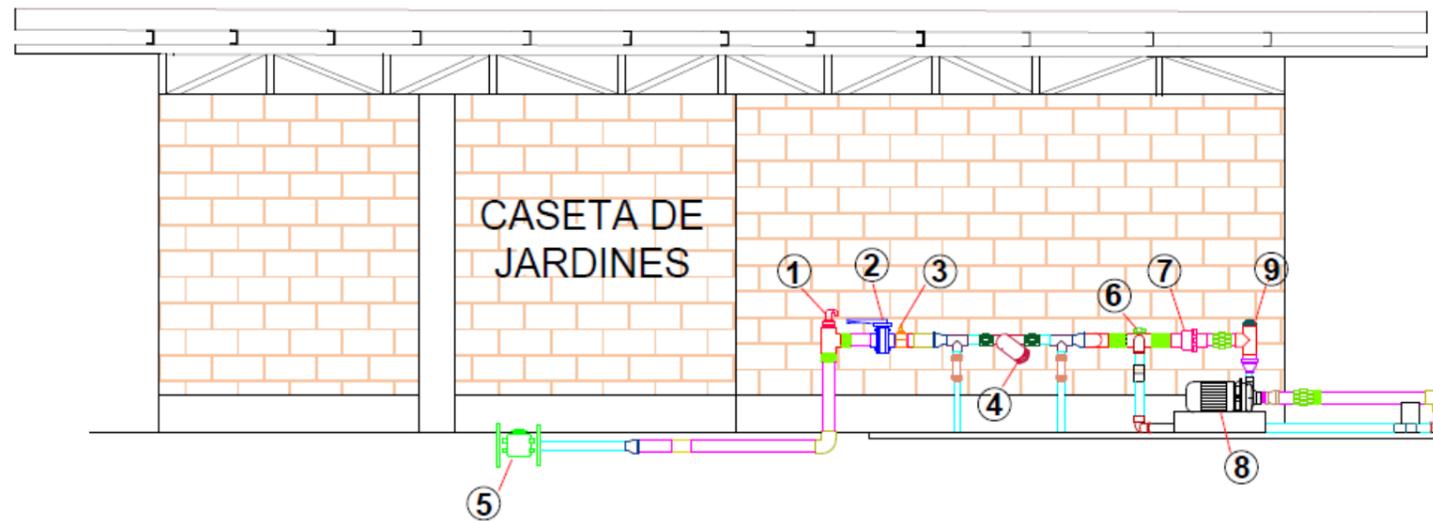
Figura 19: Distribución de tuberías en el campo experimental

CABEZAL DE RIEGO

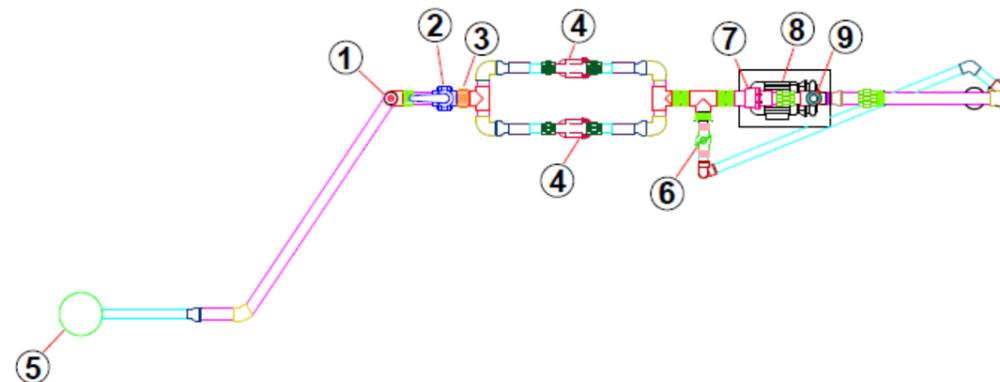
LEYENDA

- ① Válvula de aire
 - ② Válvula mariposa
 - ③ Toma de presión
 - ④ Filtro de anillos de 2"
 - ⑤ Caudalímetro
 - ⑥ Válvula esférica de 2"
 - ⑦ Válvula check
 - ⑧ Electrobomba centrífuga 8.6 HP
 - ⑨ Bushing reducción 3"x2" - 2"x1" con tapón de 1"
- Tubería de PVC 2"
 - Tubería de PVC 3"
 - Codo PVC 2" x 90°
 - Codo PVC 3" x 90°
 - Codo PVC 2" x 45°
 - Reducción PVC 3" x 2"
 - Reducción PVC 3" x 2 1/2"
 - Reducción PVC 3" x 1 1/2"
 - Tee PVC 2"
 - Tee PVC 3"
 - Unión flexible
 - Unión universal
 - Unión de 3"
 - Unión de 2"

VISTA FRONTAL



VISTA DE PLANTA



| | | | | | |
|---|----------------------|---|----------------------|----|--|
| | | UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA | | | |
| TESIS: Factores de riego en tres especies de césped en las áreas verdes de la UNALM | | | | | |
| PLANO: Cabezal de riego | | | | | |
| TESIS: Bach. Miguel Jáuregui Vera | FECHA: 06/09/2017 | DEPARTAMENTO: Lima | DISEÑO: La Molina | 02 | |
| ASesor: Ing. David Ascencios Tempo | ESCALA: 1/100 | PROVINCIA: Lima | LUGAR: UNALM | | |

Figura 20: Componentes del cabezal de riego

4.6 LÁMINAS DE RIEGO

Las láminas de riego se calcularon en base a los valores de evapotranspiración de referencia diaria de la estación automática meteorológica Davis vantage pro 2. Donde la frecuencia de riego fue de 3 y 4 días, acumulándose la ETo de esos días y los valores resultantes que se obtuvieron fueron iguales a las láminas de riego aplicadas para el tratamiento 1.0 ETo (Fig. 21). Para el cálculo de las láminas de riego de los tratamientos 0.75 ETo y 0.5 ETo, se tuvieron que multiplicar los factores 0.75 y 0.5 con el valor de la lámina de riego del tratamiento 1.0 ETo.



Figura 21: Riego de parcelas del tratamiento 1.0 ETo

En la tabla 11 se presentan las láminas acumuladas aplicadas para los cuatro meses de investigación, en donde resultaron ser mayores a las láminas acumuladas teóricas. Esto se debió porque la velocidad de aplicación obtenida de las evaluaciones de uniformidad de riego fue de 48.8 mm/h (Fig. 22), siendo ligeramente mayor a la velocidad de aplicación teórica de 44 mm/h, además de que la distribución de uniformidad promedio del sistema de riego fue de 62.5%. Estas diferencias en la velocidad de aplicación y en la distribución de uniformidad se debieron por efecto del viento.

En la tabla 12 se presentan las láminas acumuladas teóricas que se calcularon en base a la evapotranspiración de referencia.



Figura 22: Evaluación de la uniformidad de riego

Tabla 11: Láminas acumuladas aplicadas de enero a abril

| Lámina acumulada aplicada (mm) | | | | |
|---------------------------------------|-------|---------|-------|-------|
| Tratamiento | Enero | Febrero | Marzo | Abril |
| 1.0 Eto | 98.0 | 117.2 | 135.2 | 94.1 |
| 0.75 Eto | 73.4 | 87.8 | 101.7 | 70.8 |
| 0.5 Eto | 49.0 | 58.6 | 67.7 | 47.3 |

Tabla 12: Láminas acumuladas teóricas de enero a abril

| Lámina acumulada teórica (mm) | | | | |
|--------------------------------------|-------|---------|-------|-------|
| Tratamiento | Enero | Febrero | Marzo | Abril |
| 1.0 Eto | 88.3 | 105.6 | 121.9 | 84.9 |
| 0.75 Eto | 66.3 | 79.2 | 91.6 | 63.8 |
| 0.5 Eto | 44.2 | 52.8 | 61.0 | 42.6 |

4.7 HUMEDAD DEL SUELO

Las curvas de humedad del suelo se obtuvieron mediante el medidor de humedad portátil TDR 300 (Fig. 23), previamente a una calibración del equipo, cuya ecuación se presenta en la Fig. 24.



Figura 23: Medición de humedad del suelo con el TDR 300

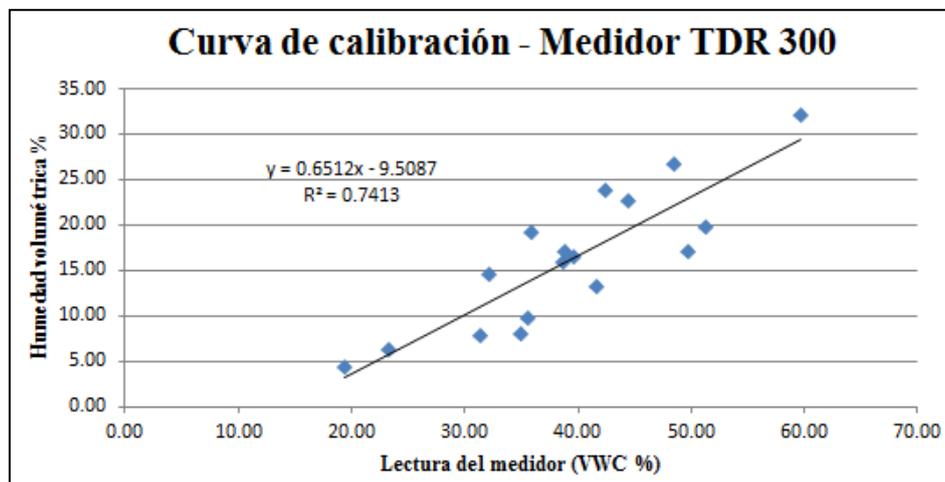


Figura 24: Curva de calibración del medidor de humedad del suelo TDR 300

Las Figs. 25, 26 y 27 muestran el contenido de humedad del suelo para los céspedes T1 (americano), T2 (paspalum) y T3 (bermuda) respectivamente, en donde el eje X representa el transcurso de los días y el eje Y, la humedad volumétrica del suelo en porcentajes para los tres factores de riego. También en las tres figuras se observan las láminas de riego aplicadas en forma de barras correspondientes al factor 1.0 ETo.

En las Figs. 26 y 27, correspondientes a los céspedes T2 (paspalum) y T3 (bermuda) se puede observar, que las curvas de humedad pertenecientes al factor de riego 0.75 ETo se encuentran por encima de las curvas de humedad del factor 1.0 ETo, lo que resulta contradictorio, puesto que a mayor lámina de riego, mayor debe ser la humedad del suelo, sin embargo, esta situación se debió probablemente a un mayor porcentaje de arena (ver tabla 5) en los suelos correspondientes al factor 1.0 ETo, provocando una menor retención del agua en el perfil del suelo.

Por otro lado, en la Fig. 25 las humedades del suelo pertenecientes a los tres factores de riego del césped T1 (americano) son muy semejantes y están dentro de los límites de capacidad de campo y punto de marchitez, reflejándose en el buen aspecto del césped al final de la investigación.

Finalmente en los céspedes T2 (paspalum) y T3 (bermuda), las curvas de humedad de los factores de riego 1.0 ETo y 0.75 ETo están dentro de los límites de capacidad de campo y punto de marchitez, propiciando un buen desarrollo del césped y una calidad visual aceptable. Por el contrario, las parcelas correspondientes al factor de riego 0.5 ETo presentaron daños por sequía, donde se pudo observar manchas secas con patrones irregulares. Por lo tanto, la aparición de estas manchas secas en las parcelas pertenecientes al factor de riego 0.5 ETo, corroboran con los estudios de Martínez *et al.* (2009) donde se menciona que durante una sequía severa, muchas especies de céspedes entran en dormancia, en el que los tejidos se ponen quebradizos y las hojas presentan estrías color café.

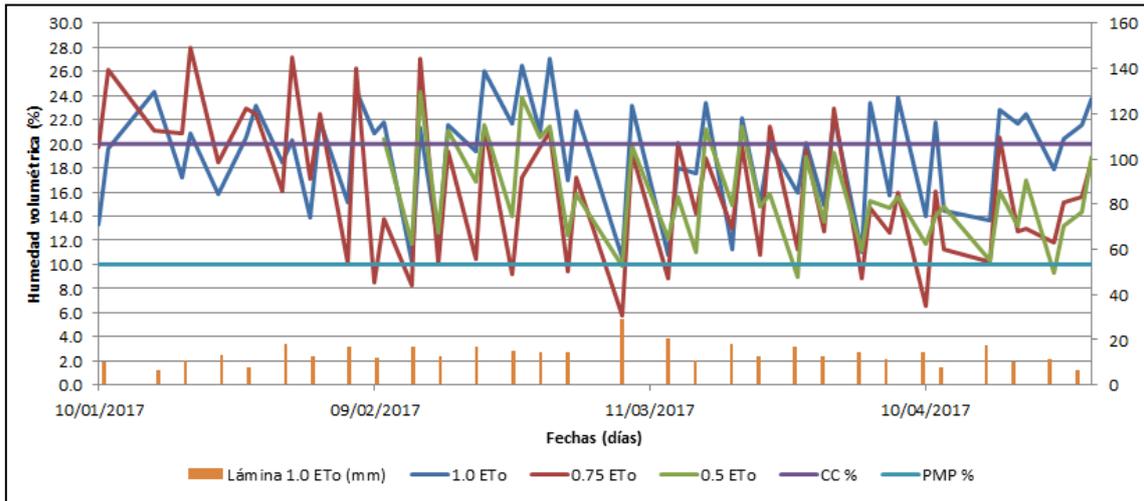


Figura 25: Contenido de humedad del suelo en el césped T1 (americano)

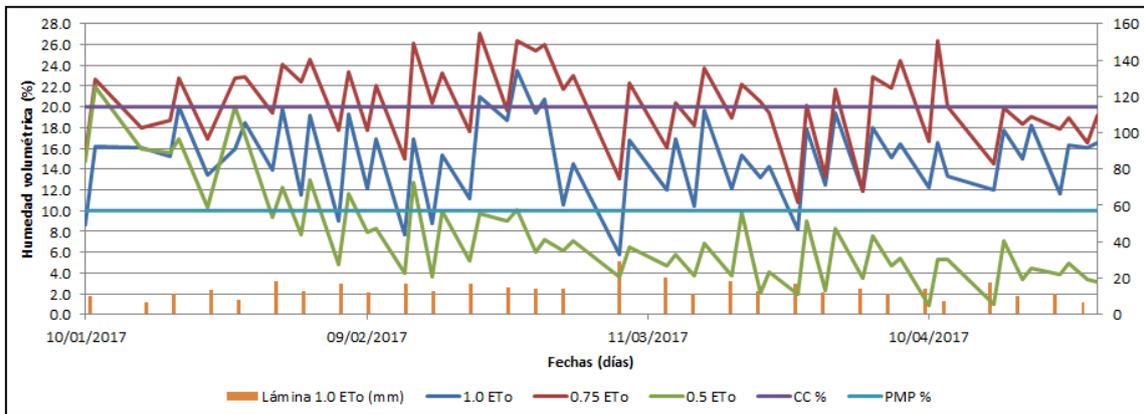


Figura 26: Contenido de humedad del suelo en el césped T2 (paspalum)

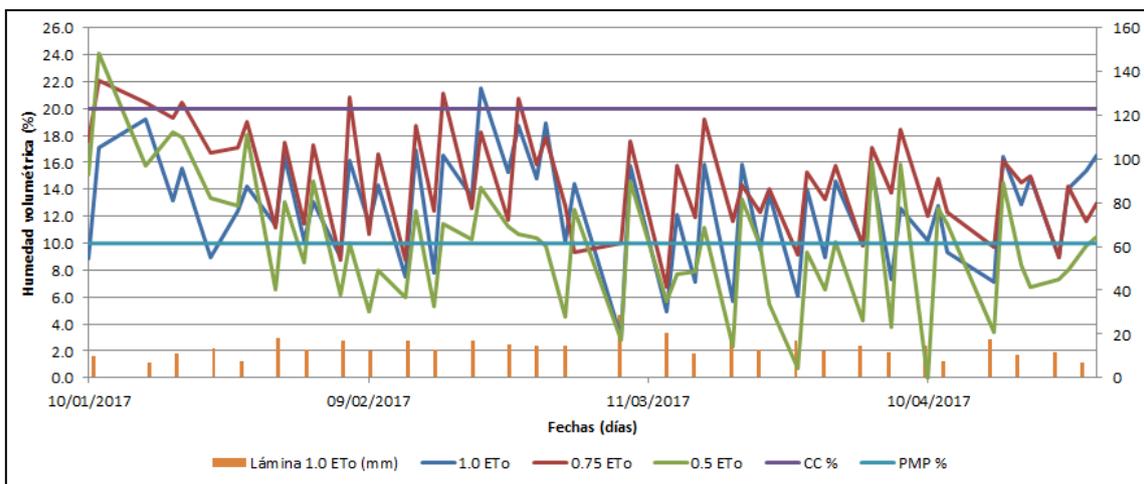


Figura 27: Contenido de humedad del suelo en el césped T3 (bermuda)

4.8 PESO FRESCO DE HOJAS

Se realizaron siete podas de césped de forma quincenal a lo largo de toda la investigación (Fig. 28), siendo la primera con fecha 17/01/17 y la última el 18/04/17. La tabla 13 presenta los pesos frescos obtenidos de las siete podas realizadas y en el anexo 4 se muestra el análisis de varianza de la variable peso fresco de hojas de todas las podas para las tres especies de césped.



Figura 28: Poda de parcelas experimentales

Tabla 13: Pesos frescos de las siete podas en gramos

| Tratamientos | Fechas | | | | | | |
|----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | 1° poda (17/01/17) | 2° poda (31/01/17) | 3° poda (15/02/17) | 4° poda (01/03/17) | 5° poda (16/03/17) | 6° poda (03/04/17) | 7° poda (18/04/17) |
| T1-R1-1.0 Eto | 6.7 | 44.8 | 99.4 | 48 | 58.1 | 12.7 | 65.2 |
| T1-R2-1.0 Eto | 185.2 | 183.5 | 144.1 | 93.8 | 95.5 | 67.5 | 82.6 |
| T1-R3-1.0 Eto | 177.8 | 130 | 193.6 | 101.6 | 71.5 | 71.7 | 131.5 |
| T1-R1-0.75 Eto | 7.5 | 5.1 | 1.5 | 4.3 | 3.5 | 17.6 | 15.3 |
| T1-R2-0.75 Eto | 211.2 | 205.1 | 113.8 | 40.6 | 67.1 | 43.1 | 89.6 |
| T1-R3-0.75 Eto | 87.8 | 61 | 34.3 | 17 | 7.6 | 7.1 | 11.2 |
| T1-R1-0.5 Eto | 238.7 | 192.5 | 77.9 | 24.7 | 62.1 | 28.4 | 21.6 |
| T1-R2-0.5 Eto | 293.9 | 194.4 | 131 | 34.8 | 22.33 | 11.5 | 18.8 |
| T1-R3-0.5 Eto | 149.9 | 80.9 | 32.1 | 5.3 | 25.72 | 25.2 | 14.7 |
| T2-R1-1.0 Eto | 5.8 | 5.7 | 11.8 | 8.5 | 8.1 | 10.4 | 19.6 |
| T2-R2-1.0 Eto | 2.7 | 2.9 | 6.8 | 1.7 | 1.4 | 3.8 | 6.7 |
| T2-R3-1.0 Eto | 16 | 6.2 | 21.4 | 7 | 7.5 | 7.3 | 8.5 |
| T2-R1-0.75 Eto | 7.4 | 17 | 3.7 | 3.2 | 6.2 | 15.5 | 6.1 |
| T2-R2-0.75 Eto | 1.6 | 2.9 | 1.7 | 6.2 | 1.76 | 7.4 | 3.8 |
| T2-R3-0.75 Eto | 12.6 | 9.6 | 3.2 | 3.4 | 2.84 | 6.7 | 4.3 |
| T2-R1-0.5 Eto | 72.6 | 52.4 | 26.8 | 5.8 | 20.44 | 25.1 | 32.2 |
| T2-R2-0.5 Eto | 17.4 | 17.3 | 8.8 | 1.7 | 5.12 | 5.2 | 8.3 |
| T2-R3-0.5 Eto | 114.7 | 53.6 | 10.9 | 5.5 | 13.32 | 12.1 | 4 |
| T3-R1-1.0 Eto | 63.3 | 45.7 | 89.5 | 36.7 | 70.7 | 36.3 | 65.2 |
| T3-R2-1.0 Eto | 32.6 | 41.7 | 44.1 | 30 | 42.7 | 44.5 | 74.7 |
| T3-R3-1.0 Eto | 68.5 | 38.2 | 53.6 | 43.8 | 68.9 | 83.7 | 89 |
| T3-R1-0.75 Eto | 53.5 | 47 | 20 | 23.8 | 46.4 | 46 | 52.6 |
| T3-R2-0.75 Eto | 99.5 | 48.7 | 38.2 | 24.4 | 47.15 | 57.3 | 59.5 |
| T3-R3-0.75 Eto | 74.4 | 71.5 | 53.4 | 26.8 | 43.94 | 19.6 | 19.7 |
| T3-R1-0.5 Eto | 59.7 | 49 | 45.9 | 11.6 | 50.88 | 43.8 | 31.8 |
| T3-R2-0.5 Eto | 91.4 | 25.8 | 12.3 | 13.1 | 19.73 | 23.2 | 14.5 |
| T3-R3-0.5 Eto | 51 | 6.2 | 20.9 | 10.3 | 19.59 | 20.6 | 42.7 |

En la tabla 14 se presentan los resultados del análisis de las medias del total de tratamientos, de donde se puede discutir que el factor de riego 1.0 ETo para las especies de césped americano y bermuda, propició una mayor producción de hojas, con excepción de las dos primeras podas. Sin embargo, en algunos casos no hubo diferencias significativas entre los factores de riego. Este mayor crecimiento de hojas se debió probablemente a las altas temperaturas del verano y una lámina de riego en exceso.

