

**UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN – TACNA**

**Escuela de Posgrado**

**Maestría en Gestión Ambiental y Desarrollo  
Sostenible**

**USO EFICIENTE DEL AGUA EN LAS ÁREAS  
VERDES EN LA SEDE LOS GRANADOS DE LA  
LA UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE  
BASADRE GROHMANN**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Ing° LUIS SABINO LINARES TEJADA**

**Para optar el Grado Académico de:**

**MAESTRO EN CIENCIAS (*MAGISTER SCIENTIAE*)  
CON MENCIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL Y  
DESARROLLO SOSTENIBLE**

**TACNA – PERÚ  
2014**

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN – TACNA  
ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE

USO EFICIENTE DEL AGUA EN LAS ÁREAS VERDES EN LA SEDE  
LOS GRANADOS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE  
BASADRE GROHMANN

Tesis sustentada y aprobada el 22 de abril del 2014; estando el jurado calificador integrado por:

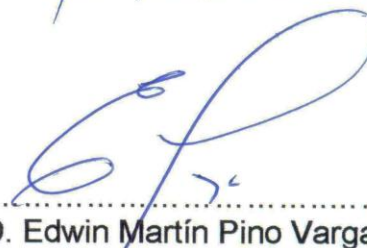
PRESIDENTE :

  
.....  
Dra. Rina María Álvarez Becerra

SECRETARIO :

  
.....  
M.Sc. Nataniel Mario Linares Gutiérrez

MIEMBRO :

  
.....  
Ph.D. Edwin Martín Pino Vargas

ASESOR :

  
.....  
Dr. Benjamín José Dávila Flores

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a todas las personas que me dieron su apoyo y me guiaron, para poder concretizarlo este presente trabajo.

## CONTENIDO

	<b>Pagina</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	iii
<b>CONTENIDO</b>	iv
<b>RESUMEN</b>	xv
<b>ABSTRACT</b>	xvi
<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	
1.1. Descripción del problema	5
1.1.1. Antecedentes del problema	5
1.1.2. Problemática de la investigación	5
1.2. Formulación del problema	7
1.3. Justificación e importancia	9
1.4. Alcances y limitaciones	10
1.4.1. Alcances	10
1.4.2. Limitaciones	10
1.5. Objetivos	11
1.5.1. Objetivo General	11
1.5.2. Objetivos Específicos	11

1.6.	Hipótesis	12
1.6.1.	Hipótesis Específicas	12

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

2.1.	Antecedentes del estudio	13
2.2.	Bases teóricas	23
2.3.	Definición de términos	42

## **CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO**

3.1.	Tipo de la investigación	50
3.2.	Población y muestra	50
3.2.1.	Población de estudio	50
3.2.2.	Tipo de muestra	50
3.2.3.	Tamaño de la muestra	51
3.3.	Diseño de la investigación	51
3.4.	Operacionalización de variables	56
3.5.	Técnicas e instrumentos para recolección de datos	58
3.5.1.	Técnicas para la recolección de datos	58
3.5.2.	Materiales y/o instrumentos para recolección de datos	59
3.6.	Procesamiento y análisis de datos	59

3.6.1.	Empleo de los procesos de cálculo para determinar la demanda de agua de la plantas ornamentales	59
3.6.2.	Determinación del uso eficiente del consumo de agua por el cultivo del césped	69
3.6.2.1.	Determinación del primer factor de Evaluación	69
3.6.2.2.	Determinación del segundo factor de Evaluación	71
3.6.2.3.	Conformación estructural de los procesos de cálculo para determinar la demanda de agua para el césped	71
3.6.2.4.	Empleo del modelo del diseño estadístico	77
3.6.3.	Determinación de la densidad de plantación en flores con relación al uso eficiente del consumo de agua	80
3.6.3.1.	Determinación del primer factor de Evaluación	81
3.6.3.2.	Determinación del segundo factor de Evaluación	83
3.6.3.3.	Conformación estructural de los procesos de cálculo para determinar la demanda de	

agua para las flores	83
3.6.3.4. Empleo del modelo del diseño estadístico	91
3.6.4. Determinación de la relación entre la cobertura vegetal con el uso eficiente del consumo de agua en arbusto y árboles	93
3.6.4.1. Determinación del primer factor de Evaluación	94
3.6.4.2. Determinación del segundo factor de Evaluación	98
3.6.4.3. Conformación estructural de los procesos de cálculo para determinar la demanda de agua para arbustos y árboles	98
3.6.4.4. Empleo del modelo del diseño estadístico	107

#### **CAPÍTULO IV: RESULTADOS**

4.1. Evapotranspiración potencial (ET <sub>o</sub> )	110
4.2. Cálculo de la demanda de agua para césped	111
4.2.1. Análisis estadístico para optimizar la demanda de agua en el césped	112
4.2.2. Programación del riego para el césped	118
4.3. Cálculo de la demanda de agua de las flores	120

4.3.1.	Análisis estadístico para optimizar la demanda para las flores	121
4.3.2.	Programación del riego para las flores	127
4.4.	Cálculo de la demanda de agua para arbustos	129
4.4.1.	Análisis estadístico para optimizar la demanda para los arbustos	130
4.4.2.	Programación del riego para los arbustos	137
4.5.	Cálculo de la demanda de agua para árboles	139
4.5.1.	Análisis estadístico para optimizar la demanda para los árboles	140
4.5.2.	Programación del riego para los árboles	146

## **CAPÍTULO V: DISCUSIÓN**

5.1.	Uso eficiente del agua en el césped	149
5.2.	Uso eficiente del agua en flores	151
5.3.	Uso eficiente del agua en arbustos	153
5.4.	Uso eficiente del agua en árboles	155
5.5.	Aspectos que se deben tener en cuenta para conseguir el uso eficiente del agua en los jardines	157
5.5.1.	El empleo de especies ornamentales que consumen menos agua	157

5.5.2. La utilización de sistemas de riego con mayores eficiencias de aplicación	158
5.5.3 El manejo del agua a nivel del suelo	160
5.5.4. La forma de aplicar el agua a nivel de jardín	161
5.5.5. La forma de distribuir las plantas ornamentales a nivel de jardín	162
5.5.6. El momento de riego	163
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>164</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>170</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>176</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>187</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

		<b>Pagina</b>
Tabla 1	Operacionalización de las variables	57
Tabla 2	Datos climatológicos de la estación MAP-Jorge Basadre Grohmann	62
Tabla 3	Características físico-químicas de los suelos en donde se desarrollan los jardines	64
Tabla 4	Análisis físico-químico del agua procedente del pozo subterráneo IRHS-179	65
Tabla 5	Características físico químicas de la serie Caplina	66
Tabla 6	Constantes hídricas de los suelos en donde se desarrollan las raíces de las plantas ornamentales	69
Tabla 7	Especies de césped que se adaptan a la zona de Estudio	71
Tabla 8	Combinación de los dos factores de evaluación en las especies de césped	79
Tabla 9	Densidad de plantación en las especies de flores	82
Tabla 10	Valores del kc para el cultivo de las especies de	

	Flores	85
Tabla 11	Combinación de los dos factores de evaluación en el cultivo de las especies de flores	92
Tabla 12	Cobertura vegetal para arbustos	96
Tabla 13	Cobertura vegetal para árboles	97
Tabla 14	Desarrollo de la cobertura vegetal en arbustos y árboles	98
Tabla 15	Combinación de los dos factores de evaluación para arbustos	109
Tabla 16	Combinación de los dos factores de evaluación para árboles	109
Tabla 17	Cálculo de la evapotranspiración potencial empleando el software CROPWAT V-8 (ET <sub>o</sub> )	110
Tabla 18	Resultado de la demanda de agua de las especies de césped	111
Tabla 19	Análisis de la varianza para la demanda de agua en césped	113
Tabla 20	Optimización de los factores en césped	117
Tabla 21	Ciclos de riego para el césped	119
Tabla 22	Resultado de la demanda de agua del cultivo de las especies de flores según la densidad de plantación	120

Tabla 23	Análisis de la varianza para la demanda de agua en Flores	122
Tabla 24	Optimización de los factores en flores	127
Tabla 25	Ciclos de riego para las flores	129
Tabla 26	Resultado de la demanda de agua en arbustos	130
Tabla 27	Análisis de la varianza para la demanda de agua de los arbustos	132
Tabla 28	Optimización de los factores en arbustos	137
Tabla 29	Ciclos de riego para los arbustos	138
Tabla 30	Resultado de la demanda de agua en árboles	139
Tabla 31	Análisis de la varianza para la demanda de agua de los árboles	141
Tabla 32	Optimización de los factores en árboles	146
Tabla 33	Ciclos de riego para los árboles	148

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pagina</b>	
Figura 1	Diagrama de Pareto estandarizada para demanda de agua en césped	112
Figura 2	Efectos principales de la demanda de agua del césped	114
Figura 3	Superficie de respuesta estimada para el césped	115
Figura 4	Contornos de la superficie de respuesta estimada para el césped	116
Figura 5	Diagrama de Pareto estandarizada para demanda de agua en flores	121
Figura 6	Efectos principales de la demanda de agua en las flores	124
Figura 7	Superficie de respuesta estimada para las flores	125
Figura 8	Contornos de la superficie de respuesta estimada para las flores	126
Figura 9	Diagrama de Pareto estandarizada para demanda de agua de los arbustos	131
Figura 10	Efectos principales de la demanda de agua de los Arbustos	133

Figura 11	Superficie de respuesta estimada para los arbustos	134
Figura 12	Contornos de la superficie de respuesta estimada para los arbustos	135
Figura 13	Diagrama de Pareto estandarizada para demanda de agua de los árboles	140
Figura 14	Efectos principales de la demanda de agua de los Árboles	142
Figura 15	Superficie de respuesta estimada para los árboles	143
Figura 16	Contornos de la superficie de respuesta estimada para los árboles	144

## RESUMEN

Los jardines de la ciudad universitaria, son regados por riego por gravedad, originando que las sales del agua y del suelo, sean trasladadas hacia las estructuras subterráneas, provocando deterioro ambiental y para evitarlo se debe optimizar el agua de riego para las diferentes especies ornamentales que conforman el jardín. Para determinar la demanda se han desarrollado 4 procesos de cálculo y para optimizar se utilizó el diseño central compuesto Box-Wilson. La demanda optimizada anual de agua de riego para el césped, resulta  $1,84 \text{ m}^3/\text{m}^2$ , para un  $K_c = 0,88$ ; que representa especies de césped que consumen menos agua y que son resistentes a la sequía. El marco de plantación en las flores, no influye en la demanda de agua de estas, debido a que no se busca producir: semillas, frutos, etc. sino mantener su estado vegetativo; para optimizar la demanda, el marco de plantación será  $35,00 \text{ cm}$  por  $35,00 \text{ cm}$ , resultando  $1,70 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-año}$ . Para optimizar la demanda de agua en arbustos su cobertura vegetal cubrirá  $17,61 \text{ m}^2$  y para arboles  $26,43 \text{ m}^2$  para el estado adulto, resulta una demanda anual de  $22,70 \text{ m}^3/\text{arbusto}$  y  $34,93 \text{ m}^3/\text{árbol}$ . La eficiencia del sistema de riego por goteo se encuentra entre  $95,74\%$  -  $97,07\%$ .

## ABSTRACT

The gardens of the city university are watered by irrigation by gravity, originating that you them go out of the water and of the soil, they are moved towards the underground structures, provoking environmental deterioration and to avoid it is necessary to optimize the water of irrigation for the different ornamental species that shape the garden. To calculate the demand 4 calculation processes have developed and to optimize I use the central compound design Box-Wilson. The optimized annual demand of water of irrigation for the lawn, turns out to be  $1,84 \text{ m}^3/\text{m}^2$ , for a  $K_c=0,88$ ; that represents species of lawn that consume less water and that are resistant to the drought. The frame of plantation in the flowers, does not influence the water demand of these, due to the fact that it is not sought to produce: Seeds, fruits, etc. But to support his vegetative condition; to optimize the demand, the frame of plantation will be 35,00 cm, for 35,00 cm, turning out to be  $1,70 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-año}$ . To optimize the water demand in shrubs his vegetable coverage will cover  $17,61 \text{ m}^2$  and for trees  $26,43 \text{ m}^2$  for the adult condition, it turns out to be an annual demand of  $22,70 \text{ m}^3/\text{shrub}$  and of  $34,93 \text{ m}^3/\text{tree}$ . The efficiency of the system of irrigation for drip is between 95,74 % - 97,07.

## INTRODUCCIÓN

La ciudad universitaria cede “Los Granados” abarca 18,40 ha, hasta la fecha cuenta con alrededor de 164 jardines de diferentes áreas y formas, que fueron desarrollados a partir del año 1984 en los alrededores de las diferentes edificaciones de la ciudad universitaria; estos jardines en la actualidad abarcan una área de 2,91 ha, y al considerar los jardines que faltan desarrollar, llegarán a cubrir en total 4,38 ha, que representara el 23,80 % del área total de la ciudad universitaria.

Los jardines se caracterizan por haber sido desarrollados en su mayoría con tierra transportada de otro lugar, predominando las áreas planas, que presentan diferentes formas geométricas (triangulares, rectangular, etc.), que en su mayoría no cuenta con infraestructura adecuada de jardinería como son: zonas de descanso, de estudio y de paseo, caminos, asientos, ni iluminación, etc.; existiendo algunos jardines rodeados de muretes de concreto ciclópeo, algunas pércolas con plantas trepadoras y algunos jardines poseen cercos vivos constituidos por mioporo, existiendo un pequeño bosque a un costado del pabellón de metalurgia.

En los jardines predomina el césped que constituye el mayor consumidor de agua, seguido por árboles de mucha antigüedad (cipreses) ubicados en los perímetros de algunos jardines conformando pasadizos; se observa que a lo largo de algunas pistas y veredas en forma aislada, predominan vilcas y cipreses. En algunos jardines se encuentran entremezclados diferentes especies de arbustos con árboles frutales; también existen árboles y arbustos ubicados dentro de jardineras altas, formando hileras, en otros jardines se encuentran pequeñas áreas cultivadas con flores y algunas con cactáceas.

Actualmente la fuente de agua que riegan todos los jardines de la ciudad universitaria proviene de la red de agua potable, que compiten en el consumo de agua con los baños, cafeterías, gabinetes y laboratorios; debido a que mayormente se riega los diferentes jardines con el riego por gravedad, se consume en exceso agua potable, que representa elevados costos por el uso de este recurso natural a la Universidad.

Al regar en forma excesiva los jardines, sin control alguno por medio del riego por inundación, el agua al infiltrarse arrastra sales que impactan negativamente a las estructuras de los edificios colindantes a los jardines.

Para evitar el deterioro ambiental que atraviesan las edificaciones, y lograr el ahorro del agua, se debe optimizar el riego en los diferentes grupos de plantas ornamentales que conforman los jardines de la ciudad universitaria (césped, flores, arbustos y árboles); para ello se han empleado procesos de cálculo que relacionan las diferentes variables bióticas y abióticas que influyen en la determinación de la demanda de agua de los cultivos ornamentales y para optimizar el uso de agua, se ha utilizado el diseño central compuesto Box-Wilson. Cuyos factores de evaluación fueron las especies de céspedes, la densidad de plantación en flores y la cobertura vegetal en arbustos y árboles; y el empleo del sistema de riego por goteo.

El manejo del agua de riego con referencia al suelo será de tal manera que se proporcione el agua necesaria para que cubra la demanda de agua que requiere las plantas ornamentales, y permita también el desplazamiento de las sales presentes en el agua de riego hacia los límites del bulbo de humedecimiento de las raíces, sin originar el desplazamiento de las sales a zonas colindantes por exceso de agua.

La forma de aplicar el agua es por medio de la utilización de programadores de riego, que se encarguen en regar en forma automática y oportuna a cada jardín, evitando desperdicios de agua.

El estilo de jardín que debe desarrollarse para una institución de educación superior, está relacionado al uso que se le va a dar, pudiendo ser este para la relajación, el descanso, la contemplación, para la lectura, el estudio, o de reunión para todos los miembros de la comunidad universitaria. Además los jardines deberían brindar la sensación de alegría, vitalidad, color, frondosidad, verdor, frescor y protección.

# **CAPÍTULO I**

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. Descripción del problema**

#### **1.1.1. Antecedentes del problema**

El uso excesivo y sin control del agua que se emplea en regar los diferentes jardines de la ciudad universitaria, ha originado el deterioro de las estructuras de las edificaciones colindantes a tal extremo que el concreto estructural se ha llenado de sales provenientes del agua de riego y del suelo afectando su resistencia; el agua también ha llegado a introducirse a los diferentes ductos de telefonía, electricidad e intranet que se encuentran subterráneamente instalados, afectando el funcionamiento de dichas instalaciones deteriorando su estructura y reduciendo su vida útil.

#### **1.1.2. Problemática de la investigación**

En la ciudad universitaria sede “Los Granados”, desde que se formaron los diferentes jardines se riega con el sistema de

riego por gravedad (inundación), empleando como única fuente el agua potable. Al regar en forma excesiva la mayoría de los jardines, provoca que el exceso de agua se infiltre por el perfil del suelo llegando a escurrir en dirección de los cimientos, zapatas y vigas que conforman las estructuras de los edificios, adyacentes a los jardines, originando que las sales presentes en capas profundas del suelo y en el agua de riego deterioren el concreto y lleguen a oxidar el acero de refuerzo; es el caso de los pabellones 06 y 07 de la Facultad de Humanidades en donde las vigas de amarre presentan fisuras en el concreto apareciendo el acero de refuerzo, lo mismo ocurre en el Escuela de Enfermería, en el caso del pabellón de la Escuela de Ciencias Administrativas, la sobre base está saturada de agua, y en la sub estación eléctrica de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica el agua de riego se ha introducido en los buzones y ductos eléctricos; por lo tanto se puede afirmar que el uso excesivo de agua de riego en las área verdes origina perjuicio al medio ambiente, debilitando las estructuras de los edificios y deteriorando las diferentes instalaciones subterráneas existentes.

## **1.2. Formulación del problema**

En los 164 jardines que actualmente se encuentran desarrollados en la ciudad universitaria, predomina el cultivo del césped, que es el que consume mayor cantidad de agua y en menores porcentaje se encuentran plantaciones de flores, arbustos, árboles y cactáceas que son los que consumen menos agua en comparación con del césped.

La mayoría de los jardines fueron formados con tierra de chacra transportada de otro lugar, debido al tipo de suelo existente en la sede “Los Granados”, que esta conformado por suelos muy superficiales, con presencia de sales y piedras de diferente tamaño, de textura arenogravoso, que prácticamente constituye suelos de alto grado de infiltración y que no retienen el agua en su estructura.

De la red de agua potable de la ciudad universitaria se extrae el agua para regar los 164 jardines por gravedad, afectando la disponibilidad de agua para el uso de los baños, cafeterías, gabinetes y laboratorios existentes en el campus universitario.

En el año 2009 la Universidad por el consumo de agua potable pago a la EPS la suma de S/ 237.201,59 y en el año 2010 fue de S/ 242.895,80; de estos montos el mayor porcentaje corresponde al empleo excesivo de agua potable para el riego de las aéreas verdes; es paradójico que se use agua potable en exceso para regar jardines a pesar que la ciudad de Tacna se encuentra ubicada en una zona desértica que carece de agua y cuyos escasos recursos hídricos con que cuenta, no alcanza para cubrir las necesidades de la población, que cada vez va en aumento; por otro lado la institución cuenta con un pozo de agua subterránea propio que no lo utiliza por falta de mantenimiento oportuno.

Frente a esta problemática se plantea las siguientes interrogantes:

¿Cuál es el volumen óptimo de agua que la Universidad debe utilizar para el riego de los jardines, que permita no deteriorar las estructuras de los edificios de la ciudad universitaria?

¿Cómo están relacionadas las especies de césped con el consumo de agua?

¿Cómo afecta el marco de plantación de las flores en el consumo de agua?