El factor de riego 0.75 ETo para las especies de césped americano y bermuda, produjeron mayor peso fresco en comparación con el factor de riego 0.5 ETo, existiendo diferencias significativas entre dichos factores para el césped bermuda y para el césped americano no hubo diferencias significativas. En el caso del césped paspalum, no se encontraron diferencias significativas entre los tres factores de riego.

Por otra parte, estos resultados de peso fresco de hojas están en discordancia con los resultados obtenidos de Cifuentes (2016), en el que no se obtuvieron diferencias significativas entre cuatro tratamientos de riego (1.0 ETo, 0.8 ETo, 0.6 ETo y 0.4 ETo) para el césped americano durante la época fría (abril – julio), demostrándose así, que en época de verano, los factores de riego influyen en el crecimiento foliar.

Tabla 14: Efecto de los tratamientos en el peso fresco de hojas

| Tratamientos | Peso fresco de hojas de la 1° poda (E.E. = 43.94) | Peso fresco de hojas de la 2° poda (E.E. = 54.83) | Peso fresco de hojas de la 3° poda (E.E. = 30.09) | Peso fresco de hojas de la 4° poda (E.E. = 9.10) | Peso fresco de hojas de la 5° poda (E.E. = 18.55) | Peso fresco de hojas de la 6° poda (E.E. = 8.44) | Peso fresco de hojas de la 7° poda (E.E. = 14.22) |
|---------------|---|---|---|--|---|--|---|
| T1 - 1.0 ETo | 181.5 A | 156.75 A | 168.85 A | 97.7 B | 83.5 A | 69.6 B | 107.05 B |
| T1 - 0.75 ETo | 149.5 A | 133.05 A | 74.05 A | 28.8 A | 37.35 A | 30.35 A | 13.25 A |
| T1 - 0.5 ETo | 194.3 A | 136.7 A | 55 A | 15 A | 24.03 A | 18.35 A | 16.75 A |

| Tratamientos | Peso fresco de hojas de la 1° poda (E.E. = 7.81) | Peso fresco de hojas de la 2° poda (E.E. = 8.76) | Peso fresco de hojas de la 3° poda (E.E. = 11.52) | Peso fresco de hojas de la 4° poda (E.E. = 2.20) | Peso fresco de hojas de la 5° poda (E.E. = 0.56) | Peso fresco de hojas de la 6° poda (E.E. = 11.80) | Peso fresco de hojas de la 7° poda (E.E. = 6.78) |
|---------------|--|--|---|--|--|---|--|
| T3 - 1.0 ETo | 65.9 A | 43.70 AB | 71.55 B | 40.25 C | 69.80 C | 64.10 A | 81.85 B |
| T3 - 0.75 ETo | 86.95 A | 60.10 B | 45.80 AB | 25.60 B | 46.78 B | 51.65 A | 56.05 B |
| T3 - 0.5 ETo | 55.35 A | 16 A | 16.6 A | 10.95 A | 19.66 A | 21.9 A | 23.15 A |

| Tratamientos | Peso fresco de hojas de la 1° poda (E.E. = 16.27) | Peso fresco de hojas de la 2° poda (E.E. = 10.36) | Peso fresco de hojas de la 3° poda (E.E. = 2.84) | Peso fresco de hojas de la 4° poda (E.E. = 1.43) | Peso fresco de hojas de la 5° poda (E.E. = 2.56) | Peso fresco de hojas de la 6° poda (E.E. = 3.20) | Peso fresco de hojas de la 7° poda (E.E. = 3.48) |
|---------------|---|---|--|--|--|--|--|
| T2 - 1.0 ETo | 10.9 A | 5.95 A | 16.6 B | 7.75 A | 7.80 A | 8.85 A | 14.05 A |
| T2 - 0.75 ETo | 10 A | 13.3 A | 3.45 A | 4.80 A | 4.52 A | 11.45 A | 5.20 A |
| T2 - 0.5 ETo | 45 A | 34.85 A | 9.85 AB | 3.60 A | 9.22 A | 8.65 A | 6.15 A |

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

4.9 PESO SECO DE HOJAS

La tabla 15 presenta los pesos secos obtenidos de las siete podas realizadas, las cuales se utilizaron para determinar la humedad de hojas y la eficiencia en el uso del agua.

Tabla 15: Pesos secos de las siete podas en gramos

| Tratamientos | Fechas | | | | | | |
|----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | 1° poda (17/01/17) | 2° poda (31/01/17) | 3° poda (15/02/17) | 4° poda (01/03/17) | 5° poda (16/03/17) | 6° poda (03/04/17) | 7° poda (18/04/17) |
| T1-R1-1.0 Eto | 2.7 | 17.7 | 40.2 | 28.1 | 19.4 | 6.6 | 20.8 |
| T1-R2-1.0 Eto | 41.4 | 56.7 | 51.1 | 37.2 | 25.4 | 27.3 | 28.4 |
| T1-R3-1.0 Eto | 37.4 | 39.9 | 55 | 39.6 | 20.4 | 26.4 | 47.8 |
| T1-R1-0.75 Eto | 2.5 | 2.7 | 0.3 | 3 | 1.4 | 7.1 | 7.2 |
| T1-R2-0.75 Eto | 47 | 60.9 | 44.3 | 21.7 | 20.4 | 16.7 | 30 |
| T1-R3-0.75 Eto | 20.5 | 19.9 | 15.2 | 8.1 | 4.4 | 3.7 | 5.1 |
| T1-R1-0.5 Eto | 53.4 | 54 | 26.7 | 13.8 | 21.4 | 12.3 | 9 |
| T1-R2-0.5 Eto | 65.1 | 56.9 | 44 | 17.6 | 9.4 | 5.1 | 8.7 |
| T1-R3-0.5 Eto | 36.2 | 22.9 | 17.2 | 3.5 | 14.4 | 10.6 | 7.6 |
| T2-R1-1.0 Eto | 2.2 | 3.3 | 4.2 | 6.5 | 4.4 | 5.9 | 9.5 |
| T2-R2-1.0 Eto | 0.8 | 1.8 | 2 | 1 | 0.4 | 2.2 | 3.8 |
| T2-R3-1.0 Eto | 4.4 | 4.2 | 8.3 | 5.2 | 4.4 | 4.5 | 4.7 |
| T2-R1-0.75 Eto | 2.1 | 7.6 | 1.6 | 2.4 | 2.4 | 7 | 3 |
| T2-R2-0.75 Eto | 0.4 | 1.5 | 0.9 | 5.4 | 1.4 | 4.2 | 1.8 |
| T2-R3-0.75 Eto | 4.1 | 4.7 | 1.8 | 2.6 | 2.4 | 3 | 2.2 |
| T2-R1-0.5 Eto | 18.2 | 20.9 | 11.7 | 3.5 | 8.4 | 12.9 | 14.8 |
| T2-R2-0.5 Eto | 4.9 | 6.5 | 3.7 | 1.2 | 3.4 | 2.5 | 4.3 |
| T2-R3-0.5 Eto | 25.7 | 19.7 | 6.2 | 3.7 | 9.4 | 7.5 | 1.8 |
| T3-R1-1.0 Eto | 25.2 | 23.9 | 44.3 | 29 | 32.4 | 19.7 | 31.9 |
| T3-R2-1.0 Eto | 11.3 | 25.8 | 21.5 | 22.8 | 21.4 | 25.2 | 36.2 |
| T3-R3-1.0 Eto | 26.5 | 24.2 | 27.4 | 33.5 | 29.4 | 38.2 | 42 |
| T3-R1-0.75 Eto | 21.2 | 30.1 | 12.3 | 18.5 | 26.4 | 25.1 | 27.8 |
| T3-R2-0.75 Eto | 31.9 | 27.8 | 19.4 | 14.7 | 25.4 | 27.6 | 28.7 |
| T3-R3-0.75 Eto | 24.5 | 41.4 | 28.9 | 18.8 | 24.4 | 11.2 | 11.4 |
| T3-R1-0.5 Eto | 23.9 | 26.9 | 22.7 | 8.3 | 24.4 | 24.1 | 18.1 |
| T3-R2-0.5 Eto | 32.2 | 17.5 | 8.8 | 8.3 | 11.4 | 12.7 | 7.4 |
| T3-R3-0.5 Eto | 19.5 | 3.8 | 13.5 | 5.8 | 12.4 | 13.9 | 21 |

4.10 HUMEDAD DE HOJAS

La tabla 16 presenta los porcentajes de humedad de hojas obtenidos de los pesos frescos y secos del total de parcelas experimentales. Posteriormente en la tabla 17 se muestra los porcentajes promedio de humedad de hojas correspondientes a los nueve tratamientos.

Tabla 16: Porcentajes de humedad de hojas

| Tratamientos | Fechas | | | | | | |
|----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | 1° poda (17/01/17) | 2° poda (31/01/17) | 3° poda (15/02/17) | 4° poda (01/03/17) | 5° poda (16/03/17) | 6° poda (03/04/17) | 7° poda (18/04/17) |
| T1-R1-1.0 Eto | 59.7 | 60.5 | 59.6 | 41.5 | 66.6 | 48.0 | 68.1 |
| T1-R2-1.0 Eto | 77.6 | 69.1 | 64.5 | 60.3 | 73.4 | 59.6 | 65.6 |
| T1-R3-1.0 Eto | 79.0 | 69.3 | 71.6 | 61.0 | 71.5 | 63.2 | 63.7 |
| T1-R1-0.75 Eto | 66.7 | 47.1 | 80.0 | 30.2 | 60.0 | 59.7 | 52.9 |
| T1-R2-0.75 Eto | 77.7 | 70.3 | 61.1 | 46.6 | 69.6 | 61.3 | 66.5 |
| T1-R3-0.75 Eto | 76.7 | 67.4 | 55.7 | 52.4 | 42.1 | 47.9 | 54.5 |
| T1-R1-0.5 Eto | 77.6 | 71.9 | 65.7 | 44.1 | 65.5 | 56.7 | 58.3 |
| T1-R2-0.5 Eto | 77.8 | 70.7 | 66.4 | 49.4 | 57.9 | 55.7 | 53.7 |
| T1-R3-0.5 Eto | 75.9 | 71.7 | 46.4 | 34.0 | 44.0 | 57.9 | 48.3 |
| T2-R1-1.0 Eto | 62.1 | 42.1 | 64.4 | 23.5 | 45.7 | 43.3 | 51.5 |
| T2-R2-1.0 Eto | 70.4 | 37.9 | 70.6 | 41.2 | 71.4 | 42.1 | 43.3 |
| T2-R3-1.0 Eto | 72.5 | 32.3 | 61.2 | 25.7 | 41.3 | 38.4 | 44.7 |
| T2-R1-0.75 Eto | 71.6 | 55.3 | 56.8 | 25.0 | 61.3 | 54.8 | 50.8 |
| T2-R2-0.75 Eto | 75.0 | 48.3 | 47.1 | 12.9 | 20.5 | 43.2 | 52.6 |
| T2-R3-0.75 Eto | 67.5 | 51.0 | 43.8 | 23.5 | 15.5 | 55.2 | 48.8 |
| T2-R1-0.5 Eto | 74.9 | 60.1 | 56.3 | 39.7 | 58.9 | 48.6 | 54.0 |
| T2-R2-0.5 Eto | 71.8 | 62.4 | 58.0 | 29.4 | 33.6 | 51.9 | 48.2 |
| T2-R3-0.5 Eto | 77.6 | 63.2 | 43.1 | 32.7 | 29.4 | 38.0 | 55.0 |
| T3-R1-1.0 Eto | 60.2 | 47.7 | 50.5 | 21.0 | 54.2 | 45.7 | 51.1 |
| T3-R2-1.0 Eto | 65.3 | 38.1 | 51.2 | 24.0 | 49.9 | 43.4 | 51.5 |
| T3-R3-1.0 Eto | 61.3 | 36.6 | 48.9 | 23.5 | 57.3 | 54.4 | 52.8 |
| T3-R1-0.75 Eto | 60.4 | 36.0 | 38.5 | 22.3 | 43.1 | 45.4 | 47.1 |
| T3-R2-0.75 Eto | 67.9 | 42.9 | 49.2 | 39.8 | 46.1 | 51.8 | 51.8 |
| T3-R3-0.75 Eto | 67.1 | 42.1 | 45.9 | 29.9 | 44.5 | 42.9 | 42.1 |
| T3-R1-0.5 Eto | 60.0 | 45.1 | 50.5 | 28.4 | 52.0 | 45.0 | 43.1 |
| T3-R2-0.5 Eto | 64.8 | 32.2 | 28.5 | 36.6 | 42.2 | 45.3 | 49.0 |
| T3-R3-0.5 Eto | 61.8 | 38.7 | 35.4 | 43.7 | 36.7 | 32.5 | 50.8 |

Tabla 17: Porcentajes de humedad de hojas por tratamiento

| Tratamientos | Fechas | | | | | | |
|----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | 1° poda (17/01/17) | 2° poda (31/01/17) | 3° poda (15/02/17) | 4° poda (01/03/17) | 5° poda (16/03/17) | 6° poda (03/04/17) | 7° poda (18/04/17) |
| T1-R1-1.0 Eto | 72.1 | 66.3 | 65.2 | 54.3 | 70.5 | 56.9 | 65.8 |
| T1-R2-1.0 Eto | | | | | | | |
| T1-R3-1.0 Eto | | | | | | | |
| T1-R1-0.75 Eto | 73.7 | 61.6 | 65.6 | 43.0 | 57.2 | 56.3 | 58.0 |
| T1-R2-0.75 Eto | | | | | | | |
| T1-R3-0.75 Eto | | | | | | | |
| T1-R1-0.5 Eto | 77.1 | 71.5 | 59.5 | 42.5 | 55.8 | 56.8 | 53.5 |
| T1-R2-0.5 Eto | | | | | | | |
| T1-R3-0.5 Eto | | | | | | | |
| T2-R1-1.0 Eto | 68.3 | 37.4 | 65.4 | 30.1 | 52.8 | 41.2 | 46.5 |
| T2-R2-1.0 Eto | | | | | | | |
| T2-R3-1.0 Eto | | | | | | | |
| T2-R1-0.75 Eto | 71.4 | 51.5 | 49.2 | 20.5 | 32.4 | 51.1 | 50.8 |
| T2-R2-0.75 Eto | | | | | | | |
| T2-R3-0.75 Eto | | | | | | | |
| T2-R1-0.5 Eto | 74.8 | 61.9 | 52.5 | 33.9 | 40.6 | 46.2 | 52.4 |
| T2-R2-0.5 Eto | | | | | | | |
| T2-R3-0.5 Eto | | | | | | | |
| T3-R1-1.0 Eto | 62.3 | 40.8 | 50.2 | 22.8 | 53.8 | 47.8 | 51.8 |
| T3-R2-1.0 Eto | | | | | | | |
| T3-R3-1.0 Eto | | | | | | | |
| T3-R1-0.75 Eto | 65.1 | 40.3 | 44.5 | 30.6 | 44.6 | 46.7 | 47.0 |
| T3-R2-0.75 Eto | | | | | | | |
| T3-R3-0.75 Eto | | | | | | | |
| T3-R1-0.5 Eto | 62.2 | 38.7 | 38.1 | 36.3 | 43.7 | 40.9 | 47.6 |
| T3-R2-0.5 Eto | | | | | | | |
| T3-R3-0.5 Eto | | | | | | | |

4.11 ALTURA DE HOJAS

Se realizaron siete mediciones de altura de hojas de forma quincenal a lo largo de toda la investigación, en el mismo día previamente a cada corte. Siendo la primera con fecha 17/01/17 y la última el 18/04/17. La tabla 18 presenta las alturas de hojas obtenidas de las siete mediciones realizadas y en el anexo 4 se muestra el análisis de varianza de la variable altura de hojas de todas las mediciones para las tres especies de césped.

Tabla 18: Altura de hojas de las siete mediciones en centímetros

| Tratamientos | Fechas | | | | | | |
|----------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | 1° medición (17/01/17) | 2° medición (31/01/17) | 3° medición (15/02/17) | 4° medición (01/03/17) | 5° medición (16/03/17) | 6° medición (03/04/17) | 7° medición (18/04/17) |
| T1-R1-1.0 Eto | 6.5 | 12.5 | 14.0 | 14.0 | 14.3 | 10.7 | 11.8 |
| T1-R2-1.0 Eto | 12.8 | 15.5 | 18.0 | 14.7 | 16.3 | 13.5 | 13.5 |
| T1-R3-1.0 Eto | 9.7 | 11.3 | 15.7 | 15.3 | 14.5 | 12.2 | 13.0 |
| T1-R1-0.75 Eto | 7.8 | 7.7 | 9.0 | 8.8 | 12.2 | 8.5 | 8.7 |
| T1-R2-0.75 Eto | 11.0 | 15.2 | 15.3 | 12.0 | 13.0 | 10.7 | 11.5 |
| T1-R3-0.75 Eto | 12.1 | 13.8 | 11.7 | 11.0 | 12.2 | 9.3 | 7.7 |
| T1-R1-0.5 Eto | 9.0 | 14.2 | 13.2 | 11.3 | 13.5 | 10.5 | 10.3 |
| T1-R2-0.5 Eto | 13.1 | 16.7 | 14.3 | 12.0 | 11.5 | 10.2 | 7.3 |
| T1-R3-0.5 Eto | 9.4 | 15.3 | 12.3 | 10.7 | 10.7 | 10.7 | 9.3 |
| T2-R1-1.0 Eto | 4.6 | 5.2 | 6.7 | 6.8 | 5.0 | 4.8 | 5.3 |
| T2-R2-1.0 Eto | 1.8 | 4.0 | 4.0 | 5.2 | 4.5 | 4.0 | 2.5 |
| T2-R3-1.0 Eto | 4.8 | 6.5 | 7.5 | 5.3 | 6.5 | 6.3 | 6.0 |
| T2-R1-0.75 Eto | 4.0 | 6.7 | 7.3 | 7.2 | 7.7 | 8.0 | 7.7 |
| T2-R2-0.75 Eto | 2.8 | 7.0 | 6.3 | 6.0 | 6.2 | 5.3 | 5.7 |
| T2-R3-0.75 Eto | 5.6 | 9.8 | 8.0 | 6.2 | 6.5 | 6.3 | 6.8 |
| T2-R1-0.5 Eto | 5.0 | 8.7 | 8.7 | 11.0 | 6.8 | 6.8 | 9.0 |
| T2-R2-0.5 Eto | 6.5 | 7.0 | 9.3 | 8.2 | 6.0 | 7.7 | 7.3 |
| T2-R3-0.5 Eto | 6.0 | 9.2 | 8.3 | 8.3 | 6.5 | 6.8 | 6.8 |
| T3-R1-1.0 Eto | 8.7 | 9.1 | 12.0 | 11.7 | 11.7 | 11.3 | 11.5 |
| T3-R2-1.0 Eto | 9.1 | 7.7 | 11.7 | 10.7 | 8.7 | 10.8 | 11.7 |
| T3-R3-1.0 Eto | 9.8 | 9.0 | 12.2 | 12.2 | 11.7 | 12.5 | 13.5 |
| T3-R1-0.75 Eto | 8.3 | 10.3 | 8.8 | 11.5 | 12.3 | 9.5 | 10.8 |
| T3-R2-0.75 Eto | 8.8 | 12.3 | 12.7 | 11.5 | 12.7 | 11.0 | 11.0 |
| T3-R3-0.75 Eto | 7.5 | 11.8 | 12.0 | 10.2 | 10.8 | 8.7 | 9.7 |
| T3-R1-0.5 Eto | 8.0 | 11.8 | 10.5 | 11.3 | 11.5 | 11.0 | 8.7 |
| T3-R2-0.5 Eto | 7.8 | 9.3 | 9.7 | 13.3 | 10.7 | 8.8 | 8.7 |
| T3-R3-0.5 Eto | 7.5 | 9.5 | 8.7 | 8.2 | 9.3 | 7.2 | 11.2 |

En la tabla 19 se puede observar que para el caso del césped americano, el factor de riego 1.0 ETo originó una mayor altura de hojas con respecto al resto de tratamientos, diferenciándose significativamente con excepción de las tres primeras mediciones, de la misma manera, los factores de riego 0.75 ETo y 0.5 ETo alcanzaron semejantes alturas de hojas, no presentándose diferencias significativas en las cinco primeras mediciones. Para el caso del césped bermuda, los factores de riego 1.0 ETo y 0.75 ETo presentaron mayores alturas de hojas con respecto al tratamiento del 0.5 ETo, con excepción de la segunda medición. Finalmente para el césped paspalum no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, indicando que solamente el riego no influye en el crecimiento de hojas en esta especie de césped.

Tabla 19: Efecto de los tratamientos en la altura de hojas

| Tratamientos | Altura de hojas de la 1° medición (E.E. = 0.96) | Altura de hojas de la 2° medición (E.E. = 1.01) | Altura de hojas de la 3° medición (E.E. = 1.26) | Altura de hojas de la 4° medición (E.E. = 0.38) | Altura de hojas de la 5° medición (E.E. = 0.61) | Altura de hojas de la 6° medición (E.E. = 0.56) | Altura de hojas de la 7° medición (E.E. = 1.0) |
|---------------|---|---|---|---|---|---|--|
| T1 - 1.0 ETo | 11.25 A | 14 A | 16.85 A | 15 B | 15.40 B | 12.85 B | 13.25 B |
| T1 - 0.75 ETo | 11.55 A | 14.50 A | 13.50 A | 11.50 A | 12.60 A | 10 A | 10.10 AB |
| T1 - 0.5 ETo | 9.20 A | 14.75 A | 12.75 A | 11 A | 11.10 A | 10.35 AB | 8.30 A |

| Tratamientos | Altura de hojas de la 1° medición (E.E. = 0.26) | Altura de hojas de la 2° medición (E.E. = 0.16) | Altura de hojas de la 3° medición (E.E. = 0.36) | Altura de hojas de la 4° medición (E.E. = 0.91) | Altura de hojas de la 5° medición (E.E. = 0.42) | Altura de hojas de la 6° medición (E.E. = 0.72) | Altura de hojas de la 7° medición (E.E. = 0.52) |
|---------------|---|---|---|---|---|---|---|
| T3 - 1.0 ETo | 9.45 B | 9.05 A | 12.10 B | 11.95 A | 11.70 AB | 11.90 B | 12.60 B |
| T3 - 0.75 ETo | 8.55 AB | 12.05 B | 12.35 B | 11.50 A | 12.50 B | 10.25 AB | 10.90 AB |
| T3 - 0.5 ETo | 7.65 A | 9.40 A | 9.20 A | 9.75 A | 10 A | 8 A | 8.70 A |

| Tratamientos | Altura de hojas de la 1° medición (E.E. = 0.55) | Altura de hojas de la 2° medición (E.E. = 1.02) | Altura de hojas de la 3° medición (E.E. = 0.33) | Altura de hojas de la 4° medición (E.E. = 0.52) | Altura de hojas de la 5° medición (E.E. = 0.57) | Altura de hojas de la 6° medición (E.E. = 0.65) | Altura de hojas de la 7° medición (E.E. = 0.36) |
|---------------|---|---|---|---|---|---|---|
| T2 - 1.0 ETo | 4.70 A | 5.85 A | 7.10 A | 6.05 A | 5.75 A | 5.55 A | 5.65 A |
| T2 - 0.75 ETo | 4.80 A | 8.40 A | 7.65 A | 6.70 A | 7.10 A | 7.15 A | 7.25 A |
| T2 - 0.5 ETo | 5.50 A | 7.85 A | 8.50 A | 8.25 A | 6.25 A | 6.80 A | 7.05 A |

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

4.12 PESO SECO DE RAÍCES

Se extrajeron dieciocho muestras de suelo en total para analizar el peso seco de las raíces, las primeras nueve con fecha 15/02/2017 y las nueve restantes el día 28/04/2017. Las muestras extraídas correspondieron al total de tratamientos, pero no se realizaron repeticiones por la falta de mano de obra y por los tiempos ajustados de la investigación, sin embargo, estos resultados sirven de referencia acerca de la densidad radicular por especie de césped.

En la tabla 20 se presentan los resultados de los pesos secos de las raíces en gramos en las dos fechas de medición, de donde se puede observar que los tratamientos T1 – 1.0 ETo (americano) y T1 – 0.75 ETo (americano) alcanzaron los mayores pesos secos de raíces, mientras que los tratamientos T3 – 0.75 ETo (bermuda) y T3 – 0.5 ETo (bermuda) alcanzaron los menores pesos secos de raíces. Sin embargo, para el caso del césped T1 (americano), el mayor porcentaje de raíces se encuentra a una poca profundidad del suelo, lo que no resulta beneficioso para el césped, puesto que al presentarse escasez de agua, no habría suficientes raíces en capas más profundas para explorarla, entrando la planta en estado de dormancia.

Tabla 20: Pesos secos de raíces en gramos

| Tratamiento | Primera medición | Segunda medición |
|--------------------|-------------------------|-------------------------|
| T1 - 1.0 ETo | 3.8 | 5.1 |
| T1 - 0.75 ETo | 3.6 | 5.5 |
| T1 - 0.5 ETo | 3 | 3.1 |
| T2 - 1.0 ETo | 2.9 | 3.1 |
| T2 - 0.75 ETo | 0.7 | 3.4 |
| T2 - 0.5 ETo | 1.3 | 3.6 |
| T3 - 1.0 ETo | 4 | 2.8 |
| T3 - 0.75 ETo | 0.6 | 2.1 |
| T3 - 0.5 ETo | 1 | 1.3 |

4.13 PROFUNDIDAD DE RAÍCES

Se extrajeron dieciocho muestras de suelo en total para analizar la profundidad de raíces, las primeras nueve con fecha 15/02/2017 y las nueve restantes el día 28/04/2017. Las muestras extraídas correspondieron al total de tratamientos, pero sin contar con alguna repetición.

En la tabla 21 se presentan los resultados de las profundidades de raíces en centímetros en las dos fechas de medición, de donde se puede observar que los tratamientos T3 – 0.75 ETo (bermuda) y T3 – 0.5 ETo (bermuda) alcanzaron las mayores profundidades de raíces, diferenciándose del resto de tratamientos y corroborando con lo mencionado según Christians *et al.* (2016), en donde el césped bermuda tiene un sistema radicular profundo y perenne. Además de que una menor lámina de riego en esta especie de césped propicia una mayor profundidad radicular, como se puede observar en las fotografías del anexo 8.

Tabla 21: Profundidades de raíces en centímetros

| Tratamiento | Primera medición | Segunda medición |
|--------------------|-------------------------|-------------------------|
| T1 - 1.0 ETo | 11.3 | 13.5 |
| T1 - 0.75 ETo | 11 | 15.7 |
| T1 - 0.5 ETo | 8.8 | 12 |
| T2 - 1.0 ETo | 10 | 15.5 |
| T2 - 0.75 ETo | 8.6 | 13 |
| T2 - 0.5 ETo | 12 | 15 |
| T3 - 1.0 ETo | 11.6 | 14 |
| T3 - 0.75 ETo | 12.7 | 16.7 |
| T3 - 0.5 ETo | 16 | 23.8 |

4.14 EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA (EUA)

La tabla 22 muestra los valores de la eficiencia en el uso del agua para todas las parcelas experimentales, además del promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación de todos los tratamientos.

Tabla 22: Eficiencia en el uso del agua para el césped

| Parcelas experimentales | Sumatoria de pesos secos de césped (g) | Volumen aplicado acumulado (m ³) | Uso eficiente del agua (Kg/m ³) | Uso eficiente del agua promedio (Kg/m ³) | Desviación estándar | Coefficiente de variación |
|-------------------------|--|--|---|--|---------------------|---------------------------|
| T1-R1-1.0 Eto | 135.5 | 0.48 | 0.28 | 0.56 | 0.00 | 0.00 |
| T1-R2-1.0 Eto | 267.5 | 0.48 | 0.56 | | | |
| T1-R3-1.0 Eto | 266.5 | 0.48 | 0.56 | | | |
| T1-R1-0.75 Eto | 24.2 | 0.36 | 0.07 | 0.44 | 0.32 | 0.73 |
| T1-R2-0.75 Eto | 241 | 0.36 | 0.67 | | | |
| T1-R3-0.75 Eto | 76.9 | 0.36 | 0.21 | | | |
| T1-R1-0.5 Eto | 190.6 | 0.24 | 0.79 | 0.83 | 0.05 | 0.06 |
| T1-R2-0.5 Eto | 206.8 | 0.24 | 0.86 | | | |
| T1-R3-0.5 Eto | 112.4 | 0.24 | 0.47 | | | |
| T2-R1-1.0 Eto | 36 | 0.48 | 0.08 | 0.07 | 0.00 | 0.01 |
| T2-R2-1.0 Eto | 12 | 0.48 | 0.03 | | | |
| T2-R3-1.0 Eto | 35.7 | 0.48 | 0.07 | | | |
| T2-R1-0.75 Eto | 26.1 | 0.36 | 0.07 | 0.07 | 0.01 | 0.16 |
| T2-R2-0.75 Eto | 15.6 | 0.36 | 0.04 | | | |
| T2-R3-0.75 Eto | 20.8 | 0.36 | 0.06 | | | |
| T2-R1-0.5 Eto | 90.4 | 0.24 | 0.38 | 0.34 | 0.05 | 0.14 |
| T2-R2-0.5 Eto | 26.5 | 0.24 | 0.11 | | | |
| T2-R3-0.5 Eto | 74 | 0.24 | 0.31 | | | |
| T3-R1-1.0 Eto | 206.4 | 0.48 | 0.43 | 0.45 | 0.02 | 0.05 |
| T3-R2-1.0 Eto | 164.2 | 0.48 | 0.34 | | | |
| T3-R3-1.0 Eto | 221.2 | 0.48 | 0.46 | | | |
| T3-R1-0.75 Eto | 161.4 | 0.36 | 0.45 | 0.47 | 0.03 | 0.06 |
| T3-R2-0.75 Eto | 175.5 | 0.36 | 0.49 | | | |
| T3-R3-0.75 Eto | 160.6 | 0.36 | 0.45 | | | |
| T3-R1-0.5 Eto | 148.4 | 0.24 | 0.62 | 0.39 | 0.02 | 0.06 |
| T3-R2-0.5 Eto | 98.3 | 0.24 | 0.41 | | | |
| T3-R3-0.5 Eto | 89.9 | 0.24 | 0.37 | | | |

De acuerdo a la tabla 22, para las especies de césped americano (T1) y paspalum (T2), se obtuvieron unos mayores resultados de eficiencia en el uso del agua promedio para el factor de riego 0.5 ETo, cuyos valores fueron de 0.83 Kg/m³ para el primer caso y 0.34 Kg/m³ para el segundo caso. En el césped bermuda (T3), la mayor eficiencia en el uso del agua promedio fue de 0.47 Kg/m³, correspondiente al factor de riego 0.75 ETo.

Estos resultados obtenidos comprueban lo citado por Anower *et al.* (2015), en donde la sequía en general puede incrementar la eficiencia en el uso del agua. Finalmente se demuestra que el césped americano es más eficiente con el uso del agua, debido a que produce una mayor cantidad de hojas por metro cúbico de agua consumida en periodo de sequía.

4.15 ANÁLISIS CUALITATIVO DEL CÉSPED

Con respecto al análisis cualitativo del césped, se realizaron tres evaluaciones durante la investigación, donde las variables en estudio fueron el color, la cobertura y la uniformidad.

a. Color

En la tabla 23 se presentan los resultados de la evaluación del color y posteriormente se muestran las fotografías de los nueve tratamientos representativos del total de parcelas experimentales de la última evaluación, de donde se puede observar de la tabla y de las fotografías, que para las tres especies de césped, las parcelas correspondientes al factor de riego 1.0 ETo presentaron las más altas puntuaciones y los colores verdes más oscuros. Sin embargo, el factor de riego 0.75 ETo para las tres especies de césped, originó un color verde medio con un menor consumo de agua, considerándose aceptable visualmente.

Por otra parte, el color verde oscuro obtenido del factor de riego 1.0 ETo guardó una relación con la humedad de hojas, donde para este caso se obtuvo mayores porcentajes de humedad para las especies de césped americano y bermuda. Por el contrario, el factor de riego 0.5 ETo presentó mayores porcentajes de humedad de hojas en comparación al resto de factores para la especie de césped paspalum.

Tabla 23: Resultados de la evaluación del color

| COLOR | | | |
|--------------------|------------|------------|------------|
| Fecha | 31/01/2017 | 15/03/2017 | 04/05/2017 |
| Hora de medición | 10:00 a.m. | 10:00 a.m. | 10:00 a.m. |
| Tratamientos | | | |
| 1.0 Eto | | | |
| T1 - R1 - 1.0 Eto | 2 | 2 | 2 |
| T3 - R1 - 1.0 Eto | 2 | 2 | 2 |
| T1 - R2 - 1.0 Eto | 3 | 3 | 3 |
| T3 - R2 - 1.0 Eto | 2 | 2 | 2 |
| T2 - R1 - 1.0 Eto | 3 | 3 | 3 |
| T3 - R3 - 1.0 Eto | 2 | 3 | 3 |
| T2 - R2 - 1.0 Eto | 3 | 3 | 2 |
| T1 - R3 - 1.0 Eto | 3 | 3 | 3 |
| T2 - R3 - 1.0 Eto | 3 | 3 | 3 |
| 0.75 Eto | | | |
| T1 - R1 - 0.75 Eto | 2 | 2 | 2 |
| T2 - R1 - 0.75 Eto | 3 | 2 | 2 |
| T1 - R2 - 0.75 Eto | 3 | 3 | 2 |
| T2 - R3 - 0.75 Eto | 3 | 3 | 2 |
| T3 - R1 - 0.75 Eto | 3 | 2 | 2 |
| T2 - R2 - 0.75 Eto | 2 | 2 | 2 |
| T3 - R2 - 0.75 Eto | 3 | 1 | 2 |
| T1 - R3 - 0.75 Eto | 3 | 3 | 2 |
| T3 - R3 - 0.75 Eto | 3 | 2 | 2 |
| 0.5 Eto | | | |
| T1 - R1 - 0.5 Eto | 3 | 3 | 2 |
| T3 - R1 - 0.5 Eto | 2 | 2 | 2 |
| T2 - R1 - 0.5 Eto | 3 | 3 | 2 |
| T1 - R2 - 0.5 Eto | 3 | 2 | 1 |
| T2 - R2 - 0.5 Eto | 3 | 2 | 2 |
| T2 - R3 - 0.5 Eto | 3 | 1 | 1 |
| T3 - R2 - 0.5 Eto | 2 | 1 | 1 |
| T3 - R3 - 0.5 Eto | 1 | 1 | 1 |
| T1 - R3 - 0.5 Eto | 1 | 1 | 1 |



Figura 29: Tratamiento T1 - 1.0 ETo (americano)



Figura 30: Tratamiento T1 - 0.75 ETo (americano)



Figura 31: Tratamiento T1 - 0.5 ETo (americano)



Figura 32: Tratamiento T2 - 1.0 ETo (paspalum)



Figura 33: Tratamiento T2 - 0.75 ETo (paspalum)



Figura 34: Tratamiento T2 - 0.5 ETo (paspalum)



Figura 35: Tratamiento T3 - 1.0 ETo (bermuda)



Figura 36: Tratamiento T3 - 0.75 ETo (bermuda)



Figura 37: Tratamiento T3 - 0.5 ETo (bermuda)

b. Cobertura

Al igual que en el caso del color, la cobertura se midió de forma visual, sin embargo para esta variable se utilizó el software ImageJ, versión 1.49k, que sirvió para la determinación del porcentaje de cobertura verde para un metro cuadrado del centro de cada parcela.

De la tabla 24 y de las Figs. 38, 39 y 40, con respecto al césped americano, los tratamientos T1 – 1.0 ETo y T1 – 0.75 ETo alcanzaron altas y semejantes puntuaciones, donde este último tratamiento superó ligeramente al primero. Sin embargo, el tratamiento T1 – 1.0 ETo presentó un mayor porcentaje de cobertura verde igual a 99.57%, en comparación al tratamiento T1 – 0.75 ETo con un valor de 91.03%. Por otra parte, el tratamiento T1 – 0.5 ETo presentó menores puntuaciones, no obstante, obtuvo un porcentaje de cobertura alto e igual a 83.07%. Para el caso del césped paspalum, los tratamientos T2 – 1.0 ETo y T2 – 0.75 ETo presentaron semejantes puntuaciones, perteneciendo a la categoría de cobertura media. Con respecto al porcentaje de cobertura verde, también presentaron semejantes resultados, con un valor de 72.42% para el tratamiento T2 – 1.0 ETo y 74.52% para el tratamiento T2 – 0.75 ETo. Por otro lado, el tratamiento T2 – 0.5 ETo presentó puntuaciones bajas de cobertura y la parcela en donde se midió la humedad del suelo obtuvo el porcentaje de cobertura verde más bajo de todas las parcelas experimentales con un valor de 12.20%. Con respecto al césped bermuda, el tratamiento T3 – 1.0 ETo obtuvo mejores puntuaciones con respecto al tratamiento T3 – 0.75 ETo, sin embargo, este último tratamiento presentó un mayor porcentaje de cobertura verde igual a 88.10%, en comparación a un 81.78% del tratamiento T3 – 1.0 ETo. Por otra parte, el tratamiento T3 – 0.5 ETo presentó bajas puntuaciones de cobertura, no obstante obtuvo un porcentaje de cobertura verde igual a 68.64%, considerándose como aceptable para este factor de riego.

Finalmente, se demuestra que el césped americano fue el que mejores resultados presentó, aun cuando estuvo afectado por el factor de riego 0.5 ETo, por lo que este césped es la mejor opción en cuanto a la cobertura.