¿Cómo afecta la cobertura vegetal de arbustos y árboles en el consumo de agua?

### **1.3. Justificación e importancia**

Se realiza la presente investigación para definir qué volúmenes de agua de riego son necesarios para cubrir las necesidades hídricas de las diferentes plantas ornamentales que conforman los jardines de la ciudad universitaria, sin que se origine excesos de agua por mal uso, para evitar que las sales sean trasladadas en dirección de las estructuras subterráneas de los edificios colindantes; evitando de este modo un impacto ambiental negativo a dichas estructuras y a todas las instalaciones subterráneas existentes.

Del volumen total de agua potable que consume la ciudad universitaria mensualmente, el mayor porcentaje lo constituye el consumo de agua en jardinería, es por esto que este sector ambiental está obligado a optimizar al máximo el consumo de agua, que permitirá su ahorro y de esa manera se podrá reducir los costos

operacionales, debiendo de utilizar el agua de origen subterráneo que posee la institución como única fuente de agua para regar todos los jardines.

#### **1.4. Alcances y limitaciones**

##### **1.4.1. Alcances**

Se espera alcanzar el uso eficiente del consumo de agua por las diferentes especies ornamentales que conforman los jardines (césped, flores, arbustos y árboles); de tal manera que no se desperdicie el agua por filtraciones profundas, para evitar el deterioro ambiental que origina actualmente los jardines a las construcciones aledañas; y a la vez permitirá que las especies ornamentales logren desarrollarse sin que se afecte sus periodos vegetativos de cada especie.

##### **1.4.2. Limitaciones**

Las limitaciones estuvieron relacionadas a determinar las diferentes especies ornamentales que han de conformar el desarrollo de los jardines, estas especies fueron escogidas según su adaptación a las características desérticas del

medioambiente de la ciudad universitaria, que en lo posible sean autóctonas del lugar, que consuman menos agua, que sean tolerantes a los suelos salinos y a la calidad del agua de riego que se tiene disponible para regar los jardines.

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo General**

Determinar el uso eficiente del agua de riego en los jardines de la sede “Los Granados” de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.

### **1.5.2. Objetivos Específicos**

Los objetivos específicos son los siguientes:

**A.-** Determinar el uso eficiente del consumo de agua por el cultivo del césped.

**B.-** Determinar la densidad de plantación en flores con relación al uso eficiente del consumo de agua.

**C.-** Determinar la relación entre la cobertura vegetal con el uso eficiente del consumo de agua en arbustos y árboles.

## **1.6. Hipótesis**

Es posible optimizar el uso del agua de riego, logrando reducir su volumen, evitando el deterioro de las estructuras de los edificios de la ciudad universitaria.

### **1.6.1. Hipótesis Específicas**

Las hipótesis específicas planteadas son las siguientes:

**A.-** El consumo de agua en el césped esta relacionado a la especie vegetal.

**B.-** La densidad de plantación en flores determina la demanda de agua por superficie cultivada.

**C.-** La demanda de agua de las plantas ornamentales permanentes como son los arbustos y árboles está relacionado a su cobertura vegetal.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes del estudio**

Barreto (2010), indica que se debe proveer a pequeños agricultores en países en vías de desarrollo métodos de riego de bajo costo que promueva el uso sostenible de agua y energía. La seguridad alimenticia del mundo depende de mejorar las técnicas de riego de los pequeños agricultores en países en vías de desarrollo. Las prácticas comunes de riego son: inundación con agua temporal de lluvias y sistemas de riego por gravedad con bombas de motores diesel o gasolina. Las bombas solares son limpias, eficientes, y de bajo mantenimiento. El riego por goteo es un 40% más eficiente que inundación y hace un mejor uso del bombeo fotovoltaico y eólico porque es un sistema de baja presión.

Esquivel *et. al* (2000), indican que la siembra de Rye grass anual, representa alto consumo de agua y alta eficiencia en el uso de la misma. En el Campo Experimental “Pabellón” durante los ciclos agrícolas de otoño invierno 1998-1999 y 1999-2000; se desarrolló una

metodología buscando un uso más eficiente del agua en la producción y calidad del Rye grass anual. Por lo que se probaron 4 niveles de humedad del suelo. Resultando que los tratamientos con 20 y 40% de abatimiento de humedad disponible en el suelo, fueron iguales estadísticamente similares en su eficiencia en el uso del agua y que el tratamiento 3, que le correspondió el 60% de abatimiento de la humedad, mostró ser superior en su eficiencia hasta en 25% más en la producción de forraje verde que el tratamiento del 80% de abatimiento. El tratamiento 3 fue sobresaliente aplicando riegos cada 17 días con láminas medias de 8 cm cada uno, siendo esta la forma en que el cultivo hace uso óptimo de la humedad disponible en el suelo.

Gómez & Pujol (2003), señalan que para el año 2015 se estima que un 55% de la población mundial residirá en ciudades. En este sentido la denominada ciudad dispersa o de baja densidad genera impactos ambientales mucho mayores que la forma urbana basada en la concentración o alta densidad. La ciudad de baja densidad, el consumo doméstico de agua se divide en usos interiores (higiene personal, limpieza y alimentación) y exteriores (jardines, piscinas y otros usos ornamentales). El mayor consumo de agua en las áreas

residenciales de baja densidad se debe a usos externos especialmente el riego de jardines llegando al 16% del total, atribuyéndose a este consumo por la utilización del césped como principal elemento ornamental.

Gómez & Pujol (2003), señalan que existen diversas variables que influyen en el riego de los jardines aunque la determinación de una relación directa entre un comportamiento concreto de riego y alguna de estas variables resulta compleja. El análisis cualitativo y en algunos casos estadísticos de algunas variables como la superficie del jardín, el tipo de planta y su densidad, el tipo de mantenimiento, la procedencia de las aguas de riego y el tipo de sistema de riego, permite encontrar algunas tendencias y diferencias en relación al consumo de agua.

Gómez & Pujol (2003), indican que las estrategias para reducir el consumo de agua en la jardinería se basa principalmente en la sensibilización ambiental en relación al recurso hídrico, en el diseño de jardines adaptados a la climatología, el uso de tecnologías de ahorro mas eficientes con el usos del agua, la reutilización del recurso

y en ciertos casos el aumento del precio del agua de una manera progresiva en función del consumo.

Godoy et. al (2003), señalan que durante los años 2000 y 2001, se realizó un estudio en el cultivo de la alfalfa (*Medicago sativa*), en el campo experimental de La Laguna-Coahuila, en donde determinaron por medio de un experimento (bloque completos al azar con cuatro repeticiones), resultando que al emplear el riego por goteo superficial volúmenes de agua del orden del 32 al 51% menores que el riego por inundación, la producción de materia seca aumento del 16 al 23%, evidenciando que al emplear el sistema de riego por goteo, permite ahorrar el agua aumentando la eficiencia del riego y la producción.

Heras (2007), señala que los espacios verdes se han convertido también en los grandes consumidores de agua en las ciudades. Ello se debe al incremento de las superficies verdes públicas, pero también a los cambios en el diseño de los jardines. Muchos parques y jardines nuevos a diferencia de los jardines históricos, cuentan con menos arboles y arbustos y mas superficie cubierta de césped. Es precisamente el césped el principal destino del agua en los jardines. Estudios realizados en parque públicos de la zona de San Francisco

(EEUU) revelaron que el agua empleada para el riego del césped representa el 90% del total del agua consumida. La vivienda unifamiliares con jardines es también causa de importantes incrementos de consumo de agua en las ciudades. Un estudio realizado en la población de la periferia Madrileña concluía que las viviendas con jardines consumían por termino medio, entre 2,5 y 4,5 veces más agua que los pisos y viviendas sin jardín de la misma localidad.

Hernández (2007), indica que las especies herbáceas destinadas para campos de golf, estadios deportivos, jardines y otras áreas verdes, deben poseer alta densidad de hojas y tallos muy finos; ser preferiblemente estolo-níferas y rizomatosas, con un sistema radical fuerte que posibilite un buen anclaje al suelo; poseer gran capacidad de rebrote; ser resistentes al pisoteo, a la invasión por otras especies y a los cortes bajos y frecuentes, lo cual permitirá un encespado denso y sellaje casi perfecto del área. La especie que posee estas cualidades es la bermuda 328 y 419, que puede ser utilizada en estadios y jardines.

Liotta (2010), indica que las zonas áridas como la provincia de San Juan y sus oasis irrigados presentan alta radiación, temperaturas estivales elevadas y baja humedad relativa, lo que asociado a escasas precipitaciones, los cultivos que se realizan requieren para su crecimiento y desarrollo, del riego artificial. La situación actual en el riego por superficie la eficiencia de uso del agua es baja, con valores que varían entre el 40% al 50%, lo cual ocasiona importantes pérdidas por percolación profunda, generación y sostenimiento de freáticas, disminución de rendimientos y calidad de los productos. Las causas principales son desconocimiento de las técnicas y manejo del riego donde no se tiene en cuenta el tipo de suelo, los requerimientos de los cultivos, inclusive en sistemas de riego tecnificados como lo es el riego por goteo.

Muncharaz (2002), señaló que los riegos por gravedad son grandes consumidores de agua, apenas tienen una eficiencia del 50%. La aspersión y difusión también generan importantes pérdidas de agua, aunque con mayor eficiencia que en el caso del sistema de gravedad. En los últimos años han proliferado los sistemas de riego localizado bastante eficiente (85% a 90%). El riego por goteo subterráneo presenta grandes ventajas frente a otros sistemas

incluido al de goteo en superficie, esta tecnología parece ideal para el ahorro de agua de riego. Otro factor a considerar para la optimización del agua en jardinería debe ser la automatización del riego, que nos permita una distribución del agua en la cantidad necesaria y en el momento adecuado.

Martínez *et. al* (2003), indican que durante doce años se ha desarrollado un estudio comparativo en el área de Motril (Granada, España) en el cultivo del aguacatero (*Persea americana Mill*) empleando en riego por goteo y micro aspersion en 100 árboles, en las mismas condiciones ambientales. De modo que se tomó como base para ambos estudios el efecto más favorable para la expresión vegetativa de los árboles, que es la superficie mojada en saturación. Dando como resultado que el potencial teórico del riego por goteo es 2,09 veces mayor que el micro aspersion, demostrando una mayor eficiencia de riego del goteo frente a al micro aspersion y por ende al riego por gravedad.

Navarro *et. al* (2000), indican que los resultados obtenidos muestran, que las dosis aplicadas en los riegos analizados en las zonas regables de Montijo (Badajoz), margen izquierda del Porma

(León) y Burriana (Castellón), son excesivas y constantes, independientemente del estado vegetativo del cultivo, obteniendo una eficiencia de aplicación baja que en promedio alcanzan al 49,37% que exige medidas de corrección. Los valores de eficiencia inferiores al 100% indican un exceso de la lámina aplicada y por lo tanto la existencia de pérdidas por escorrentía y percolación profunda.

Rodríguez *et. al* (2000), indica que en la actualidad son numerosos los jardines, tanto públicos como privados, que se riegan mediante sistemas tradicionales por superficie o a pie, simplemente utilizando una manguera. En estos casos la posibilidad de aplicar una cantidad de agua superior a la que realmente necesitan las plantas para cubrir sus necesidades, y por lo tanto de que se produzcan derroches de agua, es bastante elevada. Si al empleo de sistemas de riego poco eficientes, se le une la utilización de especies con requerimientos hídricos muy elevados, el consumo de agua destinada al riego de jardines puede alcanzar cifras muy altas.

Rodríguez *et. al* (2000), señala que hay que tener en cuenta que en la práctica de la jardinería el principal objetivo no es la obtención de rendimientos, sino la supervivencia de la vegetación y su

mantenimiento en unas condiciones estéticas aceptables, se hace necesario la adopción de medidas que permitan reducir un excesivo consumo de agua hacia cantidades que permitan asegurar el mantenimiento de las plantas es estado óptimo. Cabe destacar la utilización de sistemas de riego con una mayor eficiencia de aplicación, la adecuada determinación de las necesidades hídricas de las plantas que componen el jardín.

Rodríguez *et. al* (2000), indica que el diseño de un jardín eficiente en el uso del agua debe ir orientado a la optimización del uso del agua y por tanto a un ahorro real de la misma. El diseño debe ir precedido de un estudio del suelo, de la calidad del agua de riego y de la pluviometría de la zona, a fin de seleccionar las especies que formarán parte del jardín, el sistema de riego mas adecuado, y las pautas de manejo a seguir para evitar perdidas de agua por filtración profunda, escorrentía o evaporación.

Sánchez de Lorenzo (2007), indica que en los últimos años el consumo de agua a escala global ha aumentado de tal manera que se esta produciendo un desequilibrio, reponiéndose mas lentamente de lo que se gasta entre agricultura, la ganadería, la industria y nuestro

propio consumo, agravando el problema, aun más, la constante contaminación y degradación de su calidad. Se insiste, por tanto, en su consumo responsable para un crecimiento sostenible y más solidario, pues de no ser así nuestra sociedad accidental estará condenada a una permanente crisis. Se estima que aproximadamente el 65% del agua consumida se emplea en la agricultura, el 25% en la industria y el 10% restante en el consumo doméstico, donde está incluida la jardinería, la cual consume un 1.5% de ese 10% lo que supone una cantidad muy pequeña del total del agua consumida. No obstante este sector está igualmente obligado, como todos los demás a optimizar al máximo los recursos hídricos disponibles, empleando para ello sistemas de riego eficientes, disminuyendo las pérdidas por evaporación y utilizando plantas de bajo consumo en agua.

Valenzuela (1997), señala que los valores de eficiencia de riego obtenidos en el valle de California se comparan con los obtenidos en la zona central de Chile. En California la eficiencia del riego promedio es 71,00% y en el valle central de Chile es de 36,70%, y lo que es peor el 91% de los casos riega con eficiencias menores al 50%. Esto se debe a que en USA el agua tiene un valor relativamente alto. En cambio en Chile el agua es totalmente gratis, cancelándose solo los

gastos de administración (limpia de canales y personal de las Juntas de Vigilancia).

## **2.2. Bases teóricas**

Arteaga (2011), refiere que el programa de cómputo CROPWAT incorpora procedimientos para el cálculo de la evapotranspiración de referencia y los requerimientos de agua de los cultivos y permite la simulación del uso del agua por los cultivos bajo diferentes condiciones de clima, cultivos y suelos. Los programas de simulación facilitan grandemente la estimación de las necesidades de agua de los cultivos y por ende el cálculo del programa de riego. Además permiten generar criterios para la planeación y manejo del riego, con lo cual se da un mejor uso al recurso hídrico.

Baumann (1979), indica que el uso eficiente del agua es cualquier reducción o prevención de pérdida del agua que sea de beneficio para la sociedad. Visto de esta manera, el uso eficiente del recurso es de suma importancia para la conservación.

Chavarri (2008), indica que la evapotranspiración es la combinación de la evaporación desde la superficie de suelo y la

transpiración de la vegetación. Los mismos factores que dominan la evaporación desde una superficie de agua abierta también dominan la evapotranspiración, los cuales son el suministro de energía y el transporte de vapor. Además, el suministro de humedad a la superficie de evaporación es un tercer factor que se debe tener en cuenta. A medida que el suelo se seca, la tasa de evapotranspiración cae por debajo del nivel que generalmente mantiene en un suelo bien humedecido. Con respecto a la evaporación fisiológica o transpiración, es el resultado del proceso físico y biológico por el cual el agua cambia del estado líquido al gaseoso, a través del metabolismo de la planta y pasa a la atmósfera.

Chavarri (2008), señala que los factores ambientales que influyen en la transpiración, están influenciados por los mismo factores ambientales que rigen a la evaporación, sin embargo algunos factores meteorológicos como la iluminación, la temperatura y la humedad de la atmósfera, tienen un doble efecto en la transpiración debido a su influencia en la abertura de los estomas. Factores fisiológicos, la transpiración es afectada por las características de las especies vegetales, edad, desarrollo, tipo de follaje y profundidad radicular.

Chipana (1995), determina que las clases de suelos VII y la VI son las predominantes en el fundo “Los Pichones”, que abarcan toda el área y que son similares en la sede “Los Granados” ambas comprendidas en la sub clase “s” por presentar todos los suelos las mismas condiciones, con una pedregrosidad uniforme. Estos suelos son muy superficiales con una profundidad efectiva muy somera a 18 cm, y una pedregrosidad del 80%, su textura es areno gravosa, lo que limita el desarrollo de cultivos, por su textura son de excesiva aireación y drenaje rápido, pueden ser utilizados en cultivos especiales como árboles forestales de raíces profundas tolerantes al estrés hídrico y edáfico.

Díaz *et. al* (2008), indican en la producción agrícola en zonas áridas y semiáridas el riego es la fuente mas importante de agua para plantas, por lo que los problemas de su escasez conllevan al uso más eficiente de la misma, la eficiencia en la aplicación y distribución del agua y nutrientes sean el motivo adecuado para comparar sistemas de riego. Las innovaciones, a través de los riegos para incrementar el uso eficiente del agua es el cultivo de las plantas, son de suma importancia en regiones de escasez de agua.

Fuentes (2003), señala que los factores más importantes que condicionan la capacidad de agua disponible en el suelo son: la textura, la estructura, el contenido de materia orgánica, el espesor del suelo explorado por las raíces y la secuencia de capas en el perfil.

Fuentes (2003), indica que el riego localizado consiste en aplicar el agua a una zona más o menos restringida de volumen del suelo que habitualmente ocupan las raíces. Sus características principales son: no se moja la totalidad del suelo, se utiliza pequeños caudales a presión y el agua se aplica a alta frecuencia. La localización del agua en la proximidad de las plantas se manifiestan en que se modifican algunas características de las relaciones suelo-agua-planta, tales como: reducción de la evaporación, distribución del sistema radicular, régimen de salinidad, etc.

García (2011), indica que no existe «el» mejor método de riego, sino que existe «un» método de riego que es el más apropiado para cada situación. Los métodos de riego por gravedad tienen claras ventajas respecto a los métodos presurizados en cuanto a los costos de inversión y operativos. Sin embargo, es muy frecuente que los productores y sus técnicos asesores descarten a priori la elección de

este método. Debido a que el riego por superficie es poco uniforme, es muy ineficiente y por lo tanto desperdicia mucha agua.

García (2011), indica que el análisis de cada situación para determinar un sistema de riego, se debe tomar en consideración aspectos relativos a i. el suelo, fundamentalmente textura y profundidad, ii. La topografía, grado de la pendiente y microtopografía del terreno, iii. La fuente de agua, caudal o volumen, disponibilidad, calidad y precio, iv. El cultivo, sensibilidad al déficit hídrico, valor de la producción, manejo (en hileras o denso, siembra directa, etc.), v. la mano de obra, disponibilidad, costo, capacitación, vi. La energía, costo y vii. El productor, disponibilidad financiera, idiosincrasia, capacidad de gestión.

Infojardín (2012), señala que cuando se desarrolla un jardín, un aspecto clave es la selección de especies vegetales a incluir en el jardín. Se escogen las plantas por gustos estéticos y funcionales. Pero hay otro criterio muy importante escoger solo aquellas plantas adecuadas al clima y al suelo de cada jardín. Cada clima tiene su vegetación propia, se deberá seleccionar especies vegetales que vivan bien en el clima general de la zona. Los factores climatológicos-

ambientales en relación a la elección de las plantas son: luz, temperaturas, lluvias, humedad y vientos. No todos los suelos son iguales, es importante conocer el suelo para elegir las plantas mas adecuadas a cada caso, las principales características a considerar son las siguientes: textura, profundidad, drenaje, ph, contenido en humus y nutrientes minerales, la salinidad del suelo y del agua.

Infojardín (2012), señala que las características de interés de los árboles, se refiere a: la forma de la copa, si es un árbol de hoja caduca o perenne, el color de las hojas, flores y frutos y si produce buena sombra. Antes de plantar cualquier árbol es fundamental conocer el volumen que adquirirá cuando alcance su pleno desarrollo al cabo de los años. Se debe tener cuidado con las raíces de los árboles que puede hacer daño en edificaciones, tuberías, piscinas, levantar pavimentos, etc. Las podas anuales de ramas de los árboles hacen que las raíces se desarrollen mucho menos.