Tabla 24: Resultados de la evaluación de la cobertura

| COBERTURA | | | |
|--------------------|------------|------------|------------|
| Fecha | 31/01/2017 | 15/03/2017 | 04/05/2017 |
| Hora de medición | 10:00 a.m. | 10:00 a.m. | 10:00 a.m. |
| Tratamientos | | | |
| 1.0 Eto | | | |
| T1 - R1 - 1.0 Eto | 3 | 2 | 2 |
| T3 - R1 - 1.0 Eto | 2 | 2 | 2 |
| T1 - R2 - 1.0 Eto | 3 | 3 | 3 |
| T3 - R2 - 1.0 Eto | 2 | 2 | 2 |
| T2 - R1 - 1.0 Eto | 2 | 2 | 3 |
| T3 - R3 - 1.0 Eto | 2 | 3 | 3 |
| T2 - R2 - 1.0 Eto | 3 | 2 | 2 |
| T1 - R3 - 1.0 Eto | 3 | 3 | 3 |
| T2 - R3 - 1.0 Eto | 3 | 3 | 3 |
| 0.75 Eto | | | |
| T1 - R1 - 0.75 Eto | 3 | 3 | 3 |
| T2 - R1 - 0.75 Eto | 3 | 2 | 2 |
| T1 - R2 - 0.75 Eto | 3 | 3 | 3 |
| T2 - R3 - 0.75 Eto | 3 | 3 | 3 |
| T3 - R1 - 0.75 Eto | 3 | 2 | 2 |
| T2 - R2 - 0.75 Eto | 3 | 2 | 2 |
| T3 - R2 - 0.75 Eto | 3 | 1 | 2 |
| T1 - R3 - 0.75 Eto | 3 | 3 | 3 |
| T3 - R3 - 0.75 Eto | 3 | 2 | 2 |
| 0.5 Eto | | | |
| T1 - R1 - 0.5 Eto | 3 | 3 | 3 |
| T3 - R1 - 0.5 Eto | 3 | 2 | 2 |
| T2 - R1 - 0.5 Eto | 3 | 3 | 2 |
| T1 - R2 - 0.5 Eto | 3 | 3 | 2 |
| T2 - R2 - 0.5 Eto | 3 | 2 | 2 |
| T2 - R3 - 0.5 Eto | 3 | 1 | 1 |
| T3 - R2 - 0.5 Eto | 3 | 1 | 1 |
| T3 - R3 - 0.5 Eto | 3 | 1 | 1 |
| T1 - R3 - 0.5 Eto | 3 | 1 | 1 |

a) CV 99.57%



b) CV 91.03%



c) CV 83.07%



Figura 38: Porcentajes de cobertura verde para (a) T1 – 1.0 ETo, (b) T1 – 0.75 ETo y (c) T1 – 0.5 ETo

a) CV 72.42%



b) CV 74.52%



c) CV 12.20%



Figura 39: Porcentajes de cobertura verde para (a) T2 – 1.0 ETo, (b) T2 – 0.75 ETo y (c) T2 – 0.5 ETo

a) CV 81.78%



b) CV 88.10%



c) CV 68.64%

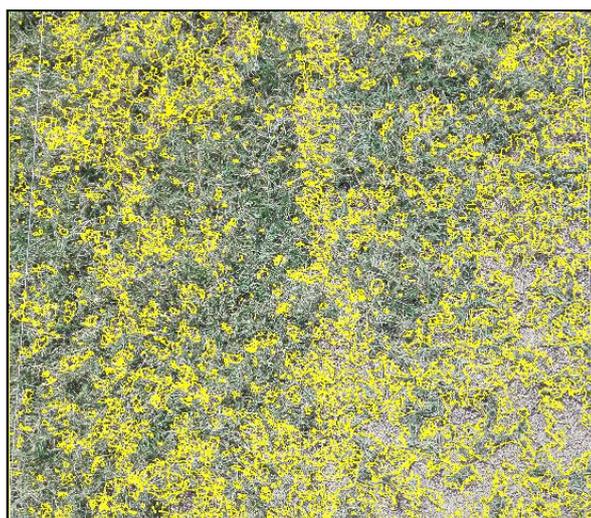


Figura 40: Porcentajes de cobertura verde para (a) T3 – 1.0 ETo, (b) T3 – 0.75 ETo y (c) T3 – 0.5 ETo

c. Uniformidad

En la tabla 25 se presenta los resultados de la evaluación de la uniformidad, de donde se puede observar que para el caso del césped americano, los factores de riego 1.0 ETo y 0.75 ETo obtuvieron los más altos e iguales puntuaciones de uniformidad, sin embargo, por el bajo consumo de agua se eligió el factor de riego 0.75 ETo como la mejor opción. Para las especies de césped paspalum y bermuda, el factor de riego 1.0 ETo superó ligeramente al factor de riego 0.75 ETo, no obstante, se eligió a este último factor de riego como la mejor opción, por el ahorro de agua que se obtuvo y por mantener una uniformidad media. Por otra parte, considerando las tres especies de césped, el factor de riego 0.5 ETo presentó las más bajas puntuaciones de uniformidad, por lo que este factor no es recomendable en época de verano.

Tabla 25: Resultados de la evaluación de la uniformidad

| UNIFORMIDAD | | | |
|--------------------|------------|------------|------------|
| Fecha | 31/01/2017 | 15/03/2017 | 04/05/2017 |
| Hora de medición | 10:00 a.m. | 10:00 a.m. | 10:00 a.m. |
| Tratamientos | | | |
| 1.0 Eto | | | |
| T1 - R1 - 1.0 Eto | 2 | 2 | 2 |
| T3 - R1 - 1.0 Eto | 2 | 2 | 2 |
| T1 - R2 - 1.0 Eto | 3 | 3 | 3 |
| T3 - R2 - 1.0 Eto | 2 | 2 | 2 |
| T2 - R1 - 1.0 Eto | 2 | 2 | 3 |
| T3 - R3 - 1.0 Eto | 2 | 3 | 3 |
| T2 - R2 - 1.0 Eto | 3 | 2 | 2 |
| T1 - R3 - 1.0 Eto | 3 | 3 | 3 |
| T2 - R3 - 1.0 Eto | 3 | 2 | 3 |
| 0.75 Eto | | | |
| T1 - R1 - 0.75 Eto | 2 | 2 | 2 |
| T2 - R1 - 0.75 Eto | 2 | 2 | 2 |
| T1 - R2 - 0.75 Eto | 3 | 3 | 3 |
| T2 - R3 - 0.75 Eto | 2 | 2 | 2 |
| T3 - R1 - 0.75 Eto | 3 | 2 | 2 |
| T2 - R2 - 0.75 Eto | 2 | 2 | 2 |
| T3 - R2 - 0.75 Eto | 3 | 1 | 2 |
| T1 - R3 - 0.75 Eto | 3 | 3 | 3 |
| T3 - R3 - 0.75 Eto | 3 | 2 | 2 |
| 0.5 Eto | | | |
| T1 - R1 - 0.5 Eto | 3 | 3 | 3 |
| T3 - R1 - 0.5 Eto | 2 | 2 | 2 |
| T2 - R1 - 0.5 Eto | 3 | 2 | 2 |
| T1 - R2 - 0.5 Eto | 3 | 3 | 2 |
| T2 - R2 - 0.5 Eto | 3 | 1 | 2 |
| T2 - R3 - 0.5 Eto | 2 | 1 | 1 |
| T3 - R2 - 0.5 Eto | 2 | 1 | 1 |
| T3 - R3 - 0.5 Eto | 1 | 1 | 1 |
| T1 - R3 - 0.5 Eto | 1 | 1 | 1 |

V. CONCLUSIONES

1. De acuerdo al análisis cuantitativo y cualitativo de la calidad del césped, se eligió el factor de riego 0.75 ETo como la mejor opción para las tres especies de césped, debido a que con este factor no se produjo materia fresca, ni tampoco altura de hojas en exceso, además de que mantuvo una humedad adecuada del suelo y otorgó una calidad visual aceptable.
2. El sistema de riego por aspersión mediante difusores fue adecuado, debido a las dimensiones y a la cantidad de parcelas experimentales. En este sentido, la elección de los diámetros de las tuberías, la electrobomba de 8.6 HP y demás componentes, aseguraron un suministro de caudal y presión constante para el buen funcionamiento del sistema de riego.
3. La estación meteorológica Davis Vantage Pro 2 permitió calcular las láminas de riego a partir de la evapotranspiración de referencia y las evaluaciones de la uniformidad de riego permitieron monitorearlas, obteniéndose una velocidad de aplicación real de 48.8 mm/h y una distribución de uniformidad promedio de 62.5%. Se cumple que el monitoreo de la lámina de riego ha sido satisfactorio.
4. Con respecto a la evaluación cuantitativa, se demostró que el factor de riego 1.0 ETo propició un mayor peso fresco y altura de hojas para los céspedes T1 (americano) y T3 (bermuda), diferenciándose significativamente de los otros factores. Sin embargo, el factor de riego 0.75 ETo es la mejor opción, debido a la producción no excesiva de hojas a un menor consumo de agua que origina. En el caso del césped paspalum, no se encontraron diferencias significativas entre los tres factores de riego, por lo que regar con un factor de riego de 0.75 ETo sería recomendable. Por otra parte, no es adecuado el factor de riego 0.5 ETo para los céspedes paspalum y bermuda, porque genera daños por sequía, entrando la planta en estado de dormancia. En cuanto al césped T3 (bermuda), el factor de riego 0.5 ETo propició una mayor profundidad de raíces, dando indicios de que este césped es más tolerante a la escasez de agua frente a los demás céspedes. Por otro lado, el

césped T1 (americano) presentó la mayor eficiencia en el uso del agua, con un valor de 0.83 Kg/m^3 , correspondiente al factor de riego 0.5 ETo, siendo una buena alternativa en época de sequía. Con respecto a la evaluación cualitativa, el factor de riego 0.75 ETo es la mejor opción para las tres especies de césped, debido a que se obtiene un color verde aceptable y altos porcentajes de cobertura verde a un menor consumo de agua. Finalmente, no es conveniente regar con el factor de riego 0.5 ETo ningún césped, porque genera una baja uniformidad en época de verano.

VI. RECOMENDACIONES

- 1.** Se recomienda monitorear la velocidad del viento horario durante todos los meses del año, para definir las horas de riego.
- 2.** Analizar estadísticamente los parámetros peso seco de raíces y profundidad de raíces, con la finalidad de conocer la especie de césped más tolerante a la escasez de agua en época de verano y a la vez manteniendo una calidad visual aceptable.
- 3.** Realizar en lo posible las labores culturales como el aireado, escarificado, arenado, fertilización y control de malezas aparte del riego y de la poda, para mantener una calidad óptima de las áreas verdes urbanas, en especial las formadas por los céspedes bermuda y paspalum.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ali, M; Davis, W; Gibeault, V; Henry, M; Van Dam, J; Wu, L. 1984. California turfgrass culture: Selecting the best turfgrass. (en línea). Cooperative extension University of California division of agricultural and natural resources. Consultado 18 jul. 2017. Disponible en https://agops.ucr.edu/turf/publications/ctc/ctc34_4.pdf. v. 34, p. 22.

Allen, RG; Pereira, LS; Raes, D; Smith, M. 2006. Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio FAO riego y drenaje N° 56:1-298.

Anower, MR; Boe, A; Auger, D; Mott, IW; Peel, MD; Xu, L; Kanchupati, P; Wu, Y. 2015. Comparative drought response in eleven diverse alfalfa accessions. (en línea). Journal of agronomy and crop science. Blackwell Verlag GmbH. Consultado 22 jul. 2017. Disponible en <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jac.12156/epdf>. p. 4-11. Fuente original: Blum. Morgan y LeCain. Hall *et al.*

Bughrara, S. 2007. Performance of kentucky bluegrass cultivars in Michigan. (en línea). Department of crop and soil sciences, Michigan State University. Consultado 20 jul. 2017. Disponible en <http://msue.anr.msu.edu/uploads/files/e2924.pdf>. p. 1.

Christians, N; Patton, A; Law, Q. 2016. Fundamentals of turfgrass management. (en línea). 5 ed. WILEY. Consultado 05 jul. 2017. Disponible en <http://onlinelibrary.wiley.com>. p. 9-233. Fuente original: Unruh *et al.* Casnoff *et al.* Shearman.

Cifuentes, A. 2016. Requerimiento de agua para el césped americano (*Stenotaphrum secundatum*) empleando riego por goteo subterráneo, durante el otoño en la UNALM. Tesis Ing. Agrícola. Perú. UNALM. 190 p.

- Duncan, R; Carrow, R; Huck, M. 2009. Turfgrass and Landscape Irrigation Water Quality: Assessment and Management. Editorial Taylor & Francis Group. p. 87-109.
- Emmons, R; Rossi, F. 2014. Turfgrass science and management. 5 ed. Ed. Cengage learning. p. 33.
- Hombres, L; Boelens, R. 2017. Urbanizing rural waters: Rural-urban water transfers and the reconfiguration of hydrosocial territories in Lima. (en línea). Political Geography. ELSEVIER. Consultado 14 set. 2017. Disponible en <http://www.sciencedirect.com>. v. 57, p. 71-72.
- Lekshmi, S; Singh, DN; Shojaei, M. 2014. A critical review of soil moisture measurement. (en línea). Measurement. ELSEVIER. Consultado 11 jul. 2017. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263224114001651>. v. 54, p. 94.
- Martínez, A; Burpee, L; Waltz, C. 2009. Daños abióticos y anomalías de céspedes en Georgia. (en línea). Extensión cooperativa del colegio de Ciencias Agrícolas y Ambientales de la Universidad de Georgia. Consultado 25 oct. 2017. Disponible en <https://athenaeum.libs.uga.edu/bitstream/handle/10724/12408/B1258-SP.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. p. 6.
- Monje J, R. 2006. Manejo de céspedes con bajo consumo de agua. (en línea). 2 ed. Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca. Consultado 06 jul. 2017. Disponible en <https://idus.us.es/xmlui/bitstream/handle/11441/39543/MANEJO%20DE%20CESPEDES.pdf?sequence=1>. p. 12-61.
- Ordenanza N° 1852, 2014. Ordenanza para la conservación y gestión de áreas verdes en la provincia de Lima. Diario Oficial El Peruano. Perú. 23 dic.
- Palomino V, K. 2009. Riego por aspersion. Editorial Starbook. p. 14-56.
- Payero, J. 2005. Evapotranspiration. (en línea). Water Encyclopedia. WILEY. Consultado 08 jul. 2017. Disponible en <http://onlinelibrary.wiley.com>. p. 1.
- Pessaraki M. 2008. Handbook of turfgrass management and physiology. Ed. Taylor & Francis Group. p. 641-642. Fuente original: Turgeon. Bell et al.

Pizarro C, F. 1996. Riegos Localizados de Alta Frecuencia (RLAF) goteo, microaspersión, exudación. 3 ed. Ediciones Mundi-Prensa. p. 45-47.

Quinones, H; Ruelle, P; Nemeth, I. 2003. Comparison of three calibration procedures for TDR soil moisture sensors. (en línea). Irrigation and Drainage. WILEY. Consultado 12 jul. 2017. Disponible en <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ird.95/full>. v. 52, p. 204-205. Fuente original: Topp et al. Persson y Berndtsson.

Rosas, J. 2003. El Zacate Búfalo (*Buchloe dactyloides*): una alternativa de césped para la región semiárida de México. Tesis Ing. Agr. México. UAAAN. 102 p.

Salazar, A. 2017. Eficiencia hídrica en el mantenimiento de áreas verdes públicas en zonas urbanas desérticas: El caso del distrito de San Borja, Lima. Tesis Lic. Geografía y medioambiente. Perú. PUCP. 88 p.

Skerman, P. J. 1992. Gramíneas Tropicales. Colección FAO: Producción y protección vegetal N° 23. p. 332-745. Fuente original: Wheeler y Chippendall.

Thomas, R; Guerin, J P. 1985. Los Céspedes. 2 ed. Ediciones Mundi-Prensa. p. 249.

UGR. 2016. Diseño Estadístico de Experimentos de Lara P, A. M. 91 p. Disponible en <http://www.ugr.es/~bioestad/guiaspss/practica7/Contenidos.pdf>. Fecha de último acceso: 30 de agosto del 2016.

Van Dam, R; Schlager, W. 2000. Identifying causes of ground-penetrating radar reflections using time-domain reflectometry and sedimentological analyses. (en línea). Sedimentology. WILEY. Consultado 13 jul. 2017. Disponible en <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1365-3091.2000.00304.x/full>. v. 47, p. 438.

Vargas Junior, J. M. 1994. Management of Turfgrass diseases. 2 ed. p. 210.

Zotarelli, L; Dukes, MD; Morgan, KT. 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. (en línea). Servicio de extensión cooperativa, Instituto de alimentos y ciencias agrícolas, Universidad de Florida. Consultado 26 oct. 2017. Disponible en <http://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/AE/AE49600.pdf>. p. 2.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1 ANÁLISIS DEL 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 010285

ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN

SOLICITANTE : MIGUEL ANGEL JAUREGUI V.
PROCEDENCIA : Jardín 1(1.0 E.T.)
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 05 de Agosto del 2016

| Número de muestra | | CE dS / m Relación 1:1 | Análisis Mecánico | | | | pH Relación 1:1 | M.O. % | P ppm | K ppm | CaCO ₃ % | Cationes Cambiables | | | | | |
|-------------------|--------------------|------------------------------|-------------------|-----------|--------------|----------------|--------------------|-----------|----------|----------|------------------------|---------------------|------------------|------------------|-----------------|----------------|----------------------------------|
| Lab. | Campo | | Arena % | Limo % | Arcilla % | Textura | | | | | | CIC total | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Al ³⁺ +H ⁺ |
| | | | | | | | | | | | | Cmol (+) / Kg | | | | | |
| 10285 | M1 Prof. 15 cm. | 1.65 | 66.00 | 28.00 | 6.00 | Franco arenoso | 7.84 | 0.73 | 14.85 | 136.00 | 0.65 | 12.80 | 11.68 | 0.83 | 0.09 | 0.19 | - |

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO



Ing. Msc. Teresa Velásquez Berarano
JEFE DE LABORATORIO



Facultad de Ing. Agrícola



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 010286

ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN

SOLICITANTE : MIGUEL ANGEL JAUREGUI V.
 PROCEDENCIA : Jardín 2 (0.75 E.T.)
 RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
 FECHA DE ANALISIS : La Molina, 05 de Agosto del 2016

| Número de muestra | | CE dS / m Relación 1:1 | Análisis Mecánico | | | | pH Relación 1:1 | M.O. % | P ppm | K ppm | CaCO ₃ % | Cationes Cambiables | | | | | |
|-------------------|--------------------|------------------------------|-------------------|-----------|--------------|----------------|--------------------|-----------|----------|----------|------------------------|---------------------|------------------|------------------|-----------------|----------------|----------------------------------|
| Lab. | Campo | | Arena % | Limo % | Arcilla % | Textura | | | | | | CIC total | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Al ³⁺ +H ⁺ |
| | | | | | | | | | | | | Cmol (+) / Kg | | | | | |
| 10286 | M2 Prof. 15 cm. | 0.71 | 56.00 | 30.00 | 14.00 | Franco arenoso | 7.98 | 0.69 | 9.21 | 124.00 | 0.81 | 10.35 | 9.02 | 1.00 | 0.11 | 0.22 | - |

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO
 Ing. Msc. Teresa Villalaz Bejarano
 JEFE DE LABORATORIO





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 010287

ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN

SOLICITANTE : MIGUEL ANGEL JAUREGUI V.
 PROCEDENCIA : Jardín 3 (0.5 E.T.)
 RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
 FECHA DE ANALISIS : La Molina, 05 de Agosto del 2016

| Número de muestra | | CE dS / m Relación 1:1 | Análisis Mecánico | | | | pH Relación 1:1 | M.O. % | P ppm | K ppm | CaCO ₃ % | Cationes Cambiables | | | | | |
|-------------------|--------------------|------------------------------|-------------------|-----------|--------------|----------------|--------------------|-----------|----------|----------|------------------------|---------------------|------------------|------------------|-----------------|----------------|----------------------------------|
| Lab. | Campo | | Arena % | Limo % | Arcilla % | Textura | | | | | | CIC total | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Al ³⁺ +H ⁺ |
| | | | | | | | | | | | | Cmol (+) / Kg | | | | | |
| 10287 | M3 Prof. 15 cm. | 1.16 | 60.00 | 32.00 | 8.00 | Franco arenoso | 7.79 | 0.79 | 13.16 | 182.60 | 0.93 | 12.32 | 10.97 | 1.00 | 0.11 | 0.24 | - |

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO
 Ing. Msc. Teresa Valdez Bujanda
 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.
 - CO_3^{2-} : Volumétrico; Ácido Clorhídrico.
 - HCO_3^- : Volumétrico; Ácido Clorhídrico.
 - SO_4^{2-} : 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% |

CIC Efectiva

Reacción del Suelo (pH)

| < 5 meq/100 gr | Muy baja | 5.1 - 5.5 |
|----------------|----------|-----------------------------------|
| 5 - 10 | Baja | Fuertemente ácido. |
| 10 - 15 | Medio | 5.6 - 6.0 Moderadamente ácido. |
| 15 - 20 | Alto | 6.1 - 6.5 Ligeramente ácido. |
| > 20 | Muy alto | 6.6 - 7.3 Neutro. |
| | | 7.4 - 7.8 Ligeramente alcalino. |
| | | 7.9 - 8.4 Moderadamente alcalino. |

EQUIVALENCIAS

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

* CIC: Capacidad Intercambiable de Cationes.