Infojardín (2012), indica que las plantas anuales proporcionan un gran colorido y larga floración, duran unos meses, a diferencia de las vivaceas y perennes que duran años. Los bulbos son fáciles aunque las flores duran relativamente poco, por ese motivo no se planta

grandes extensiones de bulbos a la vez ya que se transformarían en grandes vacíos cuando se marchiten, Combinarlos con arbustos, viváceas y anuales.

Infojardín (2012), señala un césped que está a la sombra o que está protegido del viento, requiere menos riego que otro que está a pleno sol todo el día y además expuesto a vientos fuertes y secos. Si el suelo es arenoso hay que regar más que si fuera arcilloso, que retiene más agua. Si es un césped que lo hemos "acostumbrado" a que viva con poca agua tendremos que regarlo mucho menos que otro acostumbrado a un riego continuo. Cuando un Césped se riega muy a menudo, las raíces se desarrollan muy superficialmente, no profundizan, puesto que no tienen necesidad de buscar agua abajo. Un Césped que se riega poco desarrolla un sistema radicular más profundo y más potente. Los momentos para regar son a primeras horas de la mañana o al atardecer. O, si tiene riego automático, por la noche.

Lutenberg (2010), indica que existen buenas razones para regar el césped por goteo subterráneo. La primera de ellas es el ahorro de agua que representa en el riego de áreas pequeñas o irregulares.

Además de dejar siempre la superficie seca, se administra el riego en porciones de agua reducidas. El riego se puede operar en condiciones de baja presión y permite el uso de aguas marginales, salobres y en especial, residuales.

La FAO (1990), señala que la transpiración, igual que la evaporación directa, depende del aporte de energía, del gradiente de presión del vapor y de la velocidad del viento. Por lo tanto, la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y el viento también deben ser considerados en su determinación. El contenido de agua del suelo y la capacidad del suelo de conducir el agua a las raíces también determinan la tasa de transpiración, así como la salinidad del suelo y del agua de riego. La tasa de transpiración también es influenciada por las características del cultivo, el medio donde se produce y las prácticas de cultivo. La evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente y no hay una manera sencilla de distinguir entre estos dos procesos. En el momento de la siembra, casi el 100% de la evapotranspiración (ET) ocurre en forma de evaporación, mientras que cuando la cobertura vegetal es completa, más del 90% de la ET ocurre como transpiración.

La FAO (1990), indica que la fuerza evaporativa de la atmósfera puede ser expresada por la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET<sub>o</sub>), este representa la pérdida de agua de una superficie cultivada estándar. La evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ET<sub>c</sub>) se refiere a la demanda evaporativa de la atmósfera sobre cultivos que crecen en áreas grandes bajo condiciones óptimas de agua en el suelo. Otros factores que se deben considerar al evaluar la ET son la cubierta del suelo, la densidad del cultivo y el contenido de agua del suelo.

La FAO (1990), refiere que los únicos factores que afectan a la evapotranspiración potencial o del cultivo de referencia (ET<sub>o</sub>) son los parámetros climáticos. Por lo tanto, ET<sub>o</sub> es también un parámetro climático que puede ser calculado a partir de datos meteorológicos. ET<sub>o</sub> 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. Desde este punto de vista, el método FAO Penman-Monteith se recomienda como el único método de determinación de ET<sub>o</sub> con parámetros climáticos. Este método ha sido seleccionado debido a que aproxima de una manera cercana la ET<sub>o</sub> de cualquier localidad evaluada, tiene bases físicas sólidas e

incorpora explícitamente parámetros fisiológicos y aerodinámicos. Además, se han desarrollado procedimientos para la estimación de los parámetros climáticos faltantes.

La FAO (1990), señala que para determinar la evapotranspiración del cultivo  $ET_c$  se calcula como el producto de la evapotranspiración del cultivo de referencia,  $ET_o$  y el coeficiente del cultivo  $K_c$ :

$$ET_c = K_c ET_o \quad [1]$$

Donde:

$ET_c$  = Evapotranspiración del cultivo [mm d-1].

$K_c$  = coeficiente del cultivo [a dimensional].

$ET_o$  = Evapotranspiración del cultivo de referencia [mm d-1].

La mayoría de los efectos de los diferentes factores meteorológicos se encuentran incorporados en la estimación de  $ET_o$ . Por lo tanto, mientras  $ET_o$  representa un indicador de la demanda climática, el valor de  $K_c$  varía principalmente en función de las características particulares del cultivo, variando solo en una pequeña proporción en función del clima. Esto permite la transferencia de valores estándar del coeficiente del cultivo entre distintas áreas geográficas y climas. Este hecho constituye la razón principal de la

aceptación general y utilidad de la metodología del coeficiente del cultivo, así como de los valores de  $K_c$ .

Muncharaz (2002), indica que la hidrozona es un área con plantas que tienen similares necesidades en agua. El objeto de crear hidrozonas es que las plantas reciban solamente el agua que necesitan, sin excesos que generen un despilfarro. Esta situación de plantas de diferentes necesidades de agua entremezcladas, se produce frecuentemente cuando se diseña sin considerar el fundamento hídrico. Al crear hidrozonas con riego, empleando preferentemente plantas más eficientes, para que el consumo de agua sea lo más bajo posible. El mayor consumo de agua siempre se produce en los céspedes, el césped no debe ser la base del diseño y su extensión debe limitarse en la medida de lo posible. Las hidrozonas que son básicas en el diseño, están ligadas directamente al concepto sectorización. Un sector de riego es una zona que se riega con la misma tecnología, el mismo caudal y al mismo tiempo. Como mínimo habrá tantos sectores de riego como hidrozonas. La sectorización debe combinarse con la automatización.

Muncharaz (2002), señala que una operación tan sencilla como regar en las horas de menor insolación, puede mejorar la eficacia de la aplicación del agua, ya que se pueden evitar las tasas de evapotranspiración elevadas que se producen en las horas más calurosas del día. También hace énfasis que es importante promover o financiar líneas de investigación sobre plantas ornamentales de bajo consumo de agua, tecnologías de riego y en general todas aquellas que vayan encaminadas al ahorro de agua para riego en jardinería.

Mojica (1974), indica que la influencia de la vegetación sobre el contenido de humedad en el suelo, tiene su máxima expresión en la eliminación o manipulación de la cobertura vegetal. Estudios conducidos en diferentes lugares del mundo, han concluido que la eliminación de la vegetación ha dado como resultado un aumento en la descarga de los ríos. Entonces, diferentes tipos de cobertura vegetal mostrarían diferencias en la recarga y descarga del acuífero.

Miler & Díaz (2000), enfatizan que el sector agrícola es un gran consumidor de aguas. Es importante optimizar el uso del recurso en este sector y en particular en la floricultura a través de la capacitación en su manejo y control, el mejoramiento de estructuras de captación,

conducción, almacenamiento y reúso del agua, de la tecnificación de los sistemas de riego, de la medición de los consumos entre otros. En este sentido la tasa de uso es un incentivo económico que busca desestimular el uso ineficiente fijando un precio al consumo de agua.

Moshe (2008), indica que el total de agua disponible en el suelo es la diferencia entre la capacidad de campo (CC) y el punto de marchitez permanente (PMP). Sin embargo no se debe permitir que el cultivo agote la totalidad del agua disponible, que moriría por desecamiento. Con el objetivo de evitar que el cultivo entre en “Estrés Hídrico”, se determina una fracción de manejo (f), es decir la fracción decimal de la diferencia (CC-PMP) que se dejara consumir por el cultivo antes de aplicar el siguiente riego.

Medina (1985), indica que no toda el agua aplicada a un cultivo es aprovechada por el mismo. Una parte se pierde en las conducciones y otra parte en el terreno por evaporación, escorrentía o percolación profunda. Pero además existe otro volumen que no se aprovecha, como consecuencia de la mala distribución sobre el mismo. En el riego la mayoría de estas pérdidas se reducen considerablemente

hasta el punto de que la eficiencia depende solamente de la uniformidad de aplicación del agua y de la relación de transpiración.

Medina (1985), refiere que la eficiencia es la proporción del agua total que se aplica en el terreno, que se utiliza por el cultivo. En el riego por goteo la mayoría de estas pérdidas se reducen considerablemente hasta el punto de que la eficiencia pasa a depender solamente de la uniformidad de aplicación del agua y de la relación de transpiración. No debe olvidarse que en riego por goteo solo se humedece un círculo alrededor del punto de emisión, y que este círculo queda generalmente bajo el follaje de la planta, con lo que la evaporación es prácticamente nula. Toda el agua consumida por la planta es, por tanto transpirada, por la misma razón no existe prácticamente escorrentía.

Palacios (2005), señala que la eficiencia en el uso del agua en el riego se integra por varios componentes, considerando las pérdidas de éste recurso desde su almacenamiento, conducción y aplicación a las parcelas de los regantes. La eficiencia del uso del agua para riego, se puede dividir en tres componentes que son: la eficiencia de almacenamiento ( $E_a$ ), la de conducción ( $E_c$ ) y la de riego,

propiamente dicha ( $E_r$ ). El producto de las tres eficiencias es la eficiencia total de uso de agua para la irrigación; ( $E_i$ ). Expresado en forma funcional se tiene:  $E_i = E_a E_c E_r$ .

Pizarro (1990), indica que el suelo está constituido por tres fases: sólida, líquida y gaseosa. La fase sólida se compone de partículas minerales y de materia orgánica; esta última representan un pequeño porcentaje salvo en suelos orgánicos. El espacio no ocupado por la fase sólida constituye los poros del suelo, que están ocupados por la fase líquida y gaseosa. Se denomina densidad aparente al cociente de dividir la masa de un suelo seco por el volumen del suelo, puede variar entre  $0,7 \text{ g/cm}^3$  en el caso de los suelos volcánicos y  $1,8 \text{ g/cm}^3$  en suelos arenosos. La textura influye en forma muy importante en la capacidad de retención de agua en los suelos. Los suelos con buenas estructuras tienen una mayor porosidad y por lo tanto contienen más agua.

Rodríguez *et. al* (2000), indica que considerar el jardín como un área homogénea de requerimientos hídricos es un error desde el punto de vista de la gestión eficiente del agua de riego, ya que especies distintas tendrán necesidades distintas. Para optimizar el

uso del agua se debe dividir el jardín en hidrozonas o zonas hídricas, división que se debe realizarse teniendo en cuenta el consumo de agua de las plantas, sus necesidades de iluminación y mantenimiento.

Rodríguez *et. al* (2000), indica que el césped es uno de los elementos más empleados en los jardines y parques tanto públicos como privados. Su utilización genera un buen numero de beneficios no solo estéticos y sociales, sino también ambientales, ya que mejora las propiedades del suelo por la cantidad de materia orgánica que origina, interviene en la liberación de oxígeno a la atmosfera, protege contra la erosión, etc. Algunas especies de césped consideradas como poco exigentes en aguas son: *Cynodon dactylon*, *Buchloe dactyloides*, *Paspalum vaginatum*, *Zoysia japonica*, *Stenotaphrum secundatum*, *Festuca arundinacea*, *Panicetum dactylon* y *Pennisetum clandestinum*.

Rosell (1992-1993), señala que clima en el idioma griego, significa inclinación, lo cual implica porque los griegos relacionaban la inclinación de los rayos solares con el clima. En la tierra se han determinado cinco climas básicos, que de alguna manera se relacionada con la latitud. El estudio de algunos factores

climatológicos y del clima es importante para la estimación de la evapotranspiración. La temperatura que condiciona la evapotranspiración, el fenómeno de la evaporación y de la fluctuación del clima, es importante para el cultivo de plantas.

SAGARPA (2010), indica con el método Penman-Monteith se obtienen valores más consistentes del consumo del agua de los cultivos, esto debido a que toma en cuenta el mayor número de variables climatológicas en comparación de otros modelos. La ecuación utiliza datos climatológicos de radiación solar, temperatura del aire, humedad y velocidad del viento. Los factores meteorológicos que determinan la evapotranspiración son los componentes de tiempo que proporcionan energía para la evaporación y extraen vapor de agua de una superficie evaporante.

Tate (2012), señala que el *"uso eficiente del agua"* incluye cualquier medida que reduzca la cantidad de agua que se utiliza por unidad de cualquier actividad, y que favorezca el mantenimiento o mejoramiento de la calidad de agua. El uso eficiente del agua está muy relacionado con otros conceptos básicos del manejo actual de recursos ambientales, y en muchos casos, forma parte integral de

ellos. De estos conceptos relacionados, tal vez el más arraigado es el de la conservación del agua. El uso eficiente del agua es básico para el desarrollo sostenible (o sea, el uso de los recursos de la tierra por los habitantes de hoy) y para asegurar que haya suficientes recursos para generaciones futuras. El uso eficiente de los recursos es una forma de alcanzar las metas del desarrollo sostenible.

Troyo & Dieguez (2011), señalan que la gestión de los recursos agua y suelo se concibe como el proceso por medio del cual se decide la manera en que el escenario futuro debe ser conservado o variado con respecto al presente. El agua y suelo, como parte de los servicios ambientales que ofrecen los ecosistemas, constituyen factores indispensables que son capaces a su vez de proveer los sustentos fundamentales para el mantenimiento y sostenimiento de los ecosistemas y los recursos naturales a fin de que puedan proveer beneficios básicos a la sociedad. La planificación integral de los recursos naturales básicos agua y suelo, deben basarse entonces en su diagnóstico, protección y aprovechamiento racional, así como en el manejo sostenible de los recursos.

Vásquez (1988), señala que la cantidad de agua disponible en el suelo a ser utilizado por las plantas, están comprendida entre el rango de humedad a capacidad de campo (CC. 0,33 bares) y el punto de marchitez permanente (PMP. 15 bares). Si se mantuviera la humedad del suelo a un nivel mayor que la CC, existe el peligro de que la falta de aire en el suelo sea un factor limitante para el normal desarrollo de las plantas. Mientras que a niveles de humedad cercanos al punto de marchitez permanente, producirá daños irreversibles al cultivo.

Zabaleta (1972), señala que en el fundo “Los Pichones” y la sede “Los Granados” se distinguen dos unidades: Fluvisols Eutric, siendo su capacidad de uso potencial: I, II, III, cuyos suelos de esta unidad están constituidos por materiales detríticos de origen aluvial, por lo general son superficiales a moderadamente profundos, presenta textura franco arenosas y pedregrosidad superficial, su drenaje es bueno, encontrándose dentro de la unidad fisiológica: llanura aluvial caracterizada por bancos de río, conformada por arena, arcilla y cantos rodados. Y la unidad Fluvisols Dystric, siendo su capacidad de uso potencial: VI, VII, cuyos suelos de esta unidad están constituidos por materiales detríticos de origen aluvial, presenta textura areno gravosa y pedregrosidad superficial, el uso de maquinaria es

imposibilitado por la presencia de piedras, su drenaje es excesivo, encontrándose dentro de la unidad fisiológica: llanura aluvial y pequeñas lomadas los mismos que están conformadas por banco areno gravoso.

### **2.3. Definición de términos**

**Arbusto.-** Es una planta leñosa de cierto porte, a diferencia de lo que es propio de un árbol, no se yergue sobre un solo tronco o fuste, sino que se ramifica desde la misma base. Los arbustos pueden tener varios metros de altura. Infojardín (2012).

**Árbol.-** Es una planta perenne, de tallo leñoso, que se ramifica a cierta altura del suelo. El término hace referencia habitualmente a aquellas plantas cuya altura supera un determinado límite, que puede alcanzar de 6 m – 8 m, a más en su madurez. Además, producen ramas secundarias nuevas cada año que parten de un único fuste o tronco, con claro dominio apical, dando lugar a una nueva copa separada del suelo. Infojardín (2012).

**Capacidad de Campo (CC).-** Es la máxima capacidad de retención de agua de un suelo sin problemas de drenaje, y que se

alcanza según la textura del suelo entre 24 y 72 horas después de un riego pesado. Vásquez (1988).

**Coefficiente del Cultivo (Kc).**- Es un factor que indica el grado de desarrollo de un cultivo, describe las variaciones de las cantidades de agua que las plantas extraen del suelo a medida que van desarrollándose, esta relacionado con la cobertura del suelo del mismo, que es la que va a influenciar la evapotranspiración. El Kc esta afectado por el tipo de cultivo, fecha de siembra, etapa de crecimiento, duración del ciclo vegetativo, características climáticas de la zona, frecuencia del riego. Benites (2001).

**Césped.**- Está formado por una o varias especies pertenecientes a la familia botánica de las Gramíneas. Infojardín (2012).

**Densidad aparente del suelo.**- Es el peso de una muestra de suelo seco dividido por el volumen total de ocupa. Fuentes (2003).

**Eficiencia.**- Es la proporción del agua total que se aplica al terreno que es utilizable por el cultivo. En el riego por goteo la mayoría de estas perdidas se reducen considerablemente hasta el punto de

que la eficiencia pasa a depender solamente de la uniformidad de aplicación del agua y de la relación de la transpiración. Medina (1985).

**Eficiencia de Riego.-** Es la relación entre la lámina de agua neta calculada para un riego y la lámina de agua bruta por aplicar, en consideración a las condiciones de operación del sistema de riego. Avidan (1994).

**Eficiencia de aplicación del agua.-** Proporción entre la cantidad de agua almacenada en la zona de las raíces y la cantidad de agua aplicada por el sistema de riego. Fuentes (2003).

**Eficiencia de aplicación en parcela.-** Es la fracción del agua aplicada que queda retenida en la zona radicular a disposición de los cultivos. Pizarro (1990).

**Eficiencia de uso de agua.-** Es la relación entre el peso seco del producto obtenido (t/ha) y la lámina de agua evapotranspirada por el cultivo. Vásquez (1988).

**Evaporación.-** Es el agua evaporada por el terreno adyacente a la planta, por la superficie del agua o por el agua interceptada por las hojas de las plantas. Benites (2001).

**Evapotranspiración Potencial (ET<sub>o</sub>)-** Es la tasa de evaporación (mm/d), de una extensa superficie de pasto (grama) verde, de 8 a 15 cm, de altura, en crecimiento activo, que sombrea completamente la superficie del suelo y que no sufre de escasez de agua. Doorenbos & Pruitt (1975).

**Evapotranspiración del Cultivo (ET<sub>c</sub>)-** Se refiere a la evapotranspiración de cualquier cultivo cuando se encuentra exento de enfermedades, con buena fertilización y que se desarrolla en parcelas amplias, bajo óptimas condiciones de suelo y agua, y que alcanza la máxima producción de acuerdo a las condiciones climáticas reinantes. FAO, (2000).

**Humedad aprovechable o disponible por las plantas.-** Está referida a la humedad del suelo que puede ser consumida fácilmente por la planta para sus necesidades biológicas. Esta humedad es la

diferencia que existe entre capacidad de campo y punto de marchitez permanente. Vásquez (1988).

**Infiltración.-** Se define como el movimiento vertical del agua en la parte superficial del suelo. El agua al entrar en contacto con la superficie del suelo sigue dos caminos, se desliza a través de la superficie (escurrimiento) y penetra cruzando la superficie hacia estratos inferiores (infiltración). Benites (2001).

**Jardín.-** Es un término de origen francés que hace referencia al terreno donde **se** cultivan plantas con fines decorativos y ornamentales. Se trata de un huerto de flores que busca embellecer un determinado lugar. Infojardín (2012).

**La flor.-** Es la estructura reproductiva característica de las plantas llamadas espermatofitas o fanerógamas. La función de una flor es producir semillas a través de la reproducción sexual. Para las plantas, las semillas son la próxima generación, y sirven como el principal medio a través del cual las especies se perpetúan y se propagan. Infojardín (2012).

**Profundidades de raíces.-** Esta relacionado con el tamaño del cultivo y ello depende de la especie y el lapso de vida de los mismos. C.I.D.I.A.T.

**Profundidad radicular efectiva.-** Es la cantidad de absorción de agua que realiza la raíces de la planta, en las capas próximas a la superficie del suelo, concentra ahí la mayor parte del sistema radicular que extrae el 80 – 85% del agua entre riegos sucesivos. Avidan (1994).

**Percolación.-** Proceso de movimiento del agua a través del suelo. Cuando la percolación es muy profunda, el agua baja y alcanza profundidades más allá de donde las raíces no son capaces de aprovecharla. Antúnez *et. al* (2010).

**Plantas Ornamentales.-** Son aquellos vegetales que se utilizan en la decoración con la intención de adornar o embellecer un espacio. Son plantas que se cultivan con una finalidad estética, a diferencia de otras especies (como las plantas comestibles o las plantas medicinales). De todas formas, hay plantas que pueden cumplir con más de una de estas funciones. Infojardín (2012).

**Punto de Marchitez Permanente (PMP).**- Es el punto en el cual la vegetación manifiesta sistemas de marchitamiento, caída de hojas, escaso desarrollo o fructificación debido a un flujo retardado de agua en el suelo hacia la planta y que en promedio corresponde a un estado energético de 15 bares. Vásquez (1988).

**Riego por goteo.**- El riego por goteo, el agua es conducida por medio de conductos cerrados, desde el punto de toma hasta la misma planta, a la que se aplica gota a gota por medio de dispositivos que se conocen como emisores o goteros. Medina (1985).

**Reserva de agua fácilmente disponible.**- Cantidad de agua que puede absorber las plantas sin que haya disminución del rendimiento. Fuentes (2003).

**Transpiración.**- Es el agua que penetra a través de las raíces de las plantas una parte es utilizada en la formación de los tejidos y la otra, emitida por las hojas para ser reintegrada a la atmosfera. Benites (2001).

**Umbral de agotamiento (n).**- Llamado también fracción de manejo, es la fracción decimal de la diferencia (CC-PMP) que se dejara de consumir por el cultivo antes de aplicar en siguiente riego. Moshe (2008).

**Uso eficiente del agua.**- Es cualquier reducción o prevención de pérdida del agua que sea de beneficio para la sociedad. La definición de conservación sugiere que las medidas de eficiencia deben tener sentido social y económico, además de reducir el uso del vital líquido por unidad de actividad. Por último, el uso eficiente del agua es básico para el desarrollo sostenible y para asegurar que haya suficientes recursos para generaciones futuras. Aranda (2012).

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1. Tipo de la investigación**

La investigación sobre la evaluación del uso eficiente del agua para desarrollar las áreas verdes en la ciudad universitaria es de carácter cuasi-experimental.

#### **3.2. Población y muestra**

##### **3.2.1. Población de estudio**

Está conformada por las diferentes especies ornamentales que conforman las áreas verdes y que se adapten a las características climatológicas, edafológicas e hídricas que posee el medio ambiente de la ciudad universitaria.

##### **3.2.2. Tipo de muestra**

El tipo de muestra está conformada por los diferentes grupos de plantas ornamentales que conforman el jardín siendo estas: césped, flores, arbustos y árboles.

### **3.2.3. Tamaño de la muestra**

El tamaño de la muestra para el césped está conformado por diferentes especies que son sembrados por metro cuadrado, para las flores está conformado por la densidad de plantación por metro cuadrado y para los arbustos y árboles el tamaño de la muestra será considerada por el área que ocupa la cobertura vegetal por planta.

### **3.3. Diseño de la investigación**

El diseño de la investigación según Pizarro (1990) consiste en evaluar los factores que influyen en la demanda de agua que se pueden modificar, estos factores considerados son las especies de céspedes, la densidad de plantación en flores y la cobertura vegetal en arbustos y árboles; y el empleo del sistema de riego por goteo. Luego de calcular la demanda de agua del grupo de plantas ornamentales considerando los factores de evaluación y las variables independientes que influyen en ella; estos serán utilizados en el modelo de diseño central compuesto Box-Wilson, para determinar estadísticamente que combinación de factores son los más adecuados para optimizar la demanda de agua a fin de determinar el

uso eficiente del agua por las plantas ornamentales. Este diseño de investigación consta de tres partes cuya descripción es la siguiente:

En su primera parte se evalúa los dos factores que influyen en la demanda de agua por grupo de plantas ornamentales, que se pueden modificar; así tenemos:

**A.-** Para el cultivo del césped, el primer factor de evaluación se considera el nivel de consumo de agua por metro cuadrado de las diferentes especies de césped, que se adapten a las características de clima árido, al tipo de agua y al suelo de la zona de estudio; considerando para dos condiciones de requerimiento de agua, para aquellas especies que requieren menos agua y que son resistentes a la sequia, y aquellas especies que requieran más agua que no son resistentes a la sequia.

**B.-** Para el cultivo de las flores, el primer factor de evaluación se considera la densidad de plantación (marco de plantación) por metro cuadrado, para dos condiciones de plantación (baja, alta); según como se desarrollan la densidad de plantación en el cultivo de las flores a nivel de jardín.

**C.-** Para los arbustos y árboles, el primer factor de evaluación se considera la cobertura vegetal por planta, para dos condiciones de desarrollo de la copa (mediana, grande); para definir esas dos condiciones, se ha medido el área de la cobertura vegetal en los arbustos y árboles que se encuentran en los jardines de la ciudad universitaria.

**D.-** El segundo factor de evaluación tanto para el césped, las flores, arbustos y árboles, se considera la eficiencia del sistema de riego por goteo para dos condiciones (baja, alta), de acuerdo a las eficiencias que se toman en cuenta en el planeamiento y manejo de los sistemas de riego por goteo.

En su segunda parte se ha de calcular los valores de la demanda de agua de las plantas ornamentales que constituyen el jardín (césped, flores, arbustos y árboles); para ello se han desarrollado 4 procesos de cálculo empleando el Microsoft Excel, en donde se consideran los factores de evaluación, todas las variables independientes que influyen en la demanda de agua; así como las variables exógenas que el investigador no puede modificar como son: las variables climatológicas de la zona de estudio, la calidad del agua

y del suelo; además se ha de considerar básicamente en los 4 procesos de cálculo los siguientes aspectos:

**A.-** El empleo de CROPWAT V-8, método desarrollado por la FAO (2000), que permite calcular la evapotranspiración potencial de las plantas, en donde se emplea la fórmula de Penman-Monteith, para utilizar este software se requiere contar con los datos meteorológicos de la zona de estudio, referente a la temperatura promedio mensual, la humedad relativa, horas de sol, la velocidad del viento y el nivel de altura sobre el nivel del mar. Este software emplea coordenadas geográficas (latitud, longitud) para poder ubicar el lugar de estudio, constituyendo un método de uso universal, que permite determinar la evapotranspiración potencial o de referencia en cualquier parte de la tierra.

**B.-** Los coeficientes  $K_c$  de las plantas ornamentales, que permite determinar el grado de consumo de agua por las plantas durante el desarrollo de su periodo vegetativo.

**C.-** El grado de retención de humedad del suelo a nivel de

desarrollo de las raíces de las plantas ornamentales que permitirá calcular las láminas de riego y ciclos de riego que se deben emplear en el riego de los jardines.

**D.-** El nivel de sales solubles presentes en el agua de riego y en el suelo, que permite determinar la lámina por lavado de sales que se debe aplicar al suelo, para evitar problemas de salinidad, de tal modo de no permitir que las sales afecten a todas la infraestructura subterránea colindante a los jardines.

En su tercera parte, con los respectivos factores de evaluación planteados por cada grupo de plantas ornamentales y con los resultados de la demanda de agua provenientes de los procesos de cálculo, estos serán utilizados en el modelo del diseño central compuesto Box-Wilson, este modelo permite determinar estadísticamente que combinación de factores son las más adecuados para optimizar la demanda de agua y por lo tanto se logrará determinar el uso eficiente del consumo de agua por las plantas ornamentales.

Este diseño experimental contiene embebidos un factorial compuesto o un factorial fraccionario con puntos centrales mas puntos estrella que permiten la estimación de la curvatura, esta constituido por tres partes:

- 1.- Un bloque factorial  $2^K$  a dos niveles.
- 2.- Un bloque estrella con  $2K$  puntos adicionales, donde cada factor toma los niveles codificados  $\pm 2^{K/4}$
- 3.- Tres puntos centrales de niveles codificados (0) que se repite en forma conveniente con el objeto de determinar el error experimental.

Resultando en total 2 factores de evaluación y 11 pruebas estadísticas por tipo de muestra.

#### **3.4. Operacionalización de variables**

La operacionalizacion de las variables se da en la siguiente tabla 1.

**Tabla 1**  
**Operacionalización de las variables**

<b>Hipótesis Específicas</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>Tipo de Variable</b>	<b>Variable</b>	<b>Indicador</b>	<b>Método</b>	<b>Prueba Estadística</b>
El consumo de agua en el césped esta relacionado a la especie vegetal.	Determinar el uso eficiente del consumo de agua por el cultivo del césped.	Cualitativa discreta: variedad de especies de césped Cuantitativa continua: Sistema de riego Demanda de agua	Independiente Especies de césped Sistema de riego Dependiente Demanda de agua.	Consumo de agua en $m^3/m^2$ -anual Considerando menor a un mayor consumo La eficiencia del sistema de riego entre 85% al 95%	Identificación de las especies de césped	Diseño central compuesto Box-Wilson para determinar el consumo optimo de agua en los céspedes.
La densidad de plantación en flores determina la demanda de agua por superficie cultivada.	Determinar la densidad de plantación en flores con relación al uso eficiente del consumo de agua.	Cuantitativa Continua: Densidad de plantación Sistema de riego Demanda de agua	Independiente Especies de flores. Sistema de riego. Dependiente Demanda de agua.	Consumo de agua en $m^3/m^2$ -anual Considerando la densidad de plantación de baja a alta. La eficiencia del sistema de riego entre 85% al 95%	Medición del marco de plantación.	Diseño central compuesto Box-Wilson Para determinar el consumo optimo de agua en las flores
La demanda de agua de las plantas ornamentales permanentes como son los arbustos y arboles esta relacionado a su cobertura vegetal	Determinar la relación entre la cobertura vegetal con el uso eficiente del consumo de agua en arbustos y árboles.	Cuantitativa Continua: Área de cobertura vegetal Sistema de riego Demanda de agua	Independiente Especies de arbustos y árboles. Sistema de riego. Dependiente Demanda de agua	Consumo de agua en $m^3/planta$ -año. Considerando la cobertura vegetal mediana a grande La eficiencia del sistema de riego entre 85% al 95%	Medición de la cobertura vegetal.	Diseño central compuesto Box-Wilson Para determinar el consumo optimo de agua en arbustos y árboles

Fuente: Elaboración propia.

### **3.5. Técnicas e instrumentos para recolección de datos**

#### **3.5.1. Técnicas para la recolección de datos**

Las técnicas para recolectar datos según Pizarro (1990), fueron las siguientes:

**A.-** Visitas a los jardines para efectuar diagnóstico situacional.

**B.-** Inventario de las especies vegetales ornamentales que se encuentran adaptadas al medio ambiente de los jardines de la ciudad universitaria.

**C.-** Determinación de la densidad de plantación de las diferentes especies de flores que se cultivan en los jardines.

**D.-** Medición de la cobertura vegetal de los arbustos y árboles que se encuentran los jardines de la ciudad universitaria.

**E.-** Tomas de muestras de suelo, para realizar el análisis fisicoquímico en laboratorios especializados.

**F.-** Obtención de datos climatológicos de la zona de estudio, que fue proporcionado por Senamhi Tacna.

**G.-** Medición de la profundidad de las raíces de las plantas ornamentales.

### **3.5.2. Materiales y/o instrumentos para recolección de datos**

Se utilizó los siguientes materiales y/o instrumentos, estos fueron: lampa, cámara fotográfica, moldes metálicos y wincha metálica.

## **3.6. Procesamiento y análisis de datos**

### **3.6.1. Empleo de los procesos de cálculo para determinar la demanda de agua de las plantas ornamentales**

Los procesos de cálculo desarrollados según Pizarro 1990), describen a base de ecuaciones y algoritmos las relaciones que existen entre las diferentes variables y sus relaciones entre sí que intervienen para calcular los valores de la demanda de agua de las plantas ornamentales en estudio (césped, flores, arbustos y árboles). Dichos procesos

de cálculo se han desarrollado en el Microsoft Excel que facilita rápidamente los cálculos. La información común que requiere estos procesos de cálculo son los siguientes:

**A.-** La evapotranspiración potencial de las plantas (ET<sub>o</sub>), para ello se ha empleado la fórmula propuesta por Penman-Monteith; para lo cual se ha utilizado el software CROPWAT V-8, desarrollado por la FAO (2000); cuya relación matemática es la siguiente:

$$ET_o = \frac{0.408 V (R_n - G) + \gamma (900 / (T + 273)) u_2 (e_s - e_a)}{V + \gamma (1 + 0.34 u_2)} \quad [2]$$

Donde:

ET<sub>o</sub> = Evapotranspiración potencial, en mm/d

R<sub>n</sub> = Radiación neta en la superficie del cultivo, en MJ/m<sup>2</sup>/d

R<sub>a</sub> = Radiación extraterrestre, en mm/d

G = Flujo de calor del suelo, en MJ/m<sup>2</sup>/d

T = Temperatura media del aire a 2 m, de altura, en °C

u<sub>2</sub> = Velocidad del viento a 2 m, de altura, en m/s

e<sub>s</sub> = Presión de vapor de saturación, en K Pa

e<sub>a</sub> = Presión real de vapor, en K Pa

V = Pendiente de la curva de presión de vapor, en k Pa/°C

Y = Constante psicométrica, en K Pa/C

El método Penman-Monteith proporciona valores más consistentes del consumo del agua de los cultivos, debido a que toma en cuenta el mayor número de variables climatológicas en comparación con otros métodos.

Para emplear el CROPWAT se han tomado los datos climatológicos promedios mensuales de los últimos 10 años registrados en la Estación Meteorológica Agrícola Principal-Jorge Basadre Grohmann, encontrándose dicha estación en una Latitud  $18^{\circ} 01' 36''$ , a una Longitud  $70^{\circ} 15' 2.4''$  y altura de 560 m.s.n.m. Esta estación meteorológica se encuentra ubicada en el fundo "Los Pichones Norte" colindante con el fundo "Los Granados", cuyos datos climatológicos que se requieren se encuentran en la tabla 2.

**Tabla 2**  
**Datos climatológicos de la estación MAP-Jorge Basadre Grohmann**

Mes	Temperatura Mínima °C	Temperatura Máxima °C	H.R. %	Velocidad del Viento (Km/d)	Horas de Sol h/d)
Enero	17,1	27,7	70	259	7,9
Febrero	17,5	28,2	69	432	8,1
Marzo	16,6	27,2	71	259	8,2
Abril	14,8	24,7	75	259	7,8
Mayo	12,6	22,1	78	259	6,9
Junio	10,8	19,8	80	259	6,2
Julio	10,2	18,8	81	259	6,0
Agosto	10,6	19,5	81	259	6,1
Setiembre	11,3	20,8	80	259	6,7
Octubre	12,6	22,7	77	259	7,6
Noviembre	14,1	24,4	74	259	8,3
Diciembre	15,6	26,1	72	259	8,0

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, Dirección Regional Tacna-Moquegua.

**B.-** Debido a que existe presencia de sales solubles, tanto en los suelos en donde se desarrollan los jardines y en la fuente de agua subterránea que se debe utilizar para regar; se ha efectuado los análisis fisicoquímicos del suelo de los jardines y del agua subterránea, para determinar el grado de concentración de sales existente, y poder calcular la lámina por lavado de sales que se debe aplicar al

suelo, para efectuar un micro lavado de las sales de la zona de desarrollo de las raíces de las plantas, evitando aplicar excesos de agua, que origine desplazar las sales fuera de la zona de la raíces, que provocaría el deterioro ambiental de todas las instalaciones colindantes a los jardines. Para calcular la lámina por lavado de sales se ha procedido con la siguiente metodología.

**Primer paso.-** De varias zonas de desarrollo de las raíces de las plantas ornamentales de los jardines de la ciudad universitaria, se extrajo muestras de suelo; luego de juntar estas, se tomo una muestra representativa para analizar sus características fisicoquímicas en laboratorios especializados; el primer análisis de suelos fue realizado en el Laboratorio del Modulo de Servicios Tacna CITELAB agroindustrial, ubicado en la Panamericana Sur km 1.303 de la Ciudadela Zofra Tacna, cuyos resultados se dan en la tabla 3.

**Tabla 3**  
**Características físico-químicas de los suelos en donde se desarrollan los jardines**

Ensayo	Método	Resultado	Unidades
Determinación del Ph	Potenciómetro	6,78	
Determinación de Conductividad Eléctrica	Conductímetro	0,96	uS/cm
Determinación de Textura (Arena Franca)	Hidrómetro de Bouyucos	79,84 14,00 6,16	% Arena % Limo % Arcilla

Fuente: CITELAB. Anexo "A"

Resultando un suelo de textura arenosa cuya conductibilidad eléctrica es de 0,96 uS/cm que equivale a 0,00096 mmho/cm, representa muy baja salinidad debido a que estos suelos tienen cultivos ornamentales en desarrollo durante varios años y son regados frecuentemente por gravedad, por lo tanto las sales de la capa superior del suelo fueron lavadas.

**Segundo paso.-** En los ámbitos de la ciudad universitaria se encuentra ubicado el pozo de agua subterránea IRHS-179, que ha de constituir la fuente de agua para regar todos los jardines actuales y los proyectados.

DIGESA (2011), realizó un estudio de la calidad del agua a pedido de la Universidad, cuyos resultados de características físico químicas se presentan en la tabla 4.

**Tabla 4**  
**Análisis físico-químico del agua procedente del pozo subterráneo IRHS-179**

<b>Parámetro</b>	<b>Puntos de Muestreo 01-FQ</b>	<b>D.S. N° 031-2010-SA de Agua Potable</b>
Sólidos Totales disueltos (mg/L)	1.000	1.000
Dureza Total (mg/L)	417,20	500
Alcalinidad total (mg/L)	100,00	----
Cloruro (mg/L)	111,99	250
Sulfato (mg/L)	382,50*	250
Hierro (mg/L)	5,39*	0,30
Cobre (mg/L)	<0,010	2,00
Manganeso (mg/L)	0,064	4,00
Zinc (mg/L)	<0,011	3,00
Arsénico (mg/L)	0,0527*	0,050
Boro (mg/L)	1,56*	1,500
Cadmio (mg/L)	<0,010	0,003
Cromo (mg/L)	<0,028	0,050
Plomo (mg/L)	<0.025	0,010
Conductibilidad Eléctrica uS/cm	1.721	

Fuente: DIGESA (2011).

\*= Los valores exceden el valor límite máximo permisible de la legislación nacional vigente.

Resultando que la conductibilidad eléctrica del agua subterránea = 1.721 uS/cm que equivale a 1.721 mmho/cm, representa elevada salinidad que al ser empleado para regar los jardines contaminaría el suelo, en la zona donde se encuentran las raíces de las plantas.

**Tercer paso.-** En las actuales áreas de jardines, estas fueron formados con suelos traídos de otros lugares, habiéndolos colocados encima del suelo original; estos suelos pertenecen a la serie Caplina, cuyas características físico-químicas, fueron analizadas por el Ministerio de Agricultura (1972), cuyos resultados se encuentran en la tabla 5.

**Tabla 5**  
**Características físico químicas de la serie Caplina**

<b>Nº de Calicata</b>	<b>Profundidad cm</b>	<b>P.S. %</b>	<b>C.E. mmhos/cm</b>	<b>Ph</b>	<b>Clase Textural</b>
YE-130	0 – 10	23,0	3,3	7,2	Arenoso grava + arena
	>10	19,9	1,0	7,5	
YE-138	0 – 10	24,9	4,0	8,1	Arenoso grava + arena
	>10	22,7	4,7	7,3	

Fuente: Ministerio de Agricultura. Estudio Agrologico detallado del valle de Tacna y pampas de la Yarada (1972).