ANEXO 2 ANÁLISIS DEL AGUA



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 007789**

ANÁLISIS DE AGUA - RUTINA

SOLICITANTE : MIGUEL ANGEL JÁUREGUI VERA
PROYECTO : Factores de riego en tres especies de césped en las áreas verdes de la UNALM
PROCEDENCIA : Muestra de agua proveniente de los reservorios de la Unidad de Riego Tecnificado de la UNALM
RESPONSABLE ANALISIS : Ing. Nore Arévalo Flores
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 03 de Abril del 2017

| | |
|--------------------------|-------|
| N° LABORATORIO | 7789 |
| N° DE CAMPO | agua |
| CE dS/m | 0.55 |
| pH | 7.09 |
| Calcio meq/l | 3.49 |
| Magnesio meq/l | 0.63 |
| Sodio meq/l | 1.13 |
| Potasio meq/l | 0.21 |
| SUMA DE CATIONES | 5.45 |
| Cloruro meq/l | 1.20 |
| Sulfato meq/l | 1.73 |
| Bicarbonato meq/l | 2.65 |
| Nitratos meq/l | 0.00 |
| Carbonatos meq/l | 0.00 |
| SUMA DE ANIONES | 5.59 |
| SAR | 0.79 |
| CLASIFICACION | C2-S1 |
| Boro ppm | 0.14 |
| Sólidos suspendidos mg/L | 99.00 |

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO
Ing. Msc. Teresa Velásquez Bertramo
 JEFE DE LABORATORIO



CLAVE

PELIGRO DE SALES

| | | | |
|-----------------------------------|--------------------|---|---|
| C1 - Salinidad baja | (0.00 - 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 u orgánica con permeabilidad adecuada. |
| S3 - Muy sódica | Peligro en suelos sin 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 el 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 ₃ 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 | | | | |



INSTITUTO TECNOLÓGICO
 DE AGROPECUARIO
 Y PESQUERÍA

ANEXO 3 CALIBRACIÓN DEL TDR 300

Tabla 26: Calibración del TDR por el método gravimétrico con fecha 12/01/2017

| Parcela | VWC% | | | Prom VWC% | METODO GRAVIMÉTRICO | | | | | |
|-------------|------|------|------|-----------|---------------------|-----------------|---------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|
| | | | | | Vol cilindro (cm3) | Peso húmedo (g) | Peso seco (g) | Humedad gravimétrica (%) | Densidad aparente (g/cm3) | Humedad volumétrica (%) |
| 1.0 Eto 2P | 41.5 | 40.7 | 36.5 | 39.57 | 98.18 | 178 | 161.9 | 9.94 | 1.65 | 16.40 |
| 1.0 Eto 2B | 34.8 | 40.4 | 32.3 | 35.83 | 98.18 | 177.2 | 158.4 | 11.87 | 1.61 | 19.15 |
| 0.75 Eto 2P | 57.3 | 60.4 | 61.5 | 59.73 | 49.09 | 101.3 | 85.6 | 18.34 | 1.74 | 31.98 |
| 0.75 Eto 1B | 45.1 | 44.8 | 43.4 | 44.43 | 98.18 | 165.3 | 143.1 | 15.51 | 1.46 | 22.61 |

Tabla 27: Calibración del TDR por el método gravimétrico con fecha 13/01/2017

| Parcela | VWC% | | | Prom VWC% | METODO GRAVIMÉTRICO | | | | | |
|------------|------|------|------|-----------|---------------------|-----------------|---------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|
| | | | | | Vol cilindro (cm3) | Peso húmedo (g) | Peso seco (g) | Humedad gravimétrica (%) | Densidad aparente (g/cm3) | Humedad volumétrica (%) |
| 0.5 Eto 2P | 42.9 | 42.3 | 41.8 | 42.33 | 98.18 | 160.8 | 137.5 | 16.95 | 1.40 | 23.73 |
| 0.5 Eto 2B | 39.8 | 39 | 37.6 | 38.80 | 98.18 | 155.9 | 139.2 | 12.00 | 1.42 | 17.01 |
| 0.5 Eto 3A | 49.5 | 48.4 | 47.6 | 48.50 | 98.18 | 183.7 | 157.6 | 16.56 | 1.61 | 26.58 |

Tabla 28: Calibración del TDR por el método gravimétrico con fecha 27/02/2017

| Parcela | VWC% | | | Prom VWC% | METODO GRAVIMÉTRICO | | | | | |
|------------|------|------|------|-----------|---------------------|-----------------|---------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|
| | | | | | Vol cilindro (cm3) | Peso húmedo (g) | Peso seco (g) | Humedad gravimétrica (%) | Densidad aparente (g/cm3) | Humedad volumétrica (%) |
| 0.5 Eto 3B | 15.9 | 20.4 | 22 | 19.43 | 98.18 | 136.1 | 132 | 3.11 | 1.34 | 4.18 |
| 0.5 Eto 2B | 33.7 | 36.5 | 36.5 | 35.57 | 98.18 | 144.2 | 134.7 | 7.05 | 1.37 | 9.68 |
| 0.5 Eto 1P | 24.8 | 22.9 | 22 | 23.23 | 98.18 | 143.6 | 137.6 | 4.36 | 1.40 | 6.11 |
| 0.5 Eto 1B | 29.5 | 30.7 | 34 | 31.40 | 98.18 | 129.9 | 122.3 | 6.21 | 1.25 | 7.74 |
| 0.5 Eto 1A | 34.3 | 34.5 | 35.9 | 34.90 | 98.18 | 135.2 | 127.5 | 6.04 | 1.30 | 7.84 |
| 0.5 Eto 3P | 41.2 | 42.6 | 40.9 | 41.57 | 98.18 | 163.4 | 150.5 | 8.57 | 1.53 | 13.14 |

Tabla 29: Calibración del TDR por el método gravimétrico con fecha 09/03/2017

| Parcela | VWC% | | | Prom VWC% | METODO GRAVIMÉTRICO | | | | | |
|-------------|------|------|------|-----------|---------------------|-----------------|---------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|
| | | | | | Vol cilindro (cm3) | Peso húmedo (g) | Peso seco (g) | Humedad gravimétrica (%) | Densidad aparente (g/cm3) | Humedad volumétrica (%) |
| 0.75 Eto 1B | 34.8 | 42.9 | 38.4 | 38.70 | 98.18 | 149.2 | 133.7 | 11.59 | 1.36 | 15.79 |
| 0.75 Eto 3P | 49.8 | 49.8 | 54 | 51.20 | 98.18 | 158.4 | 139.2 | 13.79 | 1.42 | 19.56 |
| 0.75 Eto 3B | 31.2 | 32 | 33.2 | 32.13 | 98.18 | 155.9 | 141.8 | 9.94 | 1.44 | 14.36 |
| 0.75 Eto 2P | 50.1 | 47.9 | 51.2 | 49.73 | 98.18 | 165 | 148.4 | 11.19 | 1.51 | 16.91 |

ANEXO 4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

ANÁLISIS DE VARIANZA - PESO FRESCO DE HOJAS

Primera poda

Tabla 30: ANOVA del peso fresco del césped T1 en la primera poda

| Análisis de la varianza | | | | | |
|---|----------|----------------|-------------------|-------|---------|
| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV | |
| Peso fresco T1 (g) | 6 | 0.16 | 0 | 35.49 | |
| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) | | | | | |
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
| Modelo. | 2129.92 | 2 | 1064.96 | 0.28 | 0.7763 |
| Factor de riego | 2129.92 | 2 | 1064.96 | 0.28 | 0.7763 |
| Error | 11583.88 | 3 | 3861.29 | | |
| Total | 13713.8 | 5 | | | |

Tabla 31: ANOVA del peso fresco del césped T2 en la primera poda

| Análisis de la varianza | | | | | |
|---|---------|----------------|-------------------|--------|---------|
| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV | |
| Peso fresco T2 (g) | 6 | 0.5 | 0.17 | 104.77 | |
| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) | | | | | |
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
| Modelo. | 1592.41 | 2 | 796.21 | 1.5 | 0.353 |
| Factor de riego | 1592.41 | 2 | 796.21 | 1.5 | 0.353 |
| Error | 1589.06 | 3 | 529.69 | | |
| Total | 3181.47 | 5 | | | |

Tabla 32: ANOVA del peso fresco del césped T3 en la primera poda

| Análisis de la varianza | | | | | |
|---|---------|----------------|-------------------|-------|---------|
| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV | |
| Peso fresco T3 (g) | 6 | 0.74 | 0.56 | 15.92 | |
| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) | | | | | |
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
| Modelo. | 1035.31 | 2 | 517.66 | 4.24 | 0.1336 |
| Factor de riego | 1035.31 | 2 | 517.66 | 4.24 | 0.1336 |
| Error | 366.37 | 3 | 122.12 | | |
| Total | 1401.68 | 5 | | | |

Segunda poda

Tabla 33: ANOVA del peso fresco del césped T1 en la segunda poda

| Análisis de la varianza | | | | | |
|---|----------|----------------|-------------------|-------|---------|
| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV | |
| Peso fresco T1 (g) | 6 | 0.03 | 0 | 54.55 | |
| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) | | | | | |
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
| Modelo. | 651.34 | 2 | 325.67 | 0.05 | 0.9482 |
| Factor de riego | 651.34 | 2 | 325.67 | 0.05 | 0.9482 |
| Error | 18040.81 | 3 | 6013.6 | | |
| Total | 18692.15 | 5 | | | |

Tabla 34: ANOVA del peso fresco del césped T2 en la segunda poda

| Análisis de la varianza | | | | | |
|---|---------|----------------|-------------------|-------|---------|
| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV | |
| Peso fresco T2 (g) | 6 | 0.58 | 0.31 | 81.22 | |
| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) | | | | | |
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
| Modelo. | 902.42 | 2 | 451.21 | 2.1 | 0.2686 |
| Factor de riego | 902.42 | 2 | 451.21 | 2.1 | 0.2686 |
| Error | 643.51 | 3 | 214.5 | | |
| Total | 1545.93 | 5 | | | |

Tabla 35: ANOVA del peso fresco del césped T3 en la segunda poda

| Análisis de la varianza | | | | | |
|---|---------|----------------|-------------------|-------|---------|
| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV | |
| Peso fresco T3 (g) | 6 | 0.81 | 0.69 | 31.01 | |
| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) | | | | | |
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
| Modelo. | 1987.37 | 2 | 993.69 | 6.48 | 0.0815 |
| Factor de riego | 1987.37 | 2 | 993.69 | 6.48 | 0.0815 |
| Error | 460 | 3 | 153.33 | | |
| Total | 2447.37 | 5 | | | |

Tercera poda

Tabla 36: ANOVA del peso fresco del césped T1 en la tercera poda

| Análisis de la varianza | | | | | |
|---|----------|----------------|-------------------|-------|---------|
| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV | |
| Peso fresco T1 (g) | 6 | 0.73 | 0.55 | 42.86 | |
| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) | | | | | |
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
| Modelo. | 14874.51 | 2 | 7437.26 | 4.11 | 0.1384 |
| Factor de riego | 14874.51 | 2 | 7437.26 | 4.11 | 0.1384 |
| Error | 5434.07 | 3 | 1811.36 | | |
| Total | 20308.58 | 5 | | | |

Tabla 37: ANOVA del peso fresco del césped T2 en la tercera poda

| Análisis de la varianza | | | | | |
|---|--------|----------------|-------------------|------|---------|
| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV | |
| Peso fresco T2 (g) | 6 | 0.78 | 0.64 | 40.3 | |
| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) | | | | | |
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
| Modelo. | 172.96 | 2 | 86.48 | 5.36 | 0.1023 |
| Factor de riego | 172.96 | 2 | 86.48 | 5.36 | 0.1023 |
| Error | 48.41 | 3 | 16.14 | | |
| Total | 221.37 | 5 | | | |

Tabla 38: ANOVA del peso fresco del césped T3 en la tercera poda

| Análisis de la varianza | | | | | |
|---|---------|----------------|-------------------|------|---------|
| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV | |
| Peso fresco T3 (g) | 6 | 0.79 | 0.65 | 36.5 | |
| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) | | | | | |
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
| Modelo. | 3023.47 | 2 | 1511.74 | 5.69 | 0.0953 |
| Factor de riego | 3023.47 | 2 | 1511.74 | 5.69 | 0.0953 |
| Error | 796.91 | 3 | 265.64 | | |
| Total | 3820.38 | 5 | | | |

Cuarta poda

Tabla 39: ANOVA del peso fresco del césped T1 en la cuarta poda

| Análisis de la varianza | | | | | |
|---|---------|----------------|-------------------|-------|---------|
| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV | |
| Peso fresco T1 (g) | 6 | 0.94 | 0.9 | 27.29 | |
| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) | | | | | |
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
| Modelo. | 7851.29 | 2 | 3925.65 | 23.69 | 0.0145 |
| Factor de riego | 7851.29 | 2 | 3925.65 | 23.69 | 0.0145 |
| Error | 497.08 | 3 | 165.69 | | |
| Total | 8348.37 | 5 | | | |

Tabla 40: ANOVA del peso fresco del césped T2 en la cuarta poda

| Análisis de la varianza | | | | | |
|---|-------|----------------|-------------------|-------|---------|
| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV | |
| Peso fresco T2 (g) | 6 | 0.6 | 0.33 | 37.56 | |
| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) | | | | | |
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
| Modelo. | 18.24 | 2 | 9.12 | 2.23 | 0.2549 |
| Factor de riego | 18.24 | 2 | 9.12 | 2.23 | 0.2549 |
| Error | 12.27 | 3 | 4.09 | | |
| Total | 30.51 | 5 | | | |

Tabla 41: ANOVA del peso fresco del césped T3 en la cuarta poda

| Análisis de la varianza | | | | | |
|---|--------|----------------|-------------------|-------|---------|
| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV | |
| Peso fresco T3 (g) | 6 | 0.97 | 0.95 | 12.13 | |
| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) | | | | | |
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
| Modelo. | 858.49 | 2 | 429.25 | 44.51 | 0.0059 |
| Factor de riego | 858.49 | 2 | 429.25 | 44.51 | 0.0059 |
| Error | 28.93 | 3 | 9.64 | | |
| Total | 887.42 | 5 | | | |

Quinta poda

Tabla 42: ANOVA del peso fresco del césped T1 en la quinta poda

| Análisis de la varianza | | | | | |
|---|---------|----------------|-------------------|-------|---------|
| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV | |
| Peso fresco T1 (g) | 6 | 0.65 | 0.42 | 54.31 | |
| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) | | | | | |
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
| Modelo. | 3896.44 | 2 | 1948.22 | 2.83 | 0.2038 |
| Factor de riego | 3896.44 | 2 | 1948.22 | 2.83 | 0.2038 |
| Error | 2063.87 | 3 | 687.96 | | |
| Total | 5960.31 | 5 | | | |

Tabla 43: ANOVA del peso fresco del césped T2 en la quinta poda

| Análisis de la varianza | | | | | |
|---|-------|----------------|-------------------|------|---------|
| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV | |
| Peso fresco T2 (g) | 6 | 0.37 | 0 | 50.5 | |
| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) | | | | | |
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
| Modelo. | 23.24 | 2 | 11.62 | 0.88 | 0.4991 |
| Factor de riego | 23.24 | 2 | 11.62 | 0.88 | 0.4991 |
| Error | 39.44 | 3 | 13.15 | | |
| Total | 62.69 | 5 | | | |

Tabla 44: ANOVA del peso fresco del césped T3 en la quinta poda

| Análisis de la varianza | | | | | |
|---|---------|----------------|-------------------|---------|---------|
| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV | |
| Peso fresco T3 (g) | 6 | 1 | 1 | 1.76 | |
| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) | | | | | |
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
| Modelo. | 2519.6 | 2 | 1259.8 | 1977.65 | <0.0001 |
| Factor de riego | 2519.6 | 2 | 1259.8 | 1977.65 | <0.0001 |
| Error | 1.91 | 3 | 0.64 | | |
| Total | 2521.51 | 5 | | | |

Sexta poda

Tabla 45: ANOVA del peso fresco del césped T1 en la sexta poda

| Análisis de la varianza | | | | | |
|---|---------|----------------|-------------------|-------|---------|
| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV | |
| Peso fresco T1 (g) | 6 | 0.87 | 0.78 | 30.28 | |
| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) | | | | | |
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
| Modelo. | 2874.08 | 2 | 1437.04 | 10.08 | 0.0466 |
| Factor de riego | 2874.08 | 2 | 1437.04 | 10.08 | 0.0466 |
| Error | 427.79 | 3 | 142.6 | | |
| Total | 3301.87 | 5 | | | |

Tabla 46: ANOVA del peso fresco del césped T2 en la sexta poda

| Análisis de la varianza | | | | | |
|---|-------|----------------|-------------------|-------|---------|
| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV | |
| Peso fresco T2 (g) | 6 | 0.14 | 0 | 46.89 | |
| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) | | | | | |
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
| Modelo. | 9.76 | 2 | 4.88 | 0.24 | 0.8015 |
| Factor de riego | 9.76 | 2 | 4.88 | 0.24 | 0.8015 |
| Error | 61.42 | 3 | 20.47 | | |
| Total | 71.18 | 5 | | | |

Tabla 47: ANOVA del peso fresco del césped T3 en la sexta poda

| Análisis de la varianza | | | | | |
|---|---------|----------------|-------------------|-------|---------|
| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV | |
| Peso fresco T3 (g) | 6 | 0.69 | 0.49 | 36.37 | |
| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) | | | | | |
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
| Modelo. | 1880.6 | 2 | 940.3 | 3.38 | 0.1706 |
| Factor de riego | 1880.6 | 2 | 940.3 | 3.38 | 0.1706 |
| Error | 835.55 | 3 | 278.52 | | |
| Total | 2716.15 | 5 | | | |

Sétima poda

Tabla 48: ANOVA del peso fresco del césped T1 en la sétima poda

| Análisis de la varianza | | | | | |
|---|----------|----------------|-------------------|-------|---------|
| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV | |
| Peso fresco T1 (g) | 6 | 0.9 | 0.84 | 44.01 | |
| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) | | | | | |
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
| Modelo. | 11309.85 | 2 | 5654.93 | 13.99 | 0.0301 |
| Factor de riego | 11309.85 | 2 | 5654.93 | 13.99 | 0.0301 |
| Error | 1212.42 | 3 | 404.14 | | |
| Total | 12522.27 | 5 | | | |