Resultando que en la superficie de la serie Caplina, presenta un suelo de textura arenosa y a mas profundidad las capas del suelo contiene grava mezclada con arena, este tipo de suelo posee un alto grado de drenaje, la conductibilidad eléctrica del perfil del suelo de esta serie de suelos varía de 1,00 a 8,10 mmho/cm, representa una alta salinidad y que al aplicar exceso de agua, provocaría que fácilmente las sales solubles sean desplazadas y arrastradas a zonas mas profundas y áreas colindantes.

De los resultados de los análisis de los suelos de los jardines que fueron transportados y del agua subterránea, los suelos contienen poca sales, en cambio el agua de riego de origen subterráneo que se utilizaría para regar los jardines contiene gran cantidad de sales solubles; es por esto que es necesario calcular la lámina por lavado de sales, que permita desplazar a estas, hacia los límites del bulbo de humedecimiento, sin que emigren a otras zonas mas profundas, para evitar deteriorar las estructuras colindantes a los jardines, como actualmente sucede.

Para calcular la lámina por lavado de sales se emplea la siguiente relación, según Pizarro (1990):

$$\text{L.V.S.} = \frac{\text{CEi}}{2\text{CEs}} \quad [3]$$

Donde:

L.V.S. = Lámina por lavado de sales

CEi = Conductividad eléctrica del agua de riego  
(fuente subterránea)

CEs = Conductividad eléctrica que se quiere alcanzar en  
el suelo sin que afecte al desarrollo de las plantas

Se ha considerado el CEi = 1.721 mmho/cm, y el  
Ces = 4,7 mmho/cm, el L.V.S. resulta:

$$\text{L.V.S.} = \frac{1.721 \text{ mmho/cm}}{2(4,7 \text{ mmho/cm})} = 0,183$$

$$\text{L.V.S.} = 0,183 \times 100$$

$$\text{L.V.S.} = 18,30 \%$$

Que representa un aumento del 18,30% de la demanda de agua por los cultivos ornamentales por la presencia de sales en el agua de riego.

**C.-** Para determinar el grado de retención del agua del suelo, y por ende calcular el agua aprovechable o disponible por las plantas, se ha determinado las constantes hídricas de los suelos que conforman los jardines; para ello se ha llevado muestras de suelo al Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria de la Molina, en la tabla 6 se muestran los resultados, en donde se puede observar que las constantes hídricas son típicos de suelos arenosos que retienen poca humedad.

**Tabla 6**  
**Constantes hídricas de los suelos en donde se desarrollan las raíces de las plantas ornamentales**

Número de Muestra		CC.	P.M.P.	D.A.
Lab.	Claves	%	%	g/cm <sup>3</sup>
6208	Muestra 2	15,76	8,32	1,46

Fuente: Laboratorio de Suelos de la UNALAM. Anexo "A"

### **3.6.2. Determinación del uso eficiente del consumo de agua por el cultivo del césped**

#### **3.6.2.1. Determinación del primer factor de evaluación**

Se debe tener en cuenta que los céspedes refrescan al ambiente, dan orden y unidad al jardín,

es por esto que el primer factor de evaluación lo conforman las especies de césped que se adaptan a las condiciones medioambientales de los jardines de la ciudad universitaria (tabla 7), y según que señala Rodríguez *et. al* (2000), las especies de césped que requieren menos agua y son resistentes a la sequia son: Bermuda, Grama china, Hierba búfalo y Kikuyo; y de acuerdo a las características botánicas las especies que requieren mas agua y no resisten a la sequia son: Rye grass, Grama dulce y la Festuca roja.

Albert Velarde (2008), indica que las especies que requieren menos agua, el coeficiente de cultivo  $K_c$  se encuentra entre 0,70 a 0,90 y para las especies que requieren mas agua el  $K_c=1,00$ , o  $K_c >1,00$  para céspedes y praderas. En la tabla 7 se muestran las diferentes especies de césped según el requerimiento de agua y resistencia a la sequia, que se adaptan a la zona de estudio.

**Tabla 7**  
**Especies de césped que se adaptan a la zona de estudio**

<b>Especie</b>	<b>Requerimiento de Agua</b>	<b>Resistencia a la Sequia</b>
Bermuda ( <i>Cynodon dactylon</i> )	Menor	Resistente
Rye grass inglesh ( <i>Lolium perenne</i> )	Mayor	no resistente
Grama dulce ( <i>Stenotaphrum secundatum</i> )	Mayor	no resistente
Grama china o pata de pajarito ( <i>Panicum dactylon</i> L.)	Menor	Resistente
Hierba búfalo, zacate chino ( <i>Buchloe dactyloides</i> )	Menor	Resistente
Kikuyo kikuyu, grama gruesa ( <i>Pennisetum clandestinum</i> )	Menor	Resistente
Festuca roja, festuca encarnada ( <i>Festuca rubra</i> )	Mayor	no resistente

Fuente: Rodríguez *et. al* (2000).

### **3.6.2.2. Determinación del segundo factor de evaluación**

El segundo factor de evaluación lo conforma la eficiencia del sistema de goteo ( $E_r$ ), para dos condiciones:  $E_r=85\%$  (baja) y  $E_r=95\%$ , (alta).

### **3.6.2.3. Conformación estructural de los procesos de cálculo para determinar la demanda de agua para el césped**

Las diferentes relaciones matemáticas que conforman los procesos de cálculo para determinar la demanda de agua en el césped son las siguientes:

**A.-** Se ha calculado la evapotranspiración del cultivo (ETc), según FAO (2000), de la siguiente forma:

$$ETc = Kc ETo \quad [4]$$

Donde:

ETc = Evapotranspiración del cultivo, en mm/d

Kc = Coeficiente del cultivo, indica el grado de consumo de agua por la planta

ETo = Evapotranspiración potencial, en mm/d

(CROPWAT)

**B.-** Se ha calculado las necesidades netas de riego (Nn), según Pizarro (1990):

$$Nn = ETc \times C \quad [5]$$

Donde:

Nn = Necesidades netas de riego, en mm/d

ETc = Evapotranspiración del cultivo, en mm/d

C = Coeficiente de variación climatológica = 1,20 para zonas áridas

**C.-** Se ha determinado la lámina por lavado de sales, en el punto B del numeral 3.6.1, resultando:

$$\text{L.V.S.} = 18,30 \%$$

Que representa un aumento del 18,3% de la demanda de agua por el césped, por la presencia de sales en el agua de riego.

**D.-** Se ha determinado las necesidades totales de riego (NT) del cultivo del césped, según Pizarro (1990), empleando la siguiente relación:

$$\text{N.T.} = \frac{\text{Nn}}{(1 - \text{L.V.S.}) \text{Er}} \quad [6]$$

Donde:

N.T. = Necesidades totales de riego, en mm/d

Nn = Necesidades netas de riego, en mm/d

L.V.S. = Lámina por lavado de sales

Er = Eficiencia de riego

**E.-** La profundidad radicular efectiva del césped, para un estado vegetativo adulto se ha medido en campo, alcanzando una profundidad de 30 cm, en promedio (ver anexo "C").

**F.-** Se ha determinado la lámina de riego neta (LRN), para ello se ha procedido de la siguiente manera, primeramente se calcula el agua aprovechable o disponible por las plantas.

$$L = \frac{(CC - PMP)}{100} \cdot Da \cdot P \cdot 10 \quad [7]$$

Donde:

L = Agua aprovechable o disponible por las plantas expresado en lámina de agua, en mm

CC = Capacidad de campo, en %

PMP = Punto de marchites permanente, en %

Da = Densidad aparente, en gr/cm<sup>3</sup>

P = Profundidad de las raíces en cm, (dato de campo)

Entonces la lámina de riego neta se expresa mediante:

$$L.R.N. = L \cdot n \dots \dots \text{se evalúa al suelo} \quad [8]$$

Donde:

L.R.N. = Lámina de riego neta, en mm

L = Agua aprovechable o disponible por las

plantas, expresado en lámina de agua

n = Umbral de agotamiento = 0,40 (Fuentes 2003)

**G.-** Se ha calculado el ciclo de riego (C.R.C.), empleando la siguiente relación matemática:

$$\text{C.R.C.} = \frac{\text{L.R.N.}}{\text{ETc}} \quad [9]$$

Donde:

C.R.C. = Ciclo de riego calculado, en d

L.R.N. = Lámina de riego neta, en mm

ETc = Evapotranspiración del cultivo mensual, en mm/d

**H.-** Se ha calculado la lámina de riego bruta (L.R.B.), desde el punto de vista del consumo de agua por la planta, para ello se ha empleado la siguiente relación matemática:

L.R.B.=N.T. x C.R.R. ..Considerando la planta [10]

Donde:

L.R.B. = Lámina de riego bruta, en mm

N.T. = Necesidades totales de riego, en mm/d

C.R.R. = Ciclo de riego reajustado, en d

I.- Se ha calculado la demanda de agua mensual por área de riego (D.A.M.), empleado el siguiente algoritmo:

$$D.A.M. = \frac{N.T. \times N^{\circ} \text{ días del mes} \times \text{Área de riego}}{1000} \quad [11]$$

Donde:

D.A.M. = Demanda de agua mensual por área de riego, en m<sup>3</sup>/mes-área de riego

N.T. = Necesidades totales de riego, en mm/d

J.- Se ha calculado el requerimiento de agua por área de riego (R.A.R.), de la siguiente forma:

$$R.A.R. = NT \times AR \quad [12]$$

Donde:

R.A.R. = Requerimiento de agua por área de riego, en L/d

N.T. = Necesidades totales de riego, en mm/d

AR = Área de riego, en m<sup>2</sup>

Todas la informaciones requeridas y las diferentes relaciones matemáticas y algoritmos descritos fueron programados en el Microsoft Excel (ver tabla anexo “B”-1), conformando los procesos de cálculo para el cultivo del césped, que permite calcular rápidamente la demanda de agua mensualmente, por campaña anual y por área de riego (1 m<sup>2</sup>).

#### **3.6.2.4. Empleo del modelo del diseño estadístico**

Para determinar estadísticamente que combinación de factores son los más adecuados para optimizar la demanda de agua en el cultivo del césped, se ha utilizado el modelo del diseño central compuesto Box-Wilson, comúnmente llamado diseños centrales compuestos; según Canahua (2011), los diseños centrales compuestos son ventajosos por dos motivos. La ortogonalidad nos permite medir efectos deseados independientemente uno de otro, los diseños no ortogonales implican la dependencia entre efectos, lo que no es deseable en la experimentación. Y por la rotabilidad que implica que podemos estimar

la respuesta con igual varianza respecto a la dirección del centro de diseño. Este diseño central compuesto está constituido por tres partes:

- 1.- Un bloque factorial  $2^K$  a dos niveles.
- 2.- Un bloque estrella con  $2K$  puntos adicionales, donde cada factor toma los niveles codificados  $\pm 2^{K/4}$
- 3.- Tres puntos centrales de niveles codificados (0) que se repite en forma conveniente con el objeto de determinar el error experimental.

Considerando en total 2 factores de evaluación que son los siguientes:

- A.- El grado de consumo de agua para las especies de césped que consumen menos agua (Bermuda, Grama china, Hierba búfalo, Kikuyo), se considera el coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) promedio para los doce meses del año de 0,9, y para las especies

que consumen mayor cantidad de agua (Rye grass, Grama dulce, Festuca roja), se considera un  $K_c=1,00$ , según: Rodríguez *et. al* (2000).

**B.-** Los dos niveles de la eficiencia de riego por goteo: nivel bajo  $E_r=85\%$  y el nivel alto  $E_r=95\%$ .

Resultando en total 11 pruebas estadísticas por tipo de muestra, en la tabla 8, se presenta los resultados de estas pruebas estadísticas.

**Tabla 8**  
**Combinación de los dos factores de evaluación en las especies de césped**

Nº de prueba	Bloque	Coefficiente de Cultivo	Eficiencia de Riego %
1	1	0,95	90,00
2	1	0,90	85,00
3	1	1,00	85,00
4	1	0,90	95,00
5	1	1,00	95,00
6	1	0,95	90,00
7	1	0,87	90,00
8	1	1,02	90,00
9	1	0,95	82,93
10	1	0,95	97,07
11	1	0,95	90,00

Fuente: STATGRAPHICS Centurión XV.

Los valores de cada prueba estadística (coeficiente de cultivo-eficiencia de riego %) se emplean en los procesos de cálculo, que permite determinar la demanda anual de agua para césped por m<sup>2</sup>. (ver tabla anexo "B"-1), posteriormente los resultados obtenidos serán introducidos al diseño central compuesto Box-Wilson, en las celdas colindantes a la eficiencia de riego por goteo en % (tabla 8), para determinar los valores óptimos de la demanda de agua en el cultivo del césped.

### **3.6.3. Determinación de la densidad de plantación en flores con relación al uso eficiente del consumo de agua**

De acuerdo a las características climatológicas, edafológicas y características fisicoquímicas del agua de riego, se han determinado las especies de flores que pueden instalarse en los diferentes jardines de la ciudad universitaria, para ello se han considerando los siguientes aspectos:

**A.-** Especies oriundos de la zona.

- B.-** La introducción de especies de otros lugares, que se pueden adaptar a la zona.
  
- C.-** Que presenten resistencia a la salinidad del suelo y del agua de riego.
  
- D.-** Se ha escogido plantas que se pueden combinar entre perennes y anuales o de temporada, para contar en el jardín siempre con flores.
  
- E.-** Se ha escogido plantas de similares requerimientos hídricos.

#### **3.6.3.1. Determinación del primer factor de evaluación**

El primer factor de evaluación lo conforma la densidad de plantación por metro cuadrado, de las diferentes especies de flores que se cultivan en los jardines en el ámbito de estudio; para ello se ha medido a nivel de jardín las diferentes distancias entre plantas y filas de plantas, cuyos valores de la

densidad de plantación obtenidos se encuentran en la tabla 9.

**Tabla 9**  
**Densidad de plantación en las especies de flores**

<b>Especie</b>	<b>Distancia entre Plantas</b>	<b>Distancia entre filas de plantas</b>	<b>Periodo vegetativo</b>	<b>Tipo de planta</b>
Geranio ( <i>Pelargonium spp</i> )	0,50 m x 0,50 m	0,50 m x 0,50 m	12 meses	perenne
Margarita ( <i>Bellis perennis</i> )	0,40 m x 0,40 m	0,40 m x 0,40 m	12 meses	perenne
Pensamiento ( <i>Viola tricolor</i> )	0,20 m x 0,20 m	0,20 m x 0,20 m	6 meses	de temporada
Boca de sapo ( <i>Antirrhinum majus</i> )	0,30 m x 0,30 m	0,30 m x 0,30 m	6 meses	de temporada
Dalia ( <i>Dahlia spp.</i> )	0,40 m x 0,40 m	0,40 m x 0,40 m	6 meses	de temporada
Claveles ( <i>Dianthus caryophyllus</i> )	0,20 m x 0,20 m	0,20 m x 0,20 m	12 meses	perenne
Petunia ( <i>Petunia hybrida</i> )	0,25 m x 0,25 m	0,25 m x 0,25 m	6 meses	de temporada
Boca de dragón ( <i>Antirrhinum majus</i> )	0,25 m x 0,25 m	0,25 m x 0,25 m	6 meses	de temporada
Salvia Rosa ( <i>Salvia microphylla</i> )	0,35 m x 0,35 m	0,35 m x 0,35 m	12 meses	perenne
Rayito de Sol ( <i>Lampranthus blandus</i> )	0,30 m x 0,30 m	0,30 m x 0,30 m	3 meses	de temporada
Achira ( <i>Canna indica</i> )	0,50 m x 0,50 m	0,50 m x 0,50 m	12 meses	perenne

Fuente: Elaboración propia.

Las dos condiciones de plantación de las flores que se han considerado son los siguientes: 0,20 m x

0,20 m (baja) y de 0,50 m x 0,50 cm (alta), para constituir: setos, borduras, arrietes o macizos de flores.

### **3.6.3.2. Determinación del segundo factor de evaluación**

El segundo factor de evaluación lo conforma la eficiencia del sistema de riego por goteo ( $E_r$ ) a emplearse para regar las diferentes especies de flores, para dos condiciones, siendo estas las siguientes:  $E_r=85\%$  (baja) y  $E_r=95\%$ , (alta).

### **3.6.3.3. Conformación estructural de los procesos de cálculo para determinar la demanda de agua para las flores**

Las diferentes relaciones matemáticas que conforman los procesos de cálculo para determinar la demanda de agua para las flores son las siguientes:

**A.-** Se ha calculado la evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ), según FAO (2000), de la siguiente forma:

$$ET_c = K_c E_{To} \quad [13]$$

Donde:

ETc = Evapotranspiración del cultivo, en mm/d

Kc = Coeficiente del cultivo, indica el grado de consumo de agua por la planta

ETo = Evapotranspiración potencial, en mm/d,  
(CROPWAT)

**B.-** Se ha considerado los valores del Kc, según Rodríguez *et. al* (2000), para varios periodos vegetativos, para especies de cortos periodos (3 meses), de medianos periodos (6 meses) y largos periodos (9 meses) cuyos valores se dan en la tabla 10, para varios años de posibles combinaciones de cultivos de flores.

Los valores promedios de los Kc son utilizados en los procesos de cálculo desarrollados para calcular la demanda de agua para las flores (ver tabla anexo "B"-2).

**Tabla 10**  
**Valores del kc para el cultivo de las especies de flores**

Meses del año												
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
PRIMER AÑO												
0,70	1,00	0,80	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	0,80	0,70	1,00	0,80	
SEGUNDO AÑO												
0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	0,80	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	0,80	
TERCER AÑO												
0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	0,80	0,70	1,00	0,80	0,70	1,00	0,80	
CUARTO AÑO												
0,70	1,00	0,80	0,70	1,00	0,80	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	0,80	
QUINTO AÑO												
0,50	0,60	0,70	0,75	0,80	0,90	1,00	0,80	0,70	0,70	1,00	0,80	
SEXTO AÑO												
0,70	1,00	0,80	0,50	0,60	0,70	0,75	0,80	0,90	1,00	0,80	0,70	
SETIMO AÑO												
0,70	1,00	0,80	0,70	1,00	0,80	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	0,80	
PROMEDIOS												
0,64	0,86	0,79	0,72	0,87	0,80	0,74	0,81	0,80	0,83	0,97	0,79	

Fuente. Rodríguez *et. al* (2000)

**C.-** Se ha calculado las necesidades netas de riego

(Nn), según Pizarro (1990):

$$Nn = ETc \times C \quad [14]$$

Donde:

Nn = Necesidades netas de riego, en mm/d

ETc = Evapotranspiración del cultivo, en mm/d

C = Coeficiente de variación climatológica = 1,20  
para zonas áridas

**D.-** Se ha determinado la lámina por lavado de sales

en el punto B del numeral 3.6.1, resultando:

$$L.V.S. = 18,30 \%$$

Que representa un aumento del 18,30% de la demanda de agua por las flores, por la presencia de sales en el agua de riego.

**E.-** Se ha determinado las necesidades totales de riego (NT) del cultivo, según Pizarro (1990), se emplea la siguiente relación:

$$N.T. = \frac{N_n}{(1 - L.V.S.) E_r} \quad [15]$$

Donde:

N.T. = Necesidades totales de riego, en mm/d

N<sub>n</sub> = Necesidades netas de riego, en mm/d

L.V.S. = Lámina por lavado de sales

E<sub>r</sub> = Eficiencia de riego

**F.-** La profundidad radicular efectiva de las flores, para un estado vegetativo adulto se ha medido en campo, alcanzando una profundidad de 20 cm, en promedio (ver anexo "C").

**G.-** Se ha determinado la lámina de riego neta (LRN), para ello se ha procedido de la siguiente manera:

Primeramente se calcula el agua aprovechable o disponible por las plantas mediante:

$$L = \frac{(CC - PMP)}{100} Da \times P \times 10 \quad [16]$$

Donde:

L = Agua aprovechable o disponible por las plantas, expresado en lámina de agua, en mm

CC = Capacidad de campo, en %

PMP = Punto de marchites permanente, en %

Da = Densidad aparente, en  $\text{gr/cm}^3$

P = Profundidad de las raíces, en cm, (dato de campo)

Entonces la lámina de riego neta se expresa mediante:

$$\text{L.R.N.} = L \times n \dots \dots \text{se evalúa al suelo} \quad [17]$$

Donde:

L.R.N. = Lámina de riego neta, en mm

L = Agua aprovechable o disponible por las plantas  
expresado en lámina de agua

n = Umbral de agotamiento = 0,20 (Fuentes 2003)

**H.-** Se ha calculado el ciclo de riego (C.R.C.),  
empleando la siguiente relación matemática:

$$\text{C.R.C.} = \frac{\text{L.R.N.}}{\text{ETc}} \quad [18]$$

Donde:

C.R.C. = Ciclo de riego calculado, en d

L.R.N. = Lámina de riego neta, en mm

ETc = Evapotranspiración del cultivo mensual, en  
mm/d

**I.-** Se ha calculado la lámina de riego bruta (L.R.B.),  
desde el punto de vista del consumo de agua por  
planta, para ello se ha empleado la siguiente  
relación matemática:

$$\text{L.R.B.} = \text{N.T.} \times \text{C.R.R.} \dots \text{Considerando la planta} \quad [19]$$

Donde:

L.R.B. = Lámina de riego bruta, en mm

N.T. = Necesidades totales de riego, en mm/d

C.R.R. = Ciclo de riego reajustado, en d

**J.-** Se ha calculado la demanda de agua mensual por área de riego (D.A.M.), empleado los siguientes algoritmos:

$$N.P. = N.P.F. \times N.F.P. \quad [20]$$

Donde:

N.P. = Número de plantas por m<sup>2</sup>

N.P.F. = Número de plantas por fila = 1 dividido por el distanciamiento entre plantas, en m

N.F.P. = Número de filas de plantas = 1 dividido por el distanciamiento entre filas de plantas, en m

$$MP = D.E.P. \times D.F.P. \quad [21]$$

Donde:

MP = Marco de plantación, en m<sup>2</sup>

D.E.P = Distanciamiento entre plantas, en m

D.F.P. = Distanciamiento entre filas de plantas, en m

$$D.A.M. = \frac{N.T. \times N^{\circ} \text{ días del mes} \times N.P. \times MP}{1000} \quad [22]$$

Donde:

D.A.M. = Demanda de agua mensual por área de riego, en m<sup>3</sup>/mes-área de riego

N.T. = Necesidades totales de riego, en mm/d

N.P. = Número de plantas por m<sup>2</sup>

MP = Marco de plantación, en m<sup>2</sup>

**K.-** Se ha calculado el requerimiento de agua por área de riego (R.A.R.), de la siguiente manera:

$$R.A.R. = NT \times MP \quad [23]$$

Donde:

R.A.R. = Requerimiento de agua por planta, en L/d-planta.

N.T. = Necesidades totales de riego, en mm/d

MP = Marco de plantación, en m<sup>2</sup>

Todas la información requerida y las diferentes relaciones matemáticas y algoritmos descritos fueron programados en el Microsoft Excel (ver tabla anexo

“B”-2), conformando los procesos de cálculo para el cultivo de las flores; que permite calcular rápidamente la demanda de agua mensualmente, por campaña anual y por área de riego (1 m<sup>2</sup>).

#### **3.6.3.4. Empleo del modelo del diseño estadístico**

Para determinar estadísticamente que combinación de factores son los más adecuados para optimizar la demanda de agua en el cultivo de las flores, se ha utilizado el mismo modelo del diseño central compuesto Box-Wilson que se empleó para el césped; siendo los dos factores de evaluación los siguientes:

**A.-** La densidad de plantación por metro cuadrado, para dos condiciones de plantación de las flores: 20 cm x 20 cm (baja) y de 50 cm x 50 cm (alta).

**B.-** Los dos niveles de la eficiencia de riego por goteo: nivel bajo  $E_r=85\%$  y el nivel alto  $E_r=95\%$ .

Resultando 11 combinaciones, ver la tabla 11.

**Tabla 11**  
**Combinación de los dos factores de evaluación en el cultivo de las especies de flores**

<b>Nº de Prueba</b>	<b>Bloque</b>	<b>Densidad de Plantación cm *</b>	<b>Eficiencia de Riego %</b>
1	1	35,00	90,00
2	1	20,00	85,00
3	1	50,00	85,00
4	1	20,00	95,00
5	1	50,00	95,00
6	1	35,00	90,00
7	1	17,79	90,00
8	1	52,21	90,00
9	1	35,00	84,26
10	1	35,00	95,74
11	1	35,00	90,00

Fuente: STATGRAPHICS Centurión XV.

\* = Indica que la distancia entre plantas es la misma que la distancia entre filas de plantas.

Los valores de cada prueba estadística (densidad de plantación-eficiencia de riego %) se emplean en los procesos de cálculo, que permite determinar la demanda anual de agua para las flores (ver tabla anexo "B"-2), posteriormente los resultados obtenidos serán introducidos al diseño central compuesto Box-Wilson, en las celdas colindantes a la eficiencia de riego por goteo en % (tabla 11), para determinar los valores óptimos de la demanda de agua en el cultivo de las flores.

#### **3.6.4. Determinación de la relación entre la cobertura vegetal con el uso eficiente del consumo de agua en arbustos y árboles**

Entre los arbustos y árboles se diferencian por su tamaño que alcanzan, el espacio que cubre con su parte área vegetal, la forma de las ramificaciones de las ramas y el desarrollo de las raíces.

De acuerdo a las características climatológicas, edafológicas y fisicoquímicas del agua de riego, se han determinado las especies de arbusto y árboles que puede instalarse en los diferentes jardines de la ciudad universitaria, considerando los siguientes aspectos:

- A.-** Especies que se han adaptado a la región de Tacna.
  
- B.-** La introducción de especies de otros lugares, que se pueden adaptar a la zona.
  
- C.-** Que proporcionen sombra o semisombra.

**D.-** Que pueden constituir macizos (arboretum) o en forma individual en jardineras altas o bajas.

**E.-** Que proporcionen oxígeno al medio ambiente para disminuir la contaminación urbana.

#### **3.6.4.1. Determinación del primer factor de evaluación**

El primer factor de evaluación lo conforma la cobertura vegetal que alcanzan el desarrollo de las diferentes especies de arbustos y árboles que se encuentran ubicados en los jardines de la ciudad universitaria y también se han considerado otras especies que se pueden desarrollar en los jardines, cuyas coberturas vegetal por planta dependen de la edad de la plantación y del tipo de especie.

Se ha procedido a medir la cobertura vegetal de las diferentes especies de arbustos y árboles que se ubican en los diferentes jardines y que han sido plantados a lo largo de los años; para lo cual se ha utilizado una wincha procediendo a medir el radio

de la cobertura vegetal desde el tronco principal hacia los extremos de la vegetación en forma horizontal (ver anexo "C"); y para las especies nuevas de arbustos y árboles a ser introducidas se ha considerado la cobertura vegetal según su desarrollo que presentan cada especie, considerando la frondosidad que ha de alcanzar el desarrollo de las copas a través de los años, en las tablas 12 y 13 se presentan las mediciones de las coberturas vegetales realizadas a nivel campo.

De estas mediciones efectuadas para arbustos y árboles, se ha escogido para dos condiciones de desarrollo de cobertura vegetal, de acuerdo como llegan a desarrollar sus coberturas vegetales a través de los años de plantación, considerando para una copa pequeña y para una copa grande, dichas condiciones, radios y áreas de coberturas vegetales se dan en la tabla 14.

**Tabla 12**  
**Cobertura vegetal para arbustos**

<b>Especie</b>	<b>Radio de Cobertura Vegetal m.</b>	<b>Área de Cobertura Vegetal m<sup>2</sup></b>	<b>Edad de Plantación Años</b>	<b>Origen</b>
Mioporo* ( <i>Myoporum acuminatum</i> )	1,50	7,07	3	de otro lugar
Cerezo de navidad ( <i>Schinus terebinthifolius raddi</i> )	1,30	5,31	3	de otro lugar
Mimosa* ( <i>Baileyana</i> F. von muell)	2,00	12,57	2	de otro lugar
Rosa* ( <i>Rosa sp.</i> )	1,00	3,14	2	de otro lugar
Floripondio ( <i>Brugmansia arbórea</i> )	1,80	10,18	4	de otro lugar
Cucarda* ( <i>Hibiscus rosa-sinensis</i> )	1,30	5,31	4	Autóctono
Chañar ( <i>Geoffroea decorticans</i> )	2,30	16,62	6	Autóctono
Esobillon rojo ( <i>Callistemon citrinus</i> )	2,00	12,57	7	Autóctono
Retama * ( <i>Retama sphaerocarpa</i> )	1,00	3,14	3	de otro lugar
Rosa laurel* ( <i>Nerium oleander</i> )	1,50	7,07	10	Autóctono
Fucsia ( <i>Fuchsia</i> )	1,90	11,34	3	de otro lugar
Árbol del coral ( <i>Erythrina crista-galli</i> L.)	2,20	15,21	4	de otro lugar

Fuente: Elaboración propia,

\*= Arbustos existentes en los jardines de la ciudad universitaria.

**Tabla 13**  
**Cobertura vegetal para árboles**

Especie	Radio de Cobertura Vegetal m	Área de Cobertura Vegetal m <sup>2</sup>	Edad de Plantación Años	Origen	Hoja
Molle* ( <i>Schinus molle</i> )	3,00	28,27	20	autóctono	perenne
Tipa* ( <i>Tipuana tipu benth. kuntze</i> )	2,20	12,21	25	autóctono	caduca
Vilca* ( <i>Acacia visco</i> )	2,50	63,62	12	autóctono	caduca
Jacaranda* ( <i>Jacaranda mimosifolia</i> )	2,50	19,64	7	autóctono	caduca
Fresno relleno* ( <i>Fraxinus excelsior</i> )	2,80	24,63	20	de otro lugar	caduca
Carzo ( <i>Haplorhus peruviana</i> )	3,00	28,27	6	de otro lugar	caduca
Cipres* ( <i>Cupressus sempervirens</i> )	2,60	21,24	15	de otro lugar	perenne
Casuarina* ( <i>Casuarina equisetifolia</i> )	2,00	12,57	7	autóctono	perenne
Tuya oriental* ( <i>Thuja orientalis</i> )	2,00	12,57	5	de otro lugar	caduca
Árbol caucho* ( <i>Ficus elástica roxb.</i> )	2,00	12,57	10	de otro lugar	caduca
Ficus ( <i>Ficus macrophylla</i> desf. ex pers.)	2,00	12,57	10	de otro lugar	perenne
Tulipan africano* ( <i>Spathodea campanulata deauv</i> )	2,00	12,57	15	de otro lugar	Caduca
Mora* ( <i>Rubus glaucus</i> )	2,20	15,21	10	de otro lugar	Caduca

Fuente: Elaboración propia.

\*= Árboles existentes en los jardines de la ciudad universitaria.

**Tabla 14**  
**Desarrollo de la cobertura vegetal en arbustos y árboles**

Plantación	Condiciones de Copa	Radio de Cobertura Vegetal m	Área de Cobertura Vegetal por Planta m <sup>2</sup>
Arbustos	Pequeña	1,00	3,14
	Grande	2,30	16,62
Árboles	Pequeña	2,00	12,57
	Grande	3,00	28,27

Fuente: Elaboración propia.

#### **3.6.4.2. Determinación del segundo factor de evaluación**

El segundo factor de evaluación lo conforma la eficiencia del sistema de riego por goteo ( $E_r$ ) a emplearse para regar tanto los arbustos como para los árboles, para dos condiciones, siendo estas las siguientes:  $E_r=85\%$  (baja) y  $E_r=95\%$ , (alta).

#### **3.6.4.3. Conformación estructural de los procesos de cálculo para determinar la demanda de agua para arbustos y árboles**

Las diferentes relaciones matemáticas que conforman los procesos de cálculo para determinar la demanda de agua para arbustos y árboles, son las siguientes:

**A.-** Se ha calculado la evapotranspiración del cultivo (ETc), según FAO (2000), de la siguiente forma:

$$ETc = Kc ETo \quad [24]$$

Donde:

ETc = Evapotranspiración del cultivo, en mm/d

Kc = Coeficiente del cultivo, indica el grado de consumo de agua por la planta

ETo = Evapotranspiración potencial, en mm/d  
(CROPWAT)

**B.-** Se ha considerado los valores del  $Kc = 0,50$ , considerando crecimiento activo para arbustos y árboles para todo el periodo vegetativo anual, Rodríguez *et. al* (2000).

**C.-** Se ha calculado las necesidades netas de riego (Nn), según Pizarro (1990):

$$MP = D.E.P. \times D.F.P. \quad [25]$$

Donde:

MP = Marco de plantación, en  $m^2$

D.E.P = Distanciamiento entre plantas, en m

D.F.P. = Distanciamiento entre filas de plantas, en  
m

$$A.C.V. = 3,1416 \times RCV^2 \quad [26]$$

Donde:

A.C.V.= Área medida de cobertura vegetal por  
planta, en m<sup>2</sup>

RCV= Radio de cobertura vegetal de la planta, en  
m

$$A = \frac{A.C.V.}{MP} \quad [27]$$

Donde:

A = Fracción del área sombreada por cultivo

A.C.V. = Área de cobertura vegetal por planta, en  
m<sup>2</sup>

MP = Marco de plantación, en m<sup>2</sup>

Los factores de corrección de la fracción del  
área sombreada por cultivo (A), son los siguientes  
según:

$$ALJIBURY = 1,34 \times A \quad [28]$$

$$\text{DECROX} = 0,1 + A \quad [29]$$

$$\text{HOARE} = A + 0,5 (1 - A) \quad [30]$$

$$\text{KELLER} = A + 1,5 (1 - A) \quad [31]$$

El factor de corrección F se obtiene del promedio de los valores medios que resulten de los 4 factores de corrección indicados. Finalmente para calcular las necesidades totales de riego se emplea:

$$N_n = E_{Tc} \times F \times C \times AD \quad [32]$$

Donde:

$N_n$  = Necesidades netas de riego, en mm/d

$E_{Tc}$  = Evapotranspiración del cultivo, en mm/d

F = Factor de corrección de A

C = Coeficiente de variación climatológica = 1,20  
para zonas áridas

AD = Coeficiente de advección = 0,90

**D.-** Se ha determinado la lámina por lavado de sales, en el punto B del numeral 3.6.1, resultando:

$$\text{L.V.S.} = 18,30 \%$$

Que representa un aumento del 18,30% de la demanda de agua por los arbustos y árboles, por la presencia de sales en el agua de riego.

**E.-** Se ha determinado las necesidades totales de riego (NT) del cultivo, según Pizarro (1990), se emplea la siguiente relación matemática:

$$N.T. = \frac{Nn}{(1 - L.V.S.) Er} \quad [33]$$

Donde:

N.T. = Necesidades totales de riego, en mm/d

Nn = Necesidades netas de riego, en mm/d

L.V.S. = Lámina por lavado de sales

Er = Eficiencia de riego

**F.-** La profundidad radicular efectiva de los arbustos, se ha medido en campo llegando a una profundidad de 70 cm (ver anexo "C"). Y para los árboles de 100 cm, para estado vegetativo adulto.

**G.-** Se ha determinado la lámina de riego neta (LRN),

para ello se ha procedido de la siguiente manera, primeramente se calcula el agua aprovechable o disponible por las plantas.

$$L = \frac{(CC - PMP)}{100} \cdot Da \cdot P \cdot 10 \quad [34]$$

Donde:

L = Agua aprovechable o disponible por las plantas, expresado en lámina de agua, en mm

CC = Capacidad de campo, en %

PMP = Punto de marchites permanente, en %

Da = Densidad aparente, en gr/cm<sup>3</sup>

P = Profundidad de las raíces, en cm, (dato de campo)

Entonces la lámina de riego neta se expresa mediante:

$$L.R.N. = L \cdot n \dots \dots \dots \text{se evalúa al suelo} \quad [35]$$

Donde:

L.R.N. = Lámina de riego neta, en mm

L = Agua aprovechable o disponible por las plantas, expresado en lámina de agua

n = Umbral de agotamiento = 0,40 (Fuentes 2003)

**H.-** Se ha calculado el ciclo de riego calculado (C.R.C.), empleando la siguiente relación matemática:

$$\text{C.R.C.} = \frac{\text{L.R.N.}}{\text{ETc}} \quad [36]$$

Donde:

C.R.C. = Ciclo de riego calculado, en d

L.R.N. = Lámina de riego neta, en mm

ETc = Evapotranspiración del cultivo mensual, en mm/d

**I.-** Se ha calculado la lámina de riego bruta (L.R.B.), desde el punto de vista del consumo de agua por la planta, para ello se ha empleado la siguiente relación matemática:

$$\text{L.R.B.} = \text{N.T.} \times \text{C.R.R.} \dots \text{Considerando la planta} \quad [37]$$

Donde:

L.R.B. = Lámina de riego bruta, en mm

N.T. = Necesidades totales de riego, en mm/d

C.R.R. = Ciclo de riego reajustado, en d

**J.-** Se ha calculado la demanda de agua mensual por planta (D.A.M.), empleado el siguiente algoritmo:

$$D.A.M.=\frac{N.T. \times N^{\circ} \text{ días del mes} \times M.P. \times N.P.A.}{1000} \quad [38]$$

Donde:

D.A.M. = Demanda de agua mensual, en m<sup>3</sup>/mes-planta

N.T. = Necesidades totales de riego, en mm/d

M.P. = Marco de Plantación, m<sup>2</sup>

N.P.A. = Número de plantas por área de riego

**K.-** Número de Riegos por mes se calcula mediante:

$$N. R. M. = N^{\circ} \text{ de días mensual} / C.R.R. \quad [39]$$

Donde:

N.R.M. = Número de Riegos por mes

C.R.R. = Ciclo de riego reajustado, en d

**L.-** El volumen de agua a aplicar por cada ciclo de riego se ha calculado de la siguiente manera:

$$V.A.C. = \frac{D.A.M.}{N.R.A.} \times 1000 \quad [40]$$

Donde:

V.A.C. = Volumen de agua a aplicar por cada ciclo de riego, en L

D.A.M. = Demanda de agua mensual, en m<sup>3</sup>/mes-planta

N.R.A. = Número de riegos al mes ajustado

**M.-** Se ha calculado el requerimiento de agua de riego por planta (R.A.P.), de la siguiente manera:

$$R.A.P. = N.T. \times M.P. \quad [41]$$

Donde:

R.A.R. = Requerimiento de agua de riego por planta, en L/d

N.T. = Necesidades totales de riego, en mm/d

M.P. = Marco de Plantación, m<sup>2</sup>

Toda la información requerida y las diferentes relaciones matemáticas y algoritmos descritos fueron programados en el Microsoft Excel (ver tabla anexo

“B”-3 y tabla anexo “B”-4), conformando los procesos de cálculo para los arbustos y árboles, que permite calcular rápidamente la demanda de agua mensualmente, por campaña anual y por planta.

#### **3.6.4.4. Empleo del modelo del diseño estadístico**

Para determinar estadísticamente que combinación de factores son los más adecuados para optimizar la demanda de agua para los arbustos y árboles, se ha utilizado el mismo diseño central compuesto Box-Wilson que se ha empleado tanto para el césped y como para las flores, siendo los factores de evaluación los siguientes:

**A.-** El área de cobertura vegetal por arbusto y/o árbol, para dos condiciones de plantación, para los arbustos es de: 3,14 m<sup>2</sup> (baja) y de 16,12 m<sup>2</sup> (alta); y para los árboles: 12,57 m<sup>2</sup> (baja) y de 28,27 m<sup>2</sup> (alta).