Tabla 49: ANOVA del peso fresco del césped T2 en la sétima poda

| Análisis de la varianza | | | | | |
|---|--------|----------------|-------------------|-------|---------|
| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV | |
| Peso fresco T2 (g) | 6 | 0.57 | 0.28 | 58.05 | |
| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) | | | | | |
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
| Modelo. | 94.42 | 2 | 47.21 | 1.95 | 0.2861 |
| Factor de riego | 94.42 | 2 | 47.21 | 1.95 | 0.2861 |
| Error | 72.47 | 3 | 24.16 | | |
| Total | 166.89 | 5 | | | |

Tabla 50: ANOVA del peso fresco del césped T3 en la sétima poda

| Análisis de la varianza | | | | | |
|---|---------|----------------|-------------------|-------|---------|
| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV | |
| Peso fresco T3 (g) | 6 | 0.93 | 0.88 | 17.86 | |
| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) | | | | | |
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
| Modelo. | 3462.49 | 2 | 1731.25 | 18.84 | 0.02 |
| Factor de riego | 3462.49 | 2 | 1731.25 | 18.84 | 0.02 |
| Error | 275.7 | 3 | 91.9 | | |
| Total | 3738.19 | 5 | | | |

ANÁLISIS DE VARIANZA - ALTURA DE HOJAS

Primera medición

Tabla 51: ANOVA de la altura de hojas del césped T1 en la primera medición

| Análisis de la varianza | | | | | |
|---|-------|----------------|-------------------|-------|---------|
| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV | |
| Altura de hojas T1 (cm) | 6 | 0.54 | 0.24 | 12.68 | |
| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) | | | | | |
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
| Modelo. | 6.54 | 2 | 3.27 | 1.79 | 0.3082 |
| Factor de riego | 6.54 | 2 | 3.27 | 1.79 | 0.3082 |
| Error | 5.49 | 3 | 1.83 | | |
| Total | 12.03 | 5 | | | |

Tabla 52: ANOVA de la altura de hojas del césped T2 en la primera medición

| Análisis de la varianza | | | | | |
|---|------|----------------|-------------------|-------|---------|
| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV | |
| Altura de hojas T2 (cm) | 6 | 0.3 | 0 | 15.49 | |
| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) | | | | | |
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
| Modelo. | 0.76 | 2 | 0.38 | 0.63 | 0.5896 |
| Factor de riego | 0.76 | 2 | 0.38 | 0.63 | 0.5896 |
| Error | 1.8 | 3 | 0.6 | | |
| Total | 2.56 | 5 | | | |

Tabla 53: ANOVA de la altura de hojas del césped T3 en la primera medición

| Análisis de la varianza | | | | | |
|---|------|----------------|-------------------|-------|---------|
| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV | |
| Altura de hojas T3 (cm) | 6 | 0.89 | 0.81 | 4.35 | |
| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) | | | | | |
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
| Modelo. | 3.24 | 2 | 1.62 | 11.71 | 0.0383 |
| Factor de riego | 3.24 | 2 | 1.62 | 11.71 | 0.0383 |
| Error | 0.42 | 3 | 0.14 | | |
| Total | 3.66 | 5 | | | |

Segunda medición

Tabla 54: ANOVA de la altura de hojas del césped T1 en la segunda medición

| Análisis de la varianza | | | | | |
|---|------|----------------|-------------------|------|---------|
| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV | |
| Altura de hojas T1 (cm) | 6 | 0.09 | 0 | 9.88 | |
| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) | | | | | |
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
| Modelo. | 0.58 | 2 | 0.29 | 0.14 | 0.8717 |
| Factor de riego | 0.58 | 2 | 0.29 | 0.14 | 0.8717 |
| Error | 6.09 | 3 | 2.03 | | |
| Total | 6.67 | 5 | | | |

Tabla 55: ANOVA de la altura de hojas del césped T2 en la segunda medición

| Análisis de la varianza | | | | | |
|---|-------|----------------|-------------------|-------|---------|
| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV | |
| Altura de hojas T2 (cm) | 6 | 0.54 | 0.23 | 19.53 | |
| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) | | | | | |
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
| Modelo. | 7.2 | 2 | 3.6 | 1.74 | 0.315 |
| Factor de riego | 7.2 | 2 | 3.6 | 1.74 | 0.315 |
| Error | 6.21 | 3 | 2.07 | | |
| Total | 13.41 | 5 | | | |

Tabla 56: ANOVA de la altura de hojas del césped T3 en la segunda medición

| Análisis de la varianza | | | | | |
|---|-------|----------------|-------------------|--------|---------|
| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV | |
| Altura de hojas T3 (cm) | 6 | 0.99 | 0.98 | 2.2 | |
| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) | | | | | |
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
| Modelo. | 10.76 | 2 | 5.38 | 107.63 | 0.0016 |
| Factor de riego | 10.76 | 2 | 5.38 | 107.63 | 0.0016 |
| Error | 0.15 | 3 | 0.05 | | |
| Total | 10.91 | 5 | | | |

Tercera medición

Tabla 57: ANOVA de la altura de hojas del césped T1 en la tercera medición

| Análisis de la varianza | | | | | |
|---|-------|----------------|-------------------|-------|---------|
| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV | |
| Altura de hojas T1 (cm) | 6 | 0.67 | 0.44 | 12.41 | |
| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) | | | | | |
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
| Modelo. | 19.06 | 2 | 9.53 | 3 | 0.1924 |
| Factor de riego | 19.06 | 2 | 9.53 | 3 | 0.1924 |
| Error | 9.53 | 3 | 3.18 | | |
| Total | 28.59 | 5 | | | |

Tabla 58: ANOVA de la altura de hojas del césped T2 en la tercera medición

| Análisis de la varianza | | | | | |
|---|------|----------------|-------------------|------|---------|
| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV | |
| Altura de hojas T2 (cm) | 6 | 0.76 | 0.59 | 5.98 | |
| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) | | | | | |
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
| Modelo. | 1.99 | 2 | 1 | 4.63 | 0.1211 |
| Factor de riego | 1.99 | 2 | 1 | 4.63 | 0.1211 |
| Error | 0.64 | 3 | 0.22 | | |
| Total | 2.64 | 5 | | | |

Tabla 59: ANOVA de la altura de hojas del césped T3 en la tercera medición

| Análisis de la varianza | | | | | |
|---|-------|----------------|-------------------|-------|---------|
| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV | |
| Altura de hojas T3 (cm) | 6 | 0.94 | 0.9 | 4.5 | |
| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) | | | | | |
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
| Modelo. | 12.26 | 2 | 6.13 | 24.05 | 0.0142 |
| Factor de riego | 12.26 | 2 | 6.13 | 24.05 | 0.0142 |
| Error | 0.76 | 3 | 0.25 | | |
| Total | 13.03 | 5 | | | |

Cuarta medición

Tabla 60: ANOVA de la altura de hojas del césped T1 en la cuarta medición

| Análisis de la varianza | | | | | |
|---|-------|----------------|-------------------|-------|---------|
| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV | |
| Altura de hojas T1 (cm) | 6 | 0.96 | 0.93 | 4.28 | |
| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) | | | | | |
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
| Modelo. | 19 | 2 | 9.5 | 33.14 | 0.009 |
| Factor de riego | 19 | 2 | 9.5 | 33.14 | 0.009 |
| Error | 0.86 | 3 | 0.29 | | |
| Total | 19.86 | 5 | | | |

Tabla 61: ANOVA de la altura de hojas del césped T2 en la cuarta medición

| Análisis de la varianza | | | | | |
|---|------|----------------|-------------------|-------|---------|
| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV | |
| Altura de hojas T2 (cm) | 6 | 0.76 | 0.6 | 10.53 | |
| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) | | | | | |
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
| Modelo. | 5.11 | 2 | 2.56 | 4.7 | 0.1189 |
| Factor de riego | 5.11 | 2 | 2.56 | 4.7 | 0.1189 |
| Error | 1.63 | 3 | 0.54 | | |
| Total | 6.74 | 5 | | | |

Tabla 62: ANOVA de la altura de hojas del césped T3 en la cuarta medición

| Análisis de la varianza | | | | | |
|---|-------|----------------|-------------------|-------|---------|
| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV | |
| Altura de hojas T3 (cm) | 6 | 0.52 | 0.2 | 11.58 | |
| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) | | | | | |
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
| Modelo. | 5.4 | 2 | 2.7 | 1.64 | 0.3295 |
| Factor de riego | 5.4 | 2 | 2.7 | 1.64 | 0.3295 |
| Error | 4.93 | 3 | 1.64 | | |
| Total | 10.33 | 5 | | | |

Quinta medición

Tabla 63: ANOVA de la altura de hojas del césped T1 en la quinta medición

| Análisis de la varianza | | | | | |
|---|-------|----------------|-------------------|-------|---------|
| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV | |
| Altura de hojas T1 (cm) | 6 | 0.89 | 0.82 | 6.66 | |
| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) | | | | | |
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
| Modelo. | 19.05 | 2 | 9.53 | 12.65 | 0.0345 |
| Factor de riego | 19.05 | 2 | 9.53 | 12.65 | 0.0345 |
| Error | 2.26 | 3 | 0.75 | | |
| Total | 21.31 | 5 | | | |

Tabla 64: ANOVA de la altura de hojas del césped T2 en la quinta medición

| Análisis de la varianza | | | | | |
|---|------|----------------|-------------------|-------|---------|
| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV | |
| Altura de hojas T2 (cm) | 6 | 0.49 | 0.14 | 12.73 | |
| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) | | | | | |
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
| Modelo. | 1.86 | 2 | 0.93 | 1.42 | 0.3684 |
| Factor de riego | 1.86 | 2 | 0.93 | 1.42 | 0.3684 |
| Error | 1.97 | 3 | 0.66 | | |
| Total | 3.83 | 5 | | | |

Tabla 65: ANOVA de la altura de hojas del césped T3 en la quinta medición

| Análisis de la varianza | | | | | |
|---|------|----------------|-------------------|------|---------|
| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV | |
| Altura de hojas T3 (cm) | 6 | 0.86 | 0.77 | 5.21 | |
| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) | | | | | |
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
| Modelo. | 6.52 | 2 | 3.26 | 9.23 | 0.0523 |
| Factor de riego | 6.52 | 2 | 3.26 | 9.23 | 0.0523 |
| Error | 1.06 | 3 | 0.35 | | |
| Total | 7.58 | 5 | | | |

Sexta medición

Tabla 66: ANOVA de la altura de hojas del césped T1 en la sexta medición

| Análisis de la varianza | | | | | |
|---|-------|----------------|-------------------|------|---------|
| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV | |
| Altura de hojas T1 (cm) | 6 | 0.84 | 0.73 | 7.13 | |
| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) | | | | | |
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
| Modelo. | 9.66 | 2 | 4.83 | 7.75 | 0.0653 |
| Factor de riego | 9.66 | 2 | 4.83 | 7.75 | 0.0653 |
| Error | 1.87 | 3 | 0.62 | | |
| Total | 11.53 | 5 | | | |

Tabla 67: ANOVA de la altura de hojas del césped T2 en la sexta medición

| Análisis de la varianza | | | | | |
|---|------|----------------|-------------------|-------|---------|
| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV | |
| Altura de hojas T2 (cm) | 6 | 0.52 | 0.21 | 14.24 | |
| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) | | | | | |
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
| Modelo. | 2.83 | 2 | 1.42 | 1.65 | 0.3283 |
| Factor de riego | 2.83 | 2 | 1.42 | 1.65 | 0.3283 |
| Error | 2.57 | 3 | 0.86 | | |
| Total | 5.4 | 5 | | | |

Tabla 68: ANOVA de la altura de hojas del césped T3 en la sexta medición

| Análisis de la varianza | | | | | |
|---|-------|----------------|-------------------|-------|---------|
| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV | |
| Altura de hojas T3 (cm) | 6 | 0.83 | 0.72 | 10.16 | |
| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) | | | | | |
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
| Modelo. | 15.33 | 2 | 7.67 | 7.36 | 0.0697 |
| Factor de riego | 15.33 | 2 | 7.67 | 7.36 | 0.0697 |
| Error | 3.13 | 3 | 1.04 | | |
| Total | 18.46 | 5 | | | |

Sétima medición

Tabla 69: ANOVA de la altura de hojas del césped T1 en la sétima medición

| Análisis de la varianza | | | | | |
|---|-------|----------------|-------------------|-------|---------|
| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV | |
| Altura de hojas T1 (cm) | 6 | 0.81 | 0.68 | 13.46 | |
| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) | | | | | |
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
| Modelo. | 25.11 | 2 | 12.56 | 6.23 | 0.0855 |
| Factor de riego | 25.11 | 2 | 12.56 | 6.23 | 0.0855 |
| Error | 6.05 | 3 | 2.02 | | |
| Total | 31.16 | 5 | | | |

Tabla 70: ANOVA de la altura de hojas del césped T2 en la sétima medición

| Análisis de la varianza | | | | | |
|---|------|----------------|-------------------|------|---------|
| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV | |
| Altura de hojas T2 (cm) | 6 | 0.8 | 0.66 | 7.64 | |
| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) | | | | | |
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
| Modelo. | 3.04 | 2 | 1.52 | 5.88 | 0.0916 |
| Factor de riego | 3.04 | 2 | 1.52 | 5.88 | 0.0916 |
| Error | 0.78 | 3 | 0.26 | | |
| Total | 3.82 | 5 | | | |

Tabla 71: ANOVA de la altura de hojas del césped T3 en la sétima medición

| Análisis de la varianza | | | | | |
|---|-------|----------------|-------------------|-------|---------|
| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV | |
| Altura de hojas T3 (cm) | 6 | 0.9 | 0.84 | 6.89 | |
| Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III) | | | | | |
| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
| Modelo. | 15.29 | 2 | 7.65 | 13.99 | 0.0301 |
| Factor de riego | 15.29 | 2 | 7.65 | 13.99 | 0.0301 |
| Error | 1.64 | 3 | 0.55 | | |
| Total | 16.93 | 5 | | | |

ANEXO 5 DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO

DISEÑO AGRONÓMICO

La evapotranspiración de referencia fue obtenida del resumen del registro meteorológico entre los años 2000 y 2010 (tabla 1), en el cual la ETo crítica fue de 4.16 mm/día correspondiente al mes de marzo.

El área correspondiente a cada unidad experimental fue de 9 m² y en total fueron 27 unidades experimentales, sin embargo el sistema de riego que se instaló para esta investigación, también sirvió para otras áreas que no correspondieron a la tesis, por lo tanto el diseño agronómico se calculó en base a todas las parcelas experimentales incluido las otras áreas.

El Kc del césped se consideró igual a la unidad, por lo que la ETc fue de 4.16 mm/día.

La fuente de agua fue proveniente de los dos reservorios de la URT, donde se contaba con agua durante todo el tiempo que duró la investigación.

Procedimiento:

Tipo de cultivo

| | | |
|-------------------|--------|---|
| Cultivo | Césped | |
| Largo de parcelas | 3.0 | m |
| Ancho de parcelas | 3.0 | m |

Precipitación del sistema

| | | |
|------------------------------|----------|------|
| Tipo de emisor | rociador | |
| N° boquilla | VAN 10 | |
| Presión | 2.1 | bar |
| Radio | 3.1 | m |
| Precipitación horaria (prom) | 68.8 | mm/h |

Necesidades del cultivo

| | | |
|--------------------------------|------|---------|
| Eto (mes critico) | 4.16 | mm/día |
| Kc (césped) | 1 | |
| Etc | 4.16 | mm/día |
| Precipitación efectiva | 0 | mm/día |
| Lamina a reponer (max demanda) | 4.16 | mm/día |
| Eficiencia | 70 | % |
| Lamina a reponer total | 5.94 | mm/día |
| Tiempo de riego | 5.18 | min/día |

Operación del sistema

| | | |
|----------------------------------|------|-------------------------|
| N° válvulas por turno | 2 | und |
| N° turnos | 3 | |
| Área del proyecto | 738 | m ² |
| Área del turno 1 | 234 | m ² |
| Área del turno 2 | 234 | m ² |
| Área del turno 3 (turno crítico) | 270 | m ² |
| Capacidad de riego por Ha | 688 | m ³ /haxhora |
| Caudal del turno crítico | 26.7 | m ³ /h |
| Caudal preliminar de la bomba | 7.42 | lps |

Para el cálculo del caudal del turno crítico, el área total del proyecto se dividió en dos áreas, donde la primera área está formada por los sectores S1, S2 y S3 con 153, 81 y 153 m² respectivamente y la segunda área cuyos sectores son S4, S5 y S6 con 81, 189 y 81 m² respectivamente, siendo el área crítica la suma de las áreas de los sectores S1, S2 y S3 igual a 387 m². Por lo tanto, para esta área el caudal correspondiente fue de 26.7 m³/h que es equivalente a 7.42 lps.

DISEÑO HIDRÁULICO

El área total en el que se instaló el sistema de riego presurizado fue de 738 m² dividido en seis sectores, donde solo los sectores S2, S4 y S6 pertenecen a la tesis, los demás sectores se combinaron con los mencionados anteriormente formando grupos de dos, de donde se obtuvieron los siguientes turnos de riego: T1 (S1-S2), T2 (S3-S4) y T3 (S5-S6).

Los cálculos hidráulicos para las tuberías matrices y de distribución se presentan en las tablas 72 y 73, en donde se obtuvo una tubería de mayor diámetro de 2" o su equivalente de 63 mm. De estas tablas se obtuvieron los caudales acumulados para las tuberías matrices, en donde se escogió la mayor suma de los caudales acumulados correspondiendo a los sectores S1, S2 y S3 con un valor de 7.31 lps, dicho caudal se utilizó para la elección de la electrobomba.

En la Fig. 41 se presenta la distribución de tuberías en el sistema de riego.