**B.-** Los dos niveles de la eficiencia de riego por goteo:

nivel bajo  $E_r=85\%$  y el nivel alto  $E_r=95\%$ .

Resultando 11 combinaciones que se dan en la tabla 15 para los arbustos y en la tabla 16 para árboles.

Los valores de cada prueba estadística (cobertura vegetal - eficiencia de riego %) tanto de arbustos y árboles, se emplean en sus respectivos procesos de cálculo, que permiten determinar la demanda anual de agua (ver tabla anexo "B"-3 y tabla anexo "B"-4), posteriormente los resultados obtenidos serán introducidos al diseño central compuesto Box-Wilson, en las celdas colindantes a la eficiencia de riego por goteo en % (tablas 15 y 16), para determinar los valores óptimos de la demanda de agua tanto para arbustos y árboles.

**Tabla 15**  
**Combinación de los dos factores de evaluación para arbustos**

<b>Nº de prueba</b>	<b>Bloque</b>	<b>Cobertura Vegetal m<sup>2</sup></b>	<b>Eficiencia del Riego %</b>
1	1	9,8805	90,00
2	1	3,1420	85,00
3	1	16,6190	85,00
4	1	3,1420	95,00
5	1	16,6190	95,00
6	1	9,8805	90,00
7	1	2,1484	90,00
8	1	17,6125	90,00
9	1	9,8805	84,26
10	1	9,8805	95,74
11	1	9,8805	90,00

Fuente: STATGRAPHICS Centurión XV.

**Tabla 16**  
**Combinación de los dos factores de evaluación para árboles**

<b>Nº de prueba</b>	<b>Bloque</b>	<b>Cobertura Vegetal m<sup>2</sup></b>	<b>Eficiencia de Riego %</b>
1	1	20,42	90,00
2	1	12,57	85,00
3	1	28,27	85,00
4	1	12,57	95,00
5	1	28,27	95,00
6	1	20,42	90,00
7	1	11,41	90,00
8	1	29,43	90,00
9	1	20,42	84,26
10	1	20,42	95,74
11	1	20,42	90,00

Fuente: STATGRAPHICS Centurión XV.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1. Evapotranspiración potencial (ET<sub>o</sub>).

Los resultados del cálculo de la evapotranspiración potencial (ET<sub>o</sub>), empleando el software CROPWAT V-8, se dan en la tabla 17.

**Tabla 17**  
**Cálculo de la evapotranspiración potencial empleando el software CROPWAT V-8 (ET<sub>o</sub>)**

<b>Mes</b>	<b>Radiación Neta MJ/M<sup>2</sup>/d</b>	<b>ET<sub>o</sub> mm/d</b>
Enero	23,00	5,09
Febrero	22,80	5,64
Marzo	21,60	4,74
Abril	18,80	3,80
Mayo	15,40	2,90
Junio	13,50	2,63
Julio	13,70	2,26
Agosto	15,50	2,57
Setiembre	18,50	3,13
Octubre	21,50	3,87
Noviembre	23,40	4,48
Diciembre	23,20	4,79
PROMEDIO	19,20	3,80

Fuente: CROPWAT V-8.

La evapotranspiración potencial representa la evapotranspiración realizada por el cultivo patrón en la zona de estudio, considerando las

influencias de las variables climatológicas; estos valores se emplean para calcular la evapotranspiración de los cultivos que representa la demanda de agua de estos, resultando mayores valores en los meses del verano, y menores valores en los meses de invierno.

#### 4.2. Cálculo de la demanda de agua para césped

Tomando los resultados del ETo (tabla 17), y la combinación de los dos factores de evaluación en las especies de césped (tabla 8), se han empleado en los procesos de cálculo que determinar la demanda anual de agua para el césped en  $m^3/m^2$ , dichos resultados se presentan en el cuadro 18, para cada prueba estadística.

**Tabla 18**  
**Resultado de la demanda de agua de las especies de césped**

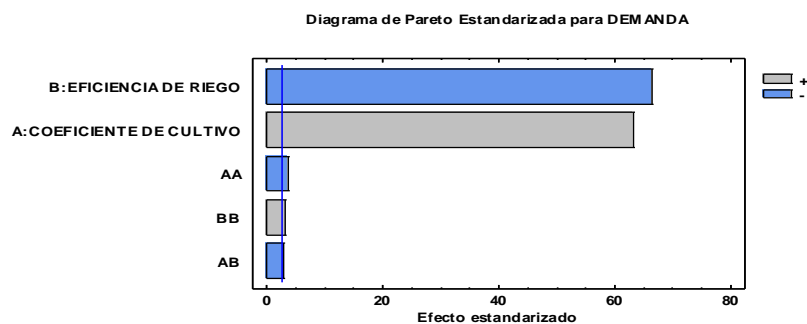
Nº de Prueba	Demanda de Agua Anual $m^3/m^2$
1	2,15
2	2,15
3	2,39
4	1,93
5	2,14
6	2,15
7	1,97
8	2,29
9	2,33
10	1,99
11	2,15

Fuente: Cuadro anexo "B"-01.

#### 4.2.1. Análisis estadístico para optimizar la demanda de agua en el césped

Con los valores de la demanda de agua anual (tabla 18) junto con los valores de los coeficientes de cultivo y la eficiencia de riego por goteo (tabla 08), fueron corridos en el modelo del diseño central compuesto Box-Wilson, que permite determinar estadísticamente qué combinaciones de factores es la más adecuada para optimizar la demanda de agua en el césped, los resultados son:

A.- El diagrama de Pareto con un nivel de confianza al 95% indica que los coeficientes de cultivo influyen positivamente en la demanda de agua, en cambio la eficiencia del sistema de riego influye negativamente.



**Figura 1**  
**Diagrama de Pareto estandarizada para demanda de agua en césped**  
Fuente: Estatgraphics.

**B.-** Los resultados del análisis de varianza para la demanda de Agua en céspedes, se da en la siguiente tabla.

**Tabla 19**  
**Análisis de la varianza para la demanda de agua en césped**

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
A:COEFICIENTE DE CULTIVO	0,10182	1	0,10182	3978,73	0,0000
B:EFICIENCIA DE RIEGO	0,11301	1	0,11301	4415,83	0,0000
AA	0,00037	1	0,00037	14,57	0,0124
AB	0,00022	1	0,00023	8,79	0,0313
BB	0,00026	1	0,00027	10,43	0,0232
Error total	0,00013	5	0,00003		
Total (corr.)	0,21609	10			

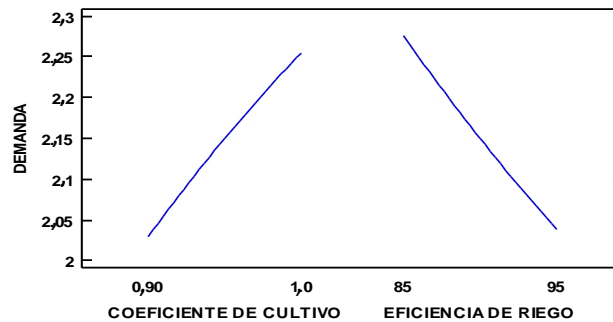
Fuente: Estatgraphics.

Resulta que los coeficientes de cultivo son altamente significativos y diferentes que influyen en la demanda de agua, debido a las diferentes especies de césped que consume diferentes niveles de agua, con una probabilidad  $P > 99\%$ , y con  $GL=1$ ; para el caso de las eficiencias de riego por goteo, resulta también altamente significativo y diferentes, que influyen en la demanda de agua, debido a varios factores como son los constructivos, de operación y de distribución a

nivel de campo, con una probabilidad  $P > 99\%$ , y con  $GL=1$ .

Para los factores AA, AB y BB son significativos, hay interacciones entre ellos, la presencia de los factores origina un efecto adicional, existe respuesta o efecto cuadrático (curva ligera).

C.- Los efectos principales de la demanda de agua del césped, se muestra en la figura 2.

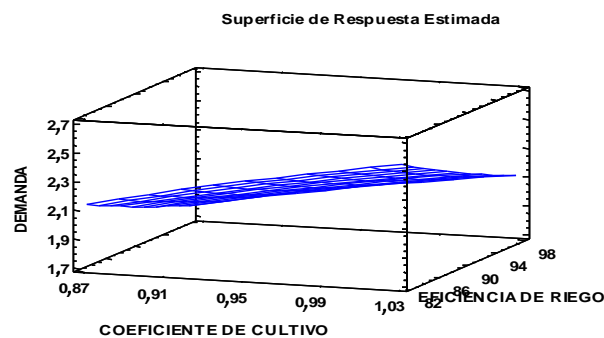


**Figura 2**  
**Efectos principales de la demanda de agua del césped**  
Fuente: Estatgraphics.

Como se puede observar la demanda de agua es directamente proporcional a los valores de los

coeficientes del cultivo, al aumentar dichos valores aumentara la demanda, en cambio al aumentar los valores de la eficiencia de riego disminuye la demanda.

D.- La superficie de respuesta estimada para el césped se muestra en la figura 3.

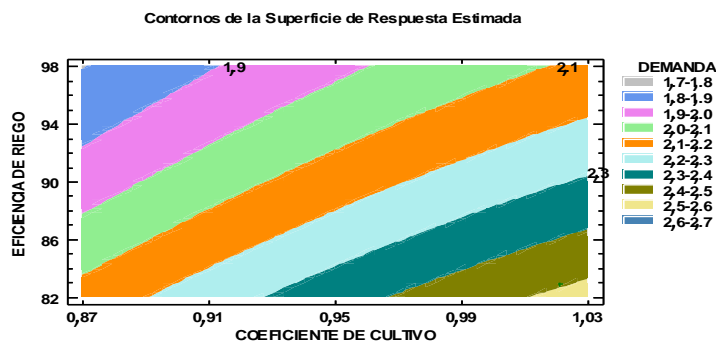


**Figura 3**  
**Superficie de respuesta estimada para el césped**

Fuente: Estatgraphics.

Se observa que no hay una respuesta cuadrática, resulta una figura hiperplano con 3 dimensiones, evidenciando también que el coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) influye directamente en la demanda de agua y la eficiencia de riego lo hace en forma inversa.

E.- En el contorno de la superficie respuesta estimada para el césped (figura 4), señala, que para una menor demanda anual de agua los valores de los coeficientes de cultivo ( $K_c$ ) deben estar entre 0,87 y 0,91 llegando a una eficiencia de riego al 98%; en cambio para conseguir una mayor demanda de agua los valores de los coeficientes de cultivo deben ser  $K_c > 1,00$ , llegando a una eficiencia de riego al 82%.



**Figura 4**  
**Contornos de la superficie de respuesta estimada para el césped**  
Fuente: Estatgraphics.

F.- La optimización de los factores en césped, (tabla 20), señala que para maximizar la demanda de agua para el césped, resulta un valor de  $K_c=1,02$  y una eficiencia de riego en el orden del  $Er=84,93\%$ . Resultando un

valor=2,49 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>-anual; con dichos valores se han corrido en los procesos de cálculo que determina la demanda de agua del césped, resultando una demanda anual de 2,44 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>, que al ser comparado con el valor estadístico=2,49 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>-anual, valor proporcionado del Estatgraphics, resultando muy similar, de esta manera se comprueba la veracidad de los procesos de cálculo empleados.

Para optimizar la demanda de agua de riego en el césped se debe considerar un coeficiente de cultivo de Kc=0,88 y una eficiencia de riego por goteo de r=97,07%; estos valores al ser corridos en los procesos de cálculo que determina la demanda de agua del césped, resulta una demanda anual de 1,84 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.

**Tabla 20**  
**Optimización de los factores en césped**

<b>Factor</b>	<b>Bajo</b>	<b>Alto</b>	<b>Óptimo</b>
COEFICIENTES DE CULTIVO	0,8793	1,0207	1,0207
EFICIENCIA DE RIEGO	84,9289	97,0711	84,9289

Fuente: Estatgraphics.

#### **4.2.2. Programación del riego para el césped**

Considerando los coeficientes hídricos del suelo, la densidad aparente del suelo y la profundidad de raíces de  $P=30$  cm, para el cultivo del césped, se ha calculado el agua aprovechable o disponible por las plantas (L), que representa la capacidad de almacenamiento del agua en el suelo a la profundidad de raíces (P), resultando una lámina de agua que almacena el suelo de 32,59 mm.

Con un umbral de agotamiento de 0,40 para el césped, se ha calculado la lámina de riego neta (LRN) que representa la lámina de agua que es consumida del suelo por evapotranspiración del cultivo (ETc), que será restituida por el riego; resultando una lámina de agua = 13,03 mm; con estos resultados se ha calculado el ciclo de riego (CRC) mensual considerando la evapotranspiración del cultivo (ETc), de tal manera que los valores del ciclo de riego se han reajustado (CRR) para que la lámina de riego bruta (LRB) que no exceda a la lámina de riego neta (LRN); de esta manera se evitara que no ocurra percolación profunda, por

aplicar exceso de agua de riego al suelo, que originaría deterioro ambiental a sus alrededores.

En la tabla 21, se presentan los resultados que son proporcionados por los procesos de cálculo que determina la demanda de agua del césped, en donde se indican los ciclos de riego mensuales que se debe aplicar en el riego del césped.

**Tabla 21**  
**Ciclos de riego para el césped**

<b>Meses</b>	<b>L mm</b>	<b>LRN mm</b>	<b>CRC d</b>	<b>CRR d</b>	<b>LRB mm</b>
Enero	32,59	13,03	7,28	1,00	6,78
Febrero	32,59	13,03	6,57	1,00	7,52
Marzo	32,59	13,03	7,81	1,00	6,32
Abril	32,59	13,03	9,74	1,00	5,06
Mayo	32,59	13,03	12,77	2,00	7,73
Junio	32,59	13,03	15,69	3,00	9,43
Julio	32,59	13,03	16,39	3,00	9,03
Agosto	32,59	13,03	14,41	2,00	6,85
Setiembre	32,59	13,03	11,83	2,00	8,34
Octubre	32,59	13,03	9,57	1,00	5,16
Noviembre	32,59	13,03	8,27	1,00	5,97
Diciembre	32,59	13,03	7,73	1,00	6,38

Fuente: Tabla anexo "B"-1.

Se observa que en verano se debe regar diariamente, en otoño de 1 a 2 días, en invierno de 2 a 3 días y en primavera

diariamente, de esta manera se evitará que se desperdicie el agua de riego.

### 4.3. Cálculo de la demanda de agua de las flores

Tomando los resultados del ETo (tabla 17), la combinación de los dos factores de evaluación en el cultivo de las especies de flores (tabla 11), se han empleado en los procesos de cálculo que determinar la demanda anual de agua para flores, por densidad de plantación en  $m^3/m^2$ , dichos resultados se presentan en la tabla 22, para cada prueba estadística.

**Tabla 22**  
**Resultado de la demanda de agua del cultivo de las especies de flores según la densidad de plantación**

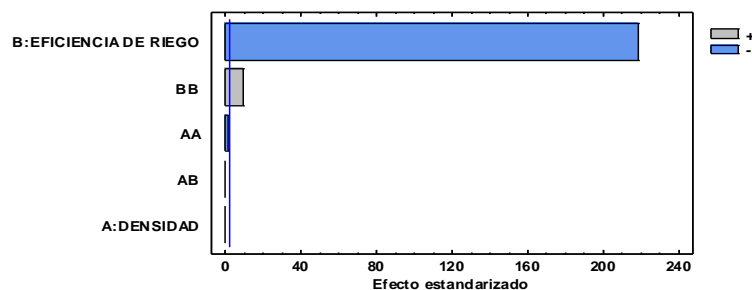
Nº de Prueba	Densidad de Plantación o Número de Plantas por $m^2$	Marco de Plantación en $m^2$	Demanda de Agua Anual $m^3/m^2$
1	8	$0,35 \times 0,35 = 0,123$	1,81
2	25	$0,20 \times 0,20 = 0,040$	1,92
3	4	$0,50 \times 0,50 = 0,250$	1,92
4	25	$0,20 \times 0,20 = 0,040$	1,71
5	4	$0,50 \times 0,50 = 0,250$	1,71
6	8	$0,35 \times 0,35 = 0,123$	1,81
7	32	$0,17 \times 0,17 = 0,019$	1,81
8	4	$0,52 \times 0,52 = 0,316$	1,81
9	8	$0,35 \times 0,35 = 0,123$	1,94
10	8	$0,35 \times 0,35 = 0,123$	1,70
11	8	$0,35 \times 0,35 = 0,123$	1,81

Fuente: Tabla anexo "B"-2.

### 4.3.1. Análisis estadístico para optimizar la demanda para las flores

Con los valores de la demanda anual (tabla 22), junto con la densidad de plantación y la eficiencia de riego (tabla 11), fueron corridos en el modelo del diseño central compuesto Box-Wilson, que permite determinar estadísticamente qué combinaciones de factores son las más adecuada para optimizar la demanda de agua para las flores, cuyos resultados son los siguientes:

A.- El diagrama de Pareto al 95% de confianza señala que la eficiencia del sistema de riego influye negativamente en la demanda de agua, en cambio la densidad de las plantaciones no influye en la demanda de agua.



**Figura 5**  
**Diagrama de Pareto estandarizada para demanda de agua en flores**  
Fuente: Estatgraphics.

**B.-** Los resultados del análisis de varianza para la demanda de agua en flores se da en la siguiente tabla.

**Tabla 23**  
**Análisis de la varianza para la demanda de agua en flores**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:DENSIDAD	0,0000000	1	0,000000	0,00	1,0000
B:EFICIENCIA DE RIEGO	0,0728997	1	0,072899	47792,92	0,0000
AA	0,0000048	1	0,000005	3,21	0,1331
AB	0,0000000	1	0,000000	0,00	1,0000
BB	0,0001423	1	0,000142	93,29	0,0002
Error total	0,0000076	5	0,000002		
Total (corr.)	0,0730545	10			

Fuente: Estatgraphics.

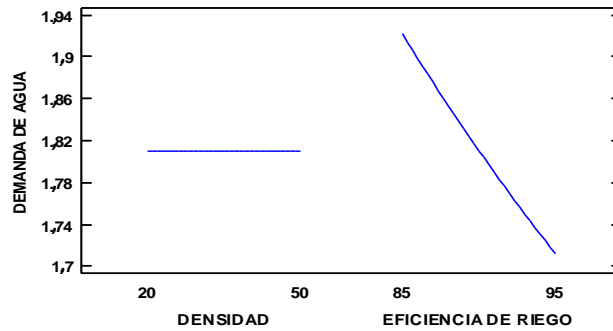
Resulta que las diferentes densidades de plantaciones de flores no es significativo y estadísticamente son iguales, esto indicaría que la densidad como se desarrollaría las flores en los jardines, no influye en la demanda de agua que requieren; para el caso de las eficiencias de riego por goteo, resulta también altamente significativo y diferentes, que influyen en la demanda de agua, debido a varios factores como son los constructivos, de operación y de distribución

a nivel de campo, con una probabilidad  $P > 99\%$ , con  $Gl = 1$ .

Para el factor AA no es significativo, no existen interacciones entre ellos, no existe respuesta o efecto cuadrático (curva), la respuesta de los factores es de tipo lineal.

Al combinar los dos factores AB, no es significativo, no existen interacciones entre ellos, son independientes cada uno, no existe respuesta o efecto cuadrático (curva), la respuesta de los factores es de tipo lineal. Para el factor BB hay interacción significativa, la presencia de los dos factores origina un efecto adicional, existe respuesta o efecto cuadrático (curva ligera).