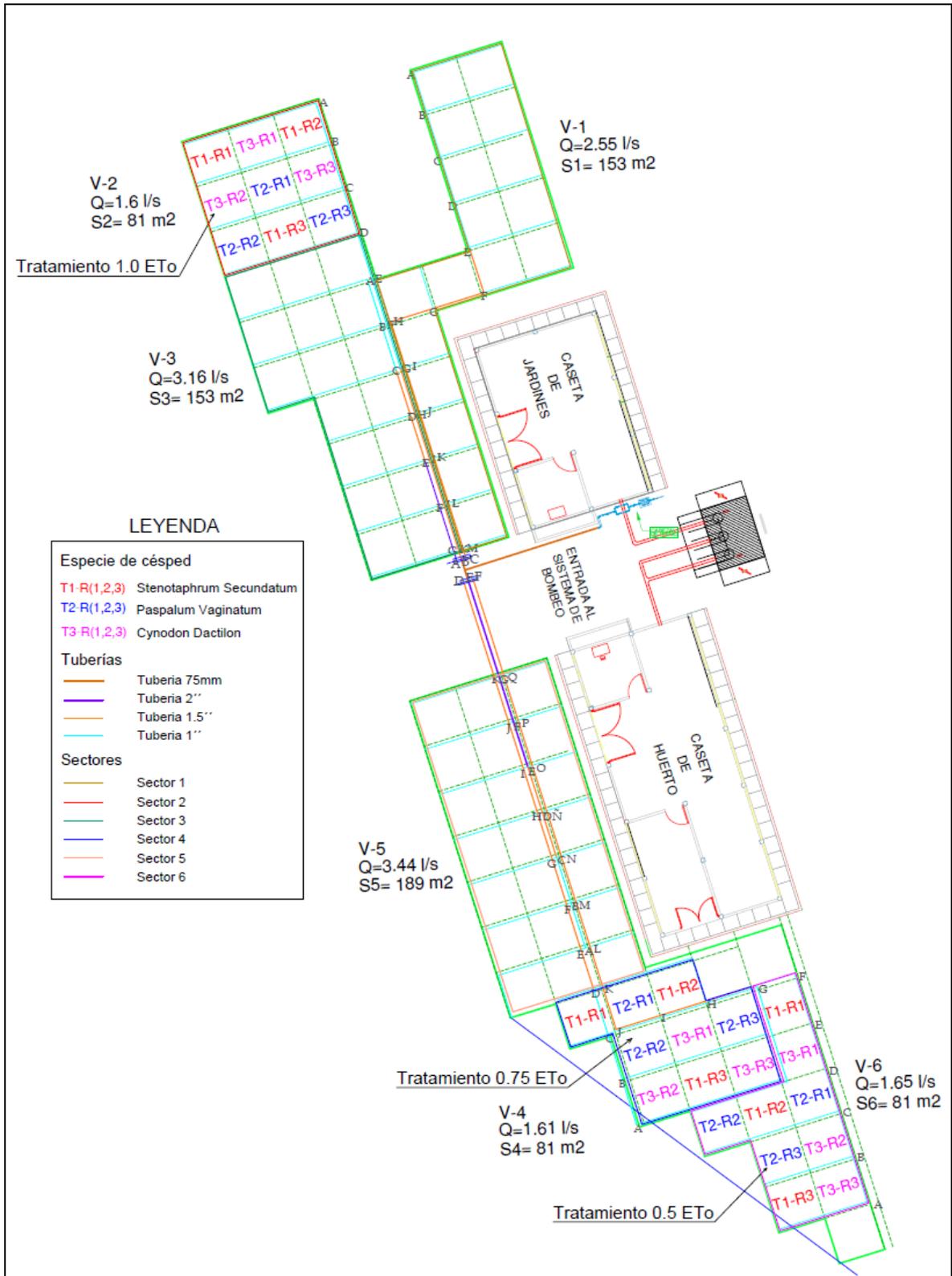


Figura 41: Distribución de tuberías

Tabla 72: Cálculos hidráulicos en tubería matriz y distribución en bloque I

| BLOQUE I (S1-S2-S3) | | | | | | | | | |
|---|--------|----------------|-----------------|----------|--------------|----------------|-------------------|------------------|---------|
| CÁLCULO HIDRÁULICO DE LA TUBERÍA MATRIZ | | | | | | | | | |
| TRAMO | CAUDAL | CAUDAL | DIÁMETRO | LONGITUD | LONGITUD | PÉRDIDA | PÉRDIDA | VELOCID. | OBSERV. |
| Nº | (l/s) | ACUM. (l/s) | INTERNO (mm) | (m) | ACUM. (m) | HF (m.c.a.) | ACUM. (m.c.a.) | CRÍTICA (m/s) | |
| TUBERÍA A | | | | | | | | | |
| A-B | 0.56 | 0.56 | 32.00 | 3.00 | 3.00 | 0.06 | 0.06 | 0.70 | O.K. |
| B-C | 0.59 | 1.15 | 32.00 | 3.00 | 6.00 | 0.21 | 0.27 | 1.43 | O.K. |
| C-D | 0.51 | 1.66 | 50.00 | 3.00 | 9.00 | 0.05 | 0.32 | 0.85 | O.K. |
| D-E | 0.42 | 2.08 | 50.00 | 3.00 | 12.00 | 0.07 | 0.40 | 1.06 | O.K. |
| E-F | 0.42 | 2.50 | 63.00 | 3.00 | 15.00 | 0.03 | 0.43 | 0.80 | O.K. |
| F-G | 0.42 | 2.92 | 63.00 | 3.00 | 18.00 | 0.04 | 0.47 | 0.94 | O.K. |
| G-A | 0.24 | 3.16 | 63.00 | 3.00 | 21.00 | 0.05 | 0.52 | 1.01 | O.K. |
| TUBERÍA B | | | | | | | | | |
| A-B | 0.28 | 0.28 | 32.00 | 3.00 | 3.00 | 0.02 | 0.02 | 0.35 | O.K. |
| B-C | 0.52 | 0.80 | 32.00 | 3.00 | 6.00 | 0.11 | 0.13 | 0.99 | O.K. |
| C-D | 0.52 | 1.32 | 32.00 | 3.00 | 9.00 | 0.27 | 0.40 | 1.64 | O.K. |
| D-E | 0.28 | 1.60 | 32.00 | 3.00 | 12.00 | 0.38 | 0.79 | 1.99 | O.K. |
| E-F | 0.00 | 1.60 | 32.00 | 3.00 | 15.00 | 0.38 | 1.17 | 1.99 | O.K. |
| F-G | 0.00 | 1.60 | 32.00 | 3.00 | 18.00 | 0.38 | 1.55 | 1.99 | O.K. |
| G-H | 0.00 | 1.60 | 50.00 | 3.00 | 21.00 | 0.05 | 1.60 | 0.81 | O.K. |
| H-I | 0.00 | 1.60 | 50.00 | 3.00 | 24.00 | 0.05 | 1.64 | 0.81 | O.K. |
| I-J | 0.00 | 1.60 | 50.00 | 3.00 | 27.00 | 0.05 | 1.69 | 0.81 | O.K. |
| J-K | 0.00 | 1.60 | 50.00 | 3.00 | 30.00 | 0.05 | 1.73 | 0.81 | O.K. |
| K-B | 0.00 | 1.60 | 50.00 | 3.00 | 33.00 | 0.05 | 1.78 | 0.81 | O.K. |
| TUBERÍA C | | | | | | | | | |
| A-B | 0.19 | 0.19 | 32.00 | 3.00 | 3.00 | 0.01 | 0.01 | 0.24 | O.K. |
| B-C | 0.35 | 0.54 | 32.00 | 3.00 | 6.00 | 0.06 | 0.07 | 0.67 | O.K. |
| C-D | 0.35 | 0.89 | 32.00 | 3.00 | 9.00 | 0.14 | 0.20 | 1.11 | O.K. |
| D-E | 0.35 | 1.24 | 32.00 | 3.00 | 12.00 | 0.24 | 0.45 | 1.54 | O.K. |
| E-F | 0.39 | 1.63 | 50.00 | 3.00 | 15.00 | 0.05 | 0.49 | 0.83 | O.K. |
| F-G | 0.24 | 1.87 | 50.00 | 3.00 | 18.00 | 0.06 | 0.55 | 0.95 | O.K. |
| G-H | 0.23 | 2.10 | 50.00 | 3.00 | 21.00 | 0.07 | 0.63 | 1.07 | O.K. |
| H-I | 0.00 | 2.10 | 50.00 | 3.00 | 24.00 | 0.07 | 0.70 | 1.07 | O.K. |
| I-J | 0.10 | 2.20 | 50.00 | 3.00 | 27.00 | 0.08 | 0.78 | 1.12 | O.K. |
| J-K | 0.10 | 2.30 | 50.00 | 3.00 | 30.00 | 0.09 | 0.87 | 1.17 | O.K. |
| K-L | 0.10 | 2.40 | 50.00 | 3.00 | 33.00 | 0.09 | 0.96 | 1.22 | O.K. |
| L-M | 0.10 | 2.50 | 50.00 | 3.00 | 36.00 | 0.10 | 1.06 | 1.27 | O.K. |
| M-C | 0.05 | 2.55 | 50.00 | 3.00 | 39.00 | 0.10 | 1.17 | 1.30 | O.K. |

Tabla 73: Cálculos hidráulicos en tubería matriz y distribución en bloque II

| BLOQUE II (S4-S5-S6) | | | | | | | | | |
|---|--------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|
| CÁLCULO HIDRÁULICO DE LA TUBERÍA MATRIZ | | | | | | | | | |
| TRAMO | CAUDAL | CAUDAL | DIÁMETRO | LONGITUD | LONGITUD | PÉRDIDA | PÉRDIDA | VELOCID. | OBSERV. |
| Nº | (l/s) | ACUM. | INTERNO | (m) | ACUM. | HF | ACUM. | CRÍTICA | |
| | | (l/s) | (mm) | | (m) | (m.c.a.) | (m.c.a.) | (m/s) | |
| TUBERÍA D | | | | | | | | | |
| A-B | 0.28 | 0.28 | 32.00 | 3.00 | 3.00 | 0.02 | 0.02 | 0.35 | O.K. |
| B-C | 0.52 | 0.80 | 32.00 | 3.00 | 6.00 | 0.11 | 0.13 | 0.99 | O.K. |
| C-D | 0.53 | 1.33 | 32.00 | 3.00 | 9.00 | 0.28 | 0.41 | 1.65 | O.K. |
| D-E | 0.28 | 1.61 | 50.00 | 3.00 | 12.00 | 0.05 | 0.45 | 0.82 | O.K. |
| E-F | 0.00 | 1.61 | 50.00 | 3.00 | 15.00 | 0.05 | 0.50 | 0.82 | O.K. |
| F-G | 0.00 | 1.61 | 50.00 | 3.00 | 18.00 | 0.05 | 0.55 | 0.82 | O.K. |
| G-H | 0.00 | 1.61 | 50.00 | 3.00 | 21.00 | 0.05 | 0.59 | 0.82 | O.K. |
| H-I | 0.00 | 1.61 | 50.00 | 3.00 | 24.00 | 0.05 | 0.64 | 0.82 | O.K. |
| I-J | 0.00 | 1.61 | 50.00 | 3.00 | 27.00 | 0.05 | 0.69 | 0.82 | O.K. |
| J-K | 0.00 | 1.61 | 50.00 | 3.00 | 30.00 | 0.05 | 0.73 | 0.82 | O.K. |
| K-D | 0.00 | 1.61 | 50.00 | 7.00 | 37.00 | 0.11 | 0.84 | 0.82 | O.K. |
| TUBERÍA E | | | | | | | | | |
| A-B | 0.56 | 0.56 | 32.00 | 3.00 | 3.00 | 0.06 | 0.06 | 0.70 | O.K. |
| B-C | 0.52 | 1.08 | 32.00 | 3.00 | 6.00 | 0.19 | 0.25 | 1.34 | O.K. |
| C-D | 0.52 | 1.60 | 50.00 | 3.00 | 9.00 | 0.05 | 0.30 | 0.81 | O.K. |
| D-E | 0.52 | 2.12 | 50.00 | 3.00 | 12.00 | 0.07 | 0.37 | 1.08 | O.K. |
| E-F | 0.52 | 2.64 | 63.00 | 3.00 | 15.00 | 0.04 | 0.41 | 0.85 | O.K. |
| F-G | 0.52 | 3.16 | 63.00 | 3.00 | 18.00 | 0.05 | 0.46 | 1.01 | O.K. |
| G-E | 0.28 | 3.44 | 63.00 | 7.00 | 25.00 | 0.14 | 0.60 | 1.10 | O.K. |
| TUBERÍA F | | | | | | | | | |
| A-B | 0.19 | 0.19 | 32.00 | 3.00 | 3.00 | 0.01 | 0.01 | 0.24 | O.K. |
| B-C | 0.35 | 0.54 | 32.00 | 3.00 | 6.00 | 0.06 | 0.07 | 0.67 | O.K. |
| C-D | 0.44 | 0.98 | 32.00 | 3.00 | 9.00 | 0.16 | 0.23 | 1.22 | O.K. |
| D-E | 0.10 | 1.08 | 32.00 | 3.00 | 12.00 | 0.19 | 0.42 | 1.34 | O.K. |
| E-F | 0.10 | 1.18 | 32.00 | 3.00 | 15.00 | 0.22 | 0.64 | 1.47 | O.K. |
| F-G | 0.05 | 1.23 | 32.00 | 3.00 | 18.00 | 0.24 | 0.88 | 1.53 | O.K. |
| G-H | 0.42 | 1.65 | 50.00 | 3.00 | 21.00 | 0.05 | 0.93 | 0.84 | O.K. |
| H-I | 0.00 | 1.65 | 50.00 | 3.00 | 24.00 | 0.05 | 0.98 | 0.84 | O.K. |
| I-J | 0.00 | 1.65 | 50.00 | 3.00 | 27.00 | 0.05 | 1.03 | 0.84 | O.K. |
| J-K | 0.00 | 1.65 | 50.00 | 3.00 | 30.00 | 0.05 | 1.08 | 0.84 | O.K. |
| K-L | 0.00 | 1.65 | 50.00 | 3.00 | 33.00 | 0.05 | 1.13 | 0.84 | O.K. |
| L-M | 0.00 | 1.65 | 50.00 | 3.00 | 36.00 | 0.05 | 1.18 | 0.84 | O.K. |
| M-N | 0.00 | 1.65 | 50.00 | 3.00 | 39.00 | 0.05 | 1.22 | 0.84 | O.K. |
| N-Ñ | 0.00 | 1.65 | 50.00 | 3.00 | 42.00 | 0.05 | 1.27 | 0.84 | O.K. |
| Ñ-O | 0.00 | 1.65 | 50.00 | 3.00 | 45.00 | 0.05 | 1.32 | 0.84 | O.K. |
| O-P | 0.00 | 1.65 | 50.00 | 3.00 | 48.00 | 0.05 | 1.37 | 0.84 | O.K. |
| P-Q | 0.00 | 1.65 | 50.00 | 3.00 | 51.00 | 0.05 | 1.42 | 0.84 | O.K. |
| Q-F | 0.00 | 1.65 | 50.00 | 7.00 | 58.00 | 0.11 | 1.53 | 0.84 | O.K. |

ANEXO 6 EVALUACIÓN DE LA UNIFORMIDAD DEL RIEGO

| SECTOR 1.0 ETo | | |
|------------------------|---------------|-----|
| Fecha | 06/04/2017 | |
| Tipo de emisor | Rociador 1800 | |
| Boquilla | HE-VAN 10 | |
| Hora | 12:00 | pm |
| Presión | 2.1 | bar |
| Tiempo | 15 | min |
| Diámetro de recipiente | 9.5 | cm |

| Volumen (ml) | | | | | | | | | |
|----------------------|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| fila\columna | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | 66.9 | 62.7 | 46.8 | 49 | 50 | 47 | 49 | 65 | 46 |
| 2 | 57.0 | 63.8 | 50.1 | 50 | 60 | 48 | 46 | 60 | 69 |
| 3 | 75.2 | 64.9 | 44.7 | 78 | 73 | 60 | 69 | 78 | 107 |
| 4 | 65 | 62.5 | 69 | 48 | 65 | 65 | 56 | 55 | 69 |
| 5 | 48 | 63.5 | 105 | 89.5 | 94 | 80 | 77 | 64 | 60 |
| 6 | 31 | 58 | 64 | 40.5 | 63 | 57 | 37.5 | 46 | 68 |
| 7 | 51 | 69 | 58 | 53 | 72.5 | 52.5 | 57.5 | 73.5 | 64.5 |
| 8 | 53.5 | 64 | 56 | 51.5 | 69 | 66 | 55 | 73.5 | 49 |
| 9 | 50 | 74 | 102 | 81.5 | 86.5 | 70 | 54.5 | 59 | 57 |
| Promedio 100% | 62.47 | | | | | | | | |
| Promedio 25% | 46.38 | | | | | | | | |
| DU | 74% | | | | | | | | |

| Velocidad de aplicación (mm/hr) | | | | | | | | | |
|---------------------------------|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| fila\columna | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | 37.8 | 35.4 | 26.4 | 27.7 | 28.2 | 26.5 | 27.7 | 36.7 | 26.0 |
| 2 | 32.2 | 36.0 | 28.3 | 28.2 | 33.9 | 27.1 | 26.0 | 33.9 | 38.9 |
| 3 | 42.4 | 36.6 | 25.2 | 44.0 | 41.2 | 33.9 | 38.9 | 44.0 | 60.4 |
| 4 | 36.7 | 35.3 | 38.9 | 27.1 | 36.7 | 36.7 | 31.6 | 31.0 | 38.9 |
| 5 | 27.1 | 35.8 | 59.3 | 50.5 | 53.0 | 45.1 | 43.5 | 36.1 | 33.9 |
| 6 | 17.5 | 32.7 | 36.1 | 22.9 | 35.6 | 32.2 | 21.2 | 26.0 | 38.4 |
| 7 | 28.8 | 38.9 | 32.7 | 29.9 | 40.9 | 29.6 | 32.4 | 41.5 | 36.4 |
| 8 | 30.2 | 36.1 | 31.6 | 29.1 | 38.9 | 37.2 | 31.0 | 41.5 | 27.7 |
| 9 | 28.2 | 41.8 | 57.6 | 46.0 | 48.8 | 39.5 | 30.8 | 33.3 | 32.2 |
| Promedio 100% | 35.25 | | | | | | | | |

| SECTOR 0.75 ETo | | |
|------------------------|---------------|-----|
| Fecha | 06/04/2017 | |
| Tipo de emisor | Rociador 1800 | |
| Boquilla | HE-VAN 10 | |
| Hora | 12:50 | pm |
| Presión | 2.1 | bar |
| Tiempo | 11.25 | min |
| Diámetro de recipiente | 9.5 | cm |

| Volumen (ml) | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|------------|----|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| fila\columna | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1 | 45 | 23 | 26 | 22 | 55 | 38 | 62 | 74 | 48 | | | |
| 2 | 43 | 28 | 43 | 28 | 51 | 36 | 35 | 34 | 49 | | | |
| 3 | 50 | 38 | 33 | 50 | 46 | 55 | 36 | 28 | 24 | | | |
| 4 | 28 | 62 | 28 | 30.3 | 46 | 57 | 41 | 53 | 47 | | | |
| 5 | 35 | 37 | 33 | 50 | 34 | 73 | 63 | 58 | 51 | | | |
| 6 | 58 | 62 | 65 | 27 | 55 | 61 | 32 | 64 | 49 | | | |
| 7 | | | | 31 | 45 | 44 | 47.5 | 42 | 27.5 | 49 | 57 | 39.5 |
| 8 | | | | 48 | 44 | 52 | 45.5 | 48 | 44.5 | 66.5 | 46 | 45 |
| 9 | | | | 23 | 44.5 | 54.5 | 51.5 | 47.5 | 47 | 40.5 | 47.5 | 49.5 |
| Promedio 100% | 44.78 | | | | | | | | | | | |
| Promedio 25% | 28.74 | | | | | | | | | | | |
| DU | 64% | | | | | | | | | | | |

| Velocidad de aplicación (mm/hr) | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| fila\columna | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1 | 33.9 | 17.3 | 19.6 | 16.6 | 41.4 | 28.6 | 46.7 | 55.7 | 36.1 | | | |
| 2 | 32.4 | 21.1 | 32.4 | 21.1 | 38.4 | 27.1 | 26.3 | 25.6 | 36.9 | | | |
| 3 | 37.6 | 28.6 | 24.8 | 37.6 | 34.6 | 41.4 | 27.1 | 21.1 | 18.1 | | | |
| 4 | 21.1 | 46.7 | 21.1 | 22.8 | 34.6 | 42.9 | 30.8 | 39.9 | 35.4 | | | |
| 5 | 26.3 | 27.8 | 24.8 | 37.6 | 25.6 | 54.9 | 47.4 | 43.6 | 38.4 | | | |
| 6 | 43.6 | 46.7 | 48.9 | 20.3 | 41.4 | 45.9 | 24.1 | 48.2 | 36.9 | | | |
| 7 | | | | 23.3 | 33.9 | 33.1 | 35.7 | 31.6 | 20.7 | 36.9 | 42.9 | 29.7 |
| 8 | | | | 36.1 | 33.1 | 39.1 | 34.2 | 36.1 | 33.5 | 50.0 | 34.6 | 33.9 |
| 9 | | | | 17.3 | 33.5 | 41.0 | 38.7 | 35.7 | 35.4 | 30.5 | 35.7 | 37.2 |
| Promedio 100% | 33.69 | | | | | | | | | | | |

| SECTOR 1.0 ETo | | |
|------------------------|---------------|-----|
| Fecha | 26/04/2017 | |
| Tipo de emisor | Rociador 1800 | |
| Boquilla | HE-VAN 10 | |
| Hora | 06:10 | pm |
| Presión | 2.1 | bar |
| Tiempo | 11 | min |
| Diámetro de recipiente | 8 | cm |

| Volumen (ml) | | | | | | | | | |
|----------------------|------------|------|----|------|------|------|------|------|----|
| fila/columna | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | 30 | 41 | 39 | 28 | 45 | 34 | 26 | 43 | 65 |
| 2 | 60 | 35 | 37 | 36.5 | 35 | 52 | 45 | 27 | 39 |
| 3 | 51 | 42.5 | 45 | 38 | 54 | 40 | 34 | 51 | 32 |
| 4 | 36 | 36 | 39 | 24 | 56.5 | 33 | 23 | 42 | 23 |
| 5 | 50 | 42.5 | 59 | 60 | 37 | 64 | 70 | 36 | 37 |
| 6 | 45 | 50 | 49 | 28 | 51 | 45 | 31 | 46 | 39 |
| 7 | 17 | 43.5 | 38 | 24.5 | 55 | 39 | 20 | 41.5 | 29 |
| 8 | 27 | 46.5 | 54 | 40 | 39 | 61 | 42.5 | 41 | 26 |
| 9 | 40 | 46.5 | 64 | 45 | 52.5 | 39.5 | 42 | 45.5 | 62 |
| Promedio 100% | 41.71 | | | | | | | | |
| Promedio 25% | 27.58 | | | | | | | | |
| DU | 66% | | | | | | | | |

| Velocidad de aplicación (mm/hr) | | | | | | | | | |
|---------------------------------|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| fila/columna | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | 32.6 | 44.5 | 42.3 | 30.4 | 48.8 | 36.9 | 28.2 | 46.7 | 70.5 |
| 2 | 65.1 | 38.0 | 40.2 | 39.6 | 38.0 | 56.4 | 48.8 | 29.3 | 42.3 |
| 3 | 55.3 | 46.1 | 48.8 | 41.2 | 58.6 | 43.4 | 36.9 | 55.3 | 34.7 |
| 4 | 39.1 | 39.1 | 42.3 | 26.0 | 61.3 | 35.8 | 25.0 | 45.6 | 25.0 |
| 5 | 54.3 | 46.1 | 64.0 | 65.1 | 40.2 | 69.4 | 76.0 | 39.1 | 40.2 |
| 6 | 48.8 | 54.3 | 53.2 | 30.4 | 55.3 | 48.8 | 33.6 | 49.9 | 42.3 |
| 7 | 18.4 | 47.2 | 41.2 | 26.6 | 59.7 | 42.3 | 21.7 | 45.0 | 31.5 |
| 8 | 29.3 | 50.5 | 58.6 | 43.4 | 42.3 | 66.2 | 46.1 | 44.5 | 28.2 |
| 9 | 43.4 | 50.5 | 69.4 | 48.8 | 57.0 | 42.9 | 45.6 | 49.4 | 67.3 |
| Promedio 100% | 45.26 | | | | | | | | |

| SECTOR 0.75 ETo | | |
|------------------------|---------------|-----|
| Fecha | 26/04/2017 | |
| Tipo de emisor | Rociador 1800 | |
| Boquilla | HE-VAN 10 | |
| Hora | 05:00 | pm |
| Presión | 2.1 | bar |
| Tiempo | 10 | min |
| Diámetro de recipiente | 8 | cm |

| Volumen (ml) | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| fila\columna | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1 | 56 | 30 | 33.5 | 52.5 | 44 | 40 | 56.5 | 43.5 | 51 | | | |
| 2 | 35 | 51 | 48 | 44 | 39 | 36.5 | 37.5 | 43 | 33.5 | | | |
| 3 | 50 | 57 | 22 | 44 | 46.5 | 25.5 | 26 | 30 | 30 | | | |
| 4 | 158 | 62 | 20.5 | 67 | 43 | 47 | 43 | 52.5 | 54 | | | |
| 5 | 49 | 30 | 52.5 | 62.5 | 37.5 | 44.5 | 41 | 41 | 53 | | | |
| 6 | 50.5 | 43.5 | 14.5 | 45 | 35 | 17.5 | 35 | 51 | 31 | | | |
| 7 | | | | 33.5 | 41.5 | 46 | 48 | 38 | 30 | 47.5 | 53 | 49 |
| 8 | | | | 28.5 | 21 | 26.5 | 41 | 26.5 | 31 | 52.5 | 44.5 | 21 |
| 9 | | | | 35 | 29 | 42 | 38 | 35 | 23.5 | 46.5 | 49 | 34 |
| Promedio 100% | 41.94 | | | | | | | | | | | |
| Promedio 25% | 25.70 | | | | | | | | | | | |
| DU | 61% | | | | | | | | | | | |

| Velocidad de aplicación (mm/hr) | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| fila\columna | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1 | 66.8 | 35.8 | 40.0 | 62.7 | 52.5 | 47.7 | 67.4 | 51.9 | 60.9 | | | |
| 2 | 41.8 | 60.9 | 57.3 | 52.5 | 46.6 | 43.6 | 44.8 | 51.3 | 40.0 | | | |
| 3 | 59.7 | 68.0 | 26.3 | 52.5 | 55.5 | 30.4 | 31.0 | 35.8 | 35.8 | | | |
| 4 | 188.6 | 74.0 | 24.5 | 80.0 | 51.3 | 56.1 | 51.3 | 62.7 | 64.5 | | | |
| 5 | 58.5 | 35.8 | 62.7 | 74.6 | 44.8 | 53.1 | 48.9 | 48.9 | 63.3 | | | |
| 6 | 60.3 | 51.9 | 17.3 | 53.7 | 41.8 | 20.9 | 41.8 | 60.9 | 37.0 | | | |
| 7 | | | | 40.0 | 49.5 | 54.9 | 57.3 | 45.4 | 35.8 | 56.7 | 63.3 | 58.5 |
| 8 | | | | 34.0 | 25.1 | 31.6 | 48.9 | 31.6 | 37.0 | 62.7 | 53.1 | 25.1 |
| 9 | | | | 41.8 | 34.6 | 50.1 | 45.4 | 41.8 | 28.1 | 55.5 | 58.5 | 40.6 |
| Promedio 100% | 50.07 | | | | | | | | | | | |

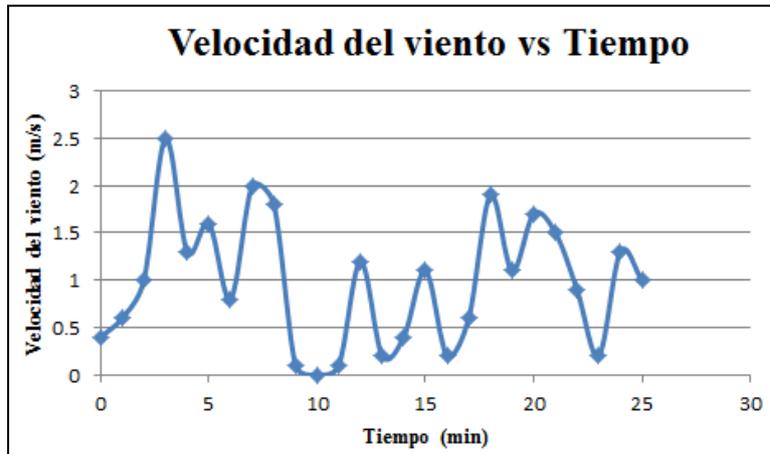
| SECTOR 0.5 ETo | | |
|------------------------|---------------|-----|
| Fecha | 26/04/2017 | |
| Tipo de emisor | Rociador 1800 | |
| Boquilla | HE-VAN 10 | |
| Hora | 03:30 | pm |
| Presión | 2.1 | bar |
| Tiempo | 10 | min |
| Diámetro de recipiente | 8 | cm |

| Volumen (ml) | | | | | | | | | | |
|----------------------|------|------|------|------|------------|------|----|----|----|--|
| fila\columna | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | |
| 1 | 52 | 43.5 | 25.5 | 60.5 | 46 | 24.5 | | | | |
| 2 | 49.5 | 58.5 | 42 | 70 | 39 | 15 | | | | |
| 3 | 64 | 55 | 35 | 72.5 | 53 | 31 | | | | |
| 4 | 45.5 | 39.5 | 43.5 | 38.5 | 28.5 | 26.5 | | | | |
| 5 | 59 | 51 | 53.5 | 22.5 | 32 | 35 | | | | |
| 6 | 58.5 | 63 | 59 | 29 | 46.5 | 61.5 | | | | |
| 7 | 42.5 | 35 | 43.5 | 28 | 29 | 27 | 75 | 42 | 40 | |
| 8 | 50 | 56 | 48.5 | 38.5 | 36 | 53 | 91 | 77 | 63 | |
| 9 | 56 | 36 | 51.5 | 56 | 32 | 42.5 | 67 | 60 | 48 | |
| 10 | 74.5 | 27 | 15.5 | | | | | | | |
| 11 | 76 | 42 | 33 | | | | | | | |
| 12 | 50 | 68.5 | 33.5 | | | | | | | |
| 13 | 35 | 21.5 | 31.5 | | | | | | | |
| 14 | 44 | 51.5 | 25 | | | | | | | |
| 15 | 56 | 55.5 | 39 | | | | | | | |
| Promedio 100% | | | | | 46.07 | | | | | |
| Promedio 25% | | | | | 26.88 | | | | | |
| DU | | | | | 58% | | | | | |

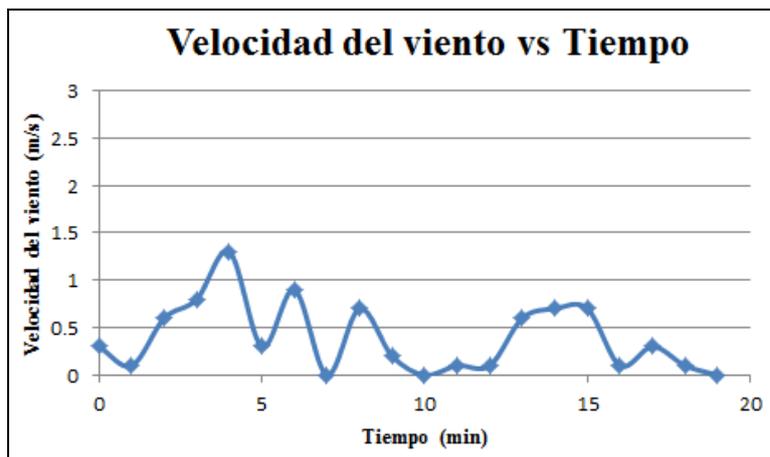
| Velocidad de aplicación (mm/hr) | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|------|------|------|------|--------------|------|-------|------|------|--|
| fila\columna | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | |
| 1 | 62.1 | 51.9 | 30.4 | 72.2 | 54.9 | 29.2 | | | | |
| 2 | 59.1 | 69.8 | 50.1 | 83.6 | 46.6 | 17.9 | | | | |
| 3 | 76.4 | 65.7 | 41.8 | 86.5 | 63.3 | 37.0 | | | | |
| 4 | 54.3 | 47.1 | 51.9 | 46.0 | 34.0 | 31.6 | | | | |
| 5 | 70.4 | 60.9 | 63.9 | 26.9 | 38.2 | 41.8 | | | | |
| 6 | 69.8 | 75.2 | 70.4 | 34.6 | 55.5 | 73.4 | | | | |
| 7 | 50.7 | 41.8 | 51.9 | 33.4 | 34.6 | 32.2 | 89.5 | 50.1 | 47.7 | |
| 8 | 59.7 | 66.8 | 57.9 | 46.0 | 43.0 | 63.3 | 108.6 | 91.9 | 75.2 | |
| 9 | 66.8 | 43.0 | 61.5 | 66.8 | 38.2 | 50.7 | 80.0 | 71.6 | 57.3 | |
| 10 | 88.9 | 32.2 | 18.5 | | | | | | | |
| 11 | 90.7 | 50.1 | 39.4 | | | | | | | |
| 12 | 59.7 | 81.8 | 40.0 | | | | | | | |
| 13 | 41.8 | 25.7 | 37.6 | | | | | | | |
| 14 | 52.5 | 61.5 | 29.8 | | | | | | | |
| 15 | 66.8 | 66.2 | 46.6 | | | | | | | |
| Promedio 100% | | | | | 55.00 | | | | | |

ANEXO 7 MEDICIÓN DE VELOCIDAD DEL VIENTO

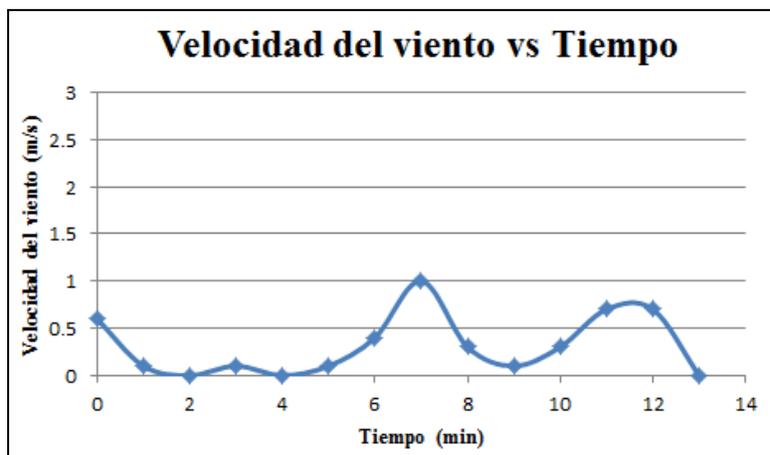
| Sector 1.0 ETo | |
|-----------------------|------------|
| Fecha | 03/04/2017 |
| Hora de riego | 07:00 p.m. |
| Tiempo de riego | 25 min |



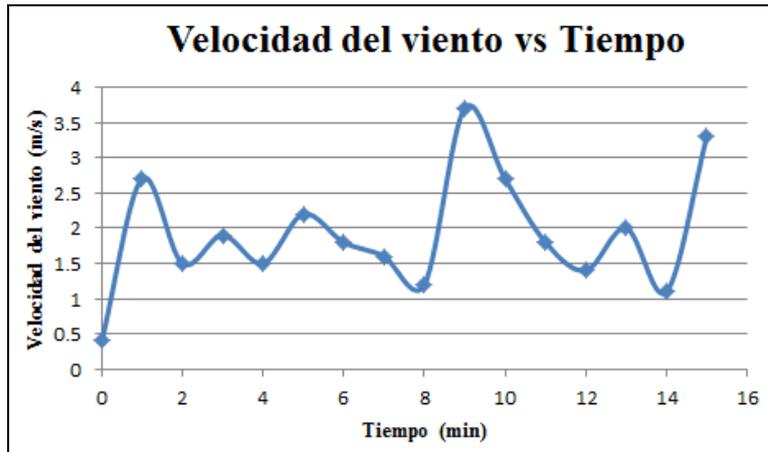
| Sector 0.75 ETo | |
|------------------------|------------|
| Fecha | 03/04/2017 |
| Hora de riego | 07:30 p.m. |
| Tiempo de riego | 19 min |



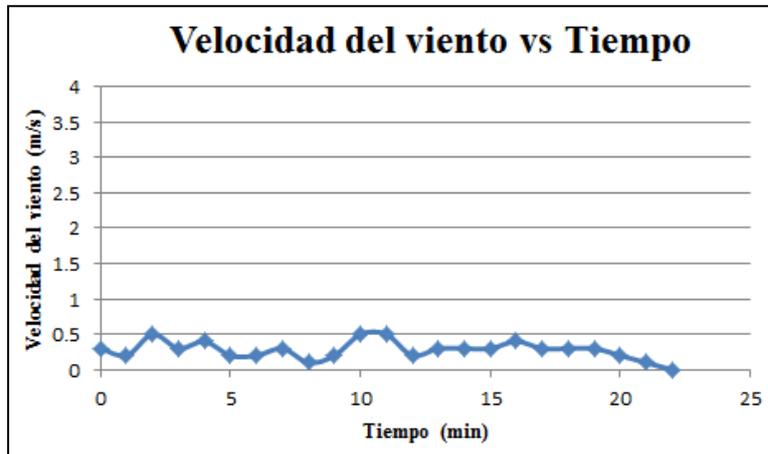
| Sector 0.5 ETo | |
|-----------------------|------------|
| Fecha | 03/04/2017 |
| Hora de riego | 07:50 p.m. |
| Tiempo de riego | 13 min |



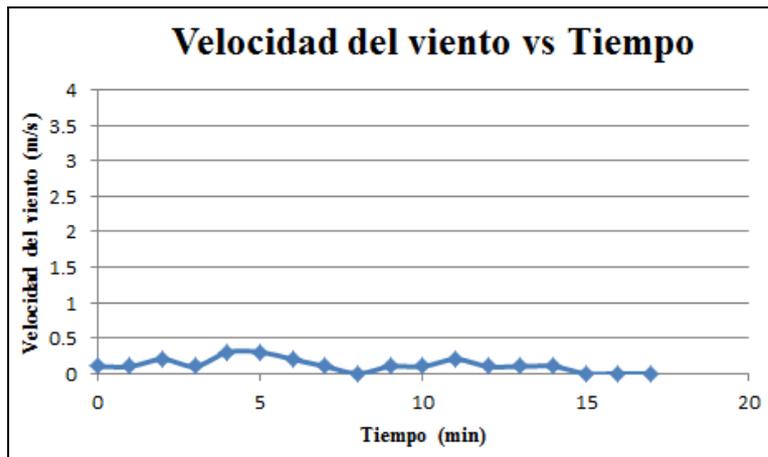
| Sector 1.0 ETo | |
|-----------------|------------|
| Fecha | 06/04/2017 |
| Hora de riego | 12:30 p.m. |
| Tiempo de riego | 15 min |



| Sector 1.0 ETo | |
|-----------------|------------|
| Fecha | 17/04/2017 |
| Hora de riego | 04:30 p.m. |
| Tiempo de riego | 22 min |



| Sector 0.75 ETo | |
|-----------------|------------|
| Fecha | 17/04/2017 |
| Hora de riego | 05:10 p.m. |
| Tiempo de riego | 17 min |



ANEXO 8 REGISTRO FOTOGRÁFICO DURANTE LA INVESTIGACIÓN



Figura 42: Instalación de tubería portalateral



Figura 43: Instalación de tubería lateral



Figura 44: Instalación de electroválvulas



Figura 45: Champas de césped paspalum de 10cm x 10cm



Figura 46: Siembra de champas de césped americano de 10cm x 10cm



Figura 47: Riego de parcelas experimentales antes del periodo de investigación



Figura 48: Corte de césped con motoguadaña antes del periodo de investigación



Figura 49: Medición de la velocidad del viento durante el riego de parcelas



Figura 50: Muestras de hojas después de la poda de las parcelas experimentales



Figura 51: Extracción de suelo para calibración del TDR 300



Figura 52: Extracción de muestra de suelo a la profundidad de 20 cm



Figura 53: Pesado de muestra de suelo seco para calibración del TDR 300



Figura 54: Limpieza de filtros de anillos del cabezal de filtrado



Figura 55: Muestra de suelo de 20 cm de profundidad



Figura 56: Lavado de suelo para extracción de raíces



Figura 57: Muestras de raíces de la primera extracción (15/02/2017)



Figura 58: Muestras de raíces de la segunda extracción (28/04/2017)



Figura 59: Profundidad de raíces del tratamiento 1.0 ETo de la 1era extracción



Figura 60: Profundidad de raíces del tratamiento 0.75 ETo de la 1era extracción



Figura 61: Profundidad de raíces del tratamiento 0.5 ETo de la 1era extracción



Figura 62: Profundidad de raíces del tratamiento 1.0 ETo de la 2da extracción



Figura 63: Profundidad de raíces del tratamiento 0.75 ETo de la 2da extracción



Figura 64: Profundidad de raíces del tratamiento 0.5 ETo de la 2da extracción