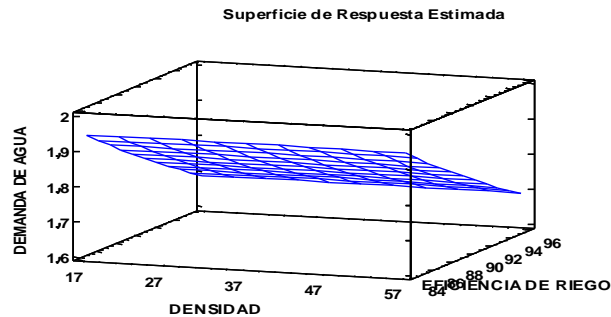
**C.-** Los efectos principales de la demanda de agua en las flores, se muestra en la figura 6.



**Figura 6**  
**Efectos principales de la demanda de agua en las flores**  
 Fuente: Estatgraphics.

Como muestra la figura 6, la densidad de plantación en las flores no influye en la demanda del agua, en cambio la demanda de agua es inversamente proporcional a la eficiencia de riego por goteo, al aumentar la eficiencia del sistema de riego por goteo disminuye la demanda y cuando disminuye la eficiencia del sistema de riego por goteo aumenta la demanda.

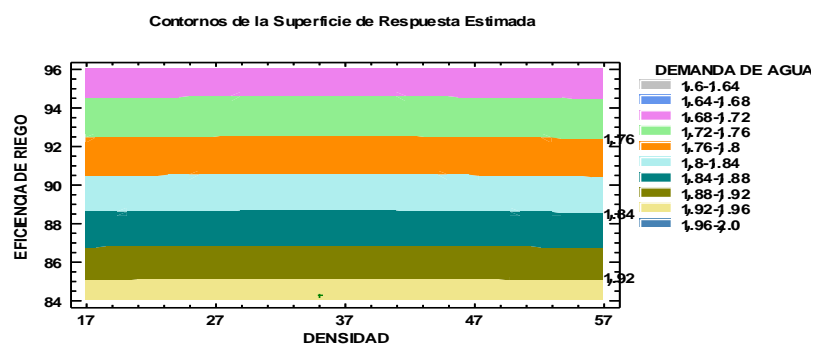
**D.-** La superficie de respuesta estimada para las flores se da en la figura 7.



**Figura 7**  
**Superficie de respuesta estimada para las flores**  
 Fuente: Estatgraphics.

Muestra que no hay una respuesta cuadrática, resulta una figura hiperplano con 3 dimensiones, que indica que la densidad de plantación no influye en la demanda del agua ni en la eficiencia de riego, en cambio la eficiencia de riego por goteo aumenta a medida que la demanda de agua baja.

**E.-** En el contorno de la superficie respuesta estimada para las flores (figura 8), señala que para una menor demanda anual de agua entre 1,60–1,64 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>, la eficiencia aumenta con valores entre 94% y 96%; en cambio para conseguir una mayor demanda anual de agua entre 1,96–2,00 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>, la eficiencia de riego disminuye al 84%.



**Figura 8**  
**Contornos de la superficie de respuesta estimada para las flores**  
 Fuente: Estatgraphics.

F.- La optimización de los factores en flores, (tabla 24), señala que para maximizar la demanda de agua para el flores, resultando un marco de plantación de 35,00 cm, entre planta y de 35,00 cm, entre filas de plantas, que representa 8 plantas por m<sup>2</sup>, y una eficiencia del sistema de riego por goteo en el orden del Er=84,26%. Resultando un valor=1,94 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>-anual; con dichos valores se han corrido en los procesos de cálculo que determina la demanda de agua en flores, resultando una demanda anual de 1,93 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>, que al ser comparado con el valor estadístico=1,94 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>-anual, valor proporcionado del Estatgraphics, resultando muy similar,

de esta manera se comprueba la veracidad de los procesos de cálculo empleados.

Para optimizar la demanda de agua de riego en el cultivo de las flores se debe considerar un marco de plantación de 35,00 cm, entre planta y de 35,00 cm, entre filas de plantas y una eficiencia de riego por goteo de  $E_r=95,74\%$ ; estos valores al ser corridos en los procesos de cálculo que determinan la demanda de agua en flores, resulta una demanda anual de  $1,70 \text{ m}^3/\text{m}^2$ .

**Tabla 24**  
**Optimización de los factores en flores**

<b>Factor</b>	<b>Bajo</b>	<b>Alto</b>	<b>Óptimo</b>
DENSIDAD DE PLANTACION	17,7884	52,2116	35,0000
EFICIENCIA DE RIEGO	84,2628	95,7372	84,2628

Fuente: Estatgraphics.

#### **4.3.2. Programación del riego para las flores**

Considerando los coeficientes hídricos del suelo, la densidad aparente del suelo y la profundidad de raíces de  $P=20 \text{ cm}$ , para el cultivo de las flores, se ha calculado el agua aprovechable o disponible por las plantas (L), que representar la capacidad de almacenamiento del agua en el

suelo a la profundidad de raíces (P), resultando una lámina de agua que almacena el suelo de 27,54 mm.

Con un umbral de agotamiento de 0,20 para los cultivos de flores, se ha calculado la lámina de riego neta (LRN) que representa la lámina de agua que es consumida del suelo por evapotranspiración del cultivo (ETc), que será restituida por el riego, resultando una lámina de agua del orden del 5,31 mm; con estos resultados se ha calculado el ciclo de riego (CRC) mensual considerando la evapotranspiración del cultivo (ETc), de tal manera que los valores del ciclo de riego se han reajustado (CRR) para que la lámina de riego bruta (LRB) que no exceda a la lámina de riego neta (LRN) de esta manera se evitará que no ocurra percolación profunda por aplicar exceso de agua de riego al suelo, originando deterioro ambiental a sus alrededores.

En la tabla 25 se presentan los resultados que son proporcionados por los procesos de cálculo que determina la demanda de agua en flores, en donde se indican los ciclos

de riego mensuales que se debe aplicar en el riego de las flores.

**Tabla 25**  
**Ciclos de riego para las flores**

<b>Meses</b>	<b>L mm</b>	<b>LRN mm</b>	<b>CRC d</b>	<b>CRR d</b>	<b>LRB mm</b>
Enero	27,54	5,51	8,45	0,50	2,50
Febrero	27,54	5,51	5,68	0,50	3,72
Marzo	27,54	5,51	7,35	0,50	2,87
Abril	27,54	5,51	10,06	1,00	4,20
Mayo	27,54	5,51	10,91	1,00	3,87
Junio	27,54	5,51	14,58	1,00	2,90
Julio	27,54	5,51	16,46	1,00	2,57
Agosto	27,54	5,51	13,23	1,00	3,19
Setiembre	27,54	5,51	11,00	1,00	3,84
Octubre	27,54	5,51	8,57	0,50	2,46
Noviembre	27,54	5,51	6,34	0,50	3,33
Diciembre	27,54	5,51	7,28	0,50	2,90

Fuente: Tabla anexo "B" – 2.

Se observa que en verano y primavera se debe regar en forma fraccionaria, en cambio en otoño e invierno se debe regar diariamente, de esta manera se evitara que se desperdicie el agua de riego.

#### **4.4. Cálculo de la demanda de agua para arbustos**

Tomando los resultados del ETo (tabla 17), la combinación de los dos factores de evaluación para arbustos (tabla 15), se han empleado

en los procesos de calculo que determinar la demanda anual de agua para arbustos en m<sup>3</sup>/arbusto, dichos resultados se presentan en la tabla 26, para cada prueba estadística.

**Tabla 26**  
**Resultado de la demanda de agua en arbustos**

Nº de Prueba	Radio de Cobertura Vegetal m	Marco de Plantación m <sup>2</sup>	Área Vegetal con Factor de Corrección F m <sup>2</sup>	Demanda de Agua m <sup>3</sup> /arbusto-anual
1	1.77	4,5x4,5=20,25	14,117	14,35
2	1.00	3 x 3 = 9	5,140	5,53
3	2.30	5,5x5,5=30,25	22,852	24,59
4	1.00	3 x 3 = 9	5,140	4,95
5	2.30	5,5x5,5=30,25	22,852	22,00
6	1.77	4,5x4,5=20,25	14,117	14,35
7	0.33	3 x 3 = 9	4,323	4,39
8	2.37	5,5x5,5= 0,25	23,792	24,18
9	1.77	4,5x4,5=20,25	14,117	15,32
10	1.77	4,5x4,5=20,25	14,117	13,49
11	1.77	4,5x4,5=20,25	14,117	14,35

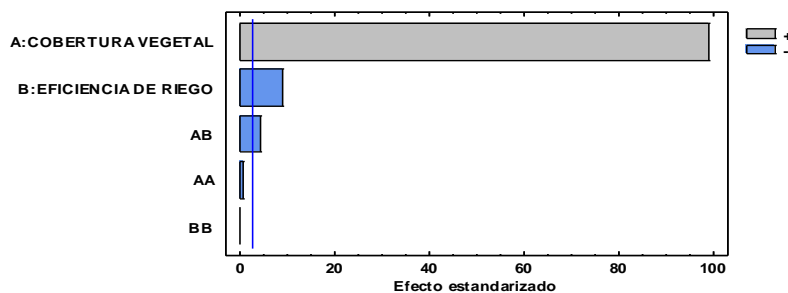
Fuente: Tabla anexo "B"-3.

#### 4.4.1. Análisis estadístico para optimizar la demanda para los arbustos

Con los valores de la demanda anual (tabla 26) junto con los valores de la cobertura vegetal y la eficiencia de riego (tabla 15), fueron corridos en el modelo del diseño central compuesto Box-Wilson, que permite determinar

estadísticamente que combinaciones de factores es la más adecuada para optimizar la demanda de agua para los arbustos, cuyos resultados son los siguientes:

**A.-** El diagrama de Pareto con un nivel de confianza al 95% indica que la cobertura vegetal de los arbustos influye positivamente en la demanda de agua, en cambio la eficiencia de riego influyen negativamente en la demanda de agua.



**Figura 9**  
**Diagrama de Pareto estandarizada para demanda de agua de los arbustos**

Fuente: Estatgraphics.

**B.-** Los resultados del análisis de varianza para la demanda de agua de los arbustos, se da en la siguiente tabla.

**Tabla 27**  
**Análisis de la varianza para la demanda de agua de los arbustos**

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
A:COBERTURA VEGETAL	521,54600	1	521,54600	9830,44	0,0000
B:EFICIENCIA DE RIEGO	4,18664	1	4,18664	78,91	0,0003
AA	0.02426	1	0,02427	0,46	0,5289
AB	1,01002	1	1,01002	19,04	0,0073
BB	0,00019	1	0,00019	0,00	0,9543
Error total	0,26527	5	0,05305		
Total (corr.)	527,03200	10			

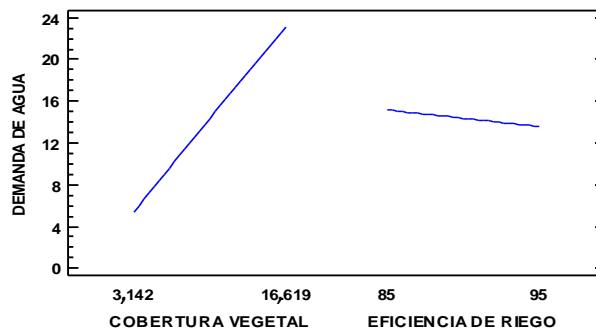
Fuente: Estatgraphics.

Resulta que las coberturas vegetales en arbustos es altamente significativo, que estadísticamente son diferentes, esto indicaría que el desarrollo de la cobertura vegetal influye en la demanda de agua, con una probabilidad  $p > 99\%$  para  $GL=1$ ; para el caso de las eficiencias de riego por goteo, resulta también altamente significativo y diferentes, que influyen en la demanda de agua, debido a varios factores como son los constructivos, de operación y de distribución a nivel de campo, con una probabilidad,  $P=0,03\%$ , con  $Gl=1$ .

Para el factor AA y BB no es significativo, no existen interacciones entre ellos, son independientes cada

uno, no existe respuesta o efecto cuadrático (curva), la respuesta de los factores es de tipo lineal. Al combinar los dos factores AB, hay interacción significativa, la presencia de los dos factores hay un efecto adicional, existe respuesta o efecto cuadrático (curva ligera).

**C.-** Los efectos principales de la demanda de agua de los arbustos, se muestra en la figura 10.

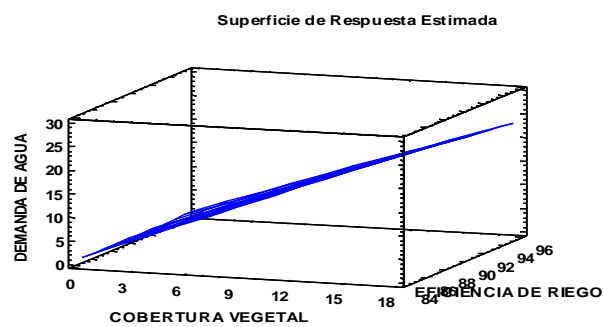


**Figura 10**  
**Efectos principales de la demanda de agua de los arbustos**  
Fuente: Estatgraphics.

Como indica la figura 10, el incremento de la cobertura vegetal en los arbustos influye positivamente en el aumento de la demanda de agua, existiendo una regresión línea positiva entre ambas variables; en cambio

cuando aumenta la eficiencia del sistema de riego disminuye la demanda de agua, existiendo entre ambas variables una regresión inversa.

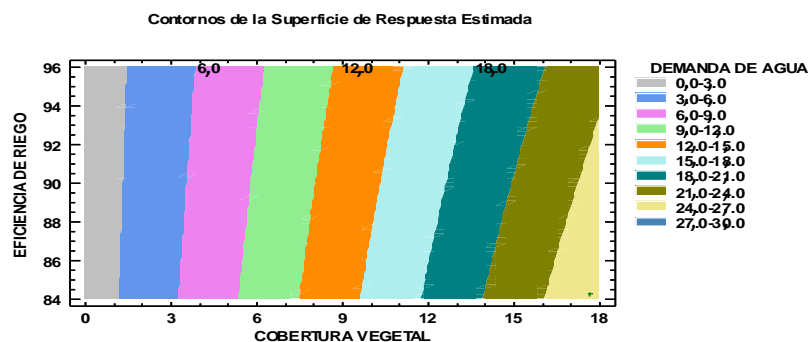
D.- La superficie de respuesta estimada para los arbustos se da en la figura 11.



**Figura 11**  
**Superficie de respuesta estimada para los arbustos**  
Fuente: Estatgraphics.

Señala que no hay una respuesta cuadrática, resulta una figura hiperplano con 3 dimensiones, en donde la cobertura vegetal de los arbustos influye en la demanda de agua de tal manera que al incrementar la cobertura vegetal hace incrementar la demanda de agua; en cambio al aumentar la eficiencia de riego por goteo, la demanda de agua disminuye.

E.- En el contorno de la superficie respuesta estimada para los arbustos (figura 12), señala que al incrementar la parte aérea de los arbustos entre 15-18 m<sup>2</sup> hace incrementar su demanda anual de agua entre 27-30 m<sup>3</sup>, haciendo bajar la eficiencia de riego con valores entre 86% y 84%; y al contrario al disminuir la cobertura vegetal hace disminuir la demanda de agua aumentando la eficiencia de riego.



**Figura 12**  
**Contornos de la superficie de respuesta estimada para los arbustos**  
Fuente: Estatgraphics.

F.- La optimización de los factores en arbustos, (tabla 28), señala que para maximizar la demanda de agua para los arbustos, la cobertura vegetal debe estar en 17,61 m<sup>2</sup>/arbusto, que representa un radio de cobertura vegetal

igual a 2,37 m, un marco de plantación de 5,5 m, entre arbustos y de 5,5 m, entre filas de arbustos, para una eficiencia del sistema de riego igual a  $E_r=84,26\%$ ; todo esto conlleva a una demanda anual= $26,01 \text{ m}^3/\text{arbusto}$ . Con los valores de cobertura vegetal y eficiencia del sistema de riego encontrados estadísticamente, se han corrido en los procesos de cálculo que determina la demanda de agua en arbustos, resultando una demanda anual de  $25,80 \text{ m}^3/\text{arbusto}$ , que al ser comparado con el valor estadístico= $26,01 \text{ m}^3/\text{arbusto-anual}$ , valor proporcionado del Estatgraphics, resultando muy similar, de esta manera se comprueba la veracidad de los procesos de cálculo empleados.

Para optimizar la demanda de agua de riego en los arbustos, se debe considerar una cobertura vegetal de  $17,61 \text{ m}^2/\text{arbusto}$ , y una eficiencia de riego por goteo de  $E_r=95,74\%$ ; estos valores al ser corridos en los procesos de cálculo que determina la demanda de agua en los arbustos, resulta una demanda anual de  $22,70 \text{ m}^3/\text{arbusto}$ ; para un radio de cobertura vegetal de 2,37 m,

y un marco de plantación de 5,5 m, entre arbustos y de 5,5 m, entre fila de arbustos.

**Tabla 28**  
**Optimización de los factores en arbustos**

<b>Factor</b>	<b>Bajo</b>	<b>Alto</b>	<b>Óptimo</b>
COBERTURA VEGETAL	2,1484	17,6125	17,6125
EFICIENCIA DE RIEGO	84,2628	95,7372	84,2628

Fuente: Estatgraphics.

#### **4.4.2. Programación del riego para los arbustos**

Considerando los coeficientes hídricos del suelo, la densidad aparente del suelo y la profundidad de raíces ( $P=70$  cm) para los arbustos, se ha calculado el agua aprovechable o disponible por las plantas ( $L$ ), que representa la capacidad de almacenamiento del agua en el suelo a la profundidad de raíces ( $P$ ), resultando una lámina de agua que almacena el suelo de 76,04 mm, (tabla 29).

Con un umbral de agotamiento de 0,40 para los arbustos, se ha calculado la lámina de riego neta (LRN) que representa la lámina de agua que es consumida del suelo por evapotranspiración del cultivo ( $ET_c$ ), que será restituida por el riego, resultando una lámina de agua del orden del 30,41 mm;

con estos resultados se ha calculado el ciclo de riego (CRC) mensual considerando la evapotranspiración del cultivo (ETc), de tal manera que los valores del ciclo de riego se han reajustado (CRR) para que la lámina de riego bruta (LRB) que no exceda a la lámina de riego neta (LRN) de esta manera se evitará que no ocurra percolación profunda por aplicar exceso de agua de riego al suelo, originando deterioro ambiental a sus alrededores.

**Tabla 29**  
**Ciclos de riego para los arbustos**

<b>Meses</b>	<b>L mm</b>	<b>LRN mm</b>	<b>CRC d</b>	<b>CRR d</b>	<b>LRB mm</b>
Enero	76,04	30,41	29,88	9,00	24,85
Febrero	76,04	30,41	26,96	8,00	24,47
Marzo	76,04	30,41	32,08	10,00	25,71
Abril	76,04	30,41	40,02	12,00	24,73
Mayo	76,04	30,41	52,44	16,00	25,17
Junio	76,04	30,41	64,44	20,00	26,60
Julio	76,04	30,41	67,29	21,00	25,74
Agosto	76,04	30,41	59,17	19,00	26,48
Setiembre	76,04	30,41	48,59	15,00	25,47
Octubre	76,04	30,41	39,30	12,00	25,19
Noviembre	76,04	30,41	33,95	11,00	26,73
Diciembre	76,04	30,41	31,75	10,00	25,98

Fuente: Tabla anexo "B" – 3.

En la tabla 29 señala los ciclos de riego mensuales reajustados que se debe aplicar en el riego de los arbustos,

para evitar de esta manera que se desperdicie el agua de riego por percolación profunda.

#### 4.5. Cálculo de la demanda de agua para árboles

Tomando los resultados del ETo (tabla 17), la combinación de los dos factores de evaluación para árboles (tabla 16) se han empleado en los procesos de cálculo que determinan la demanda anual de agua para árboles en m<sup>3</sup>/árbol, dichos resultados se presentan en la tabla 30, para cada prueba estadística.

**Tabla 30**  
**Resultado de la demanda de agua en árboles**

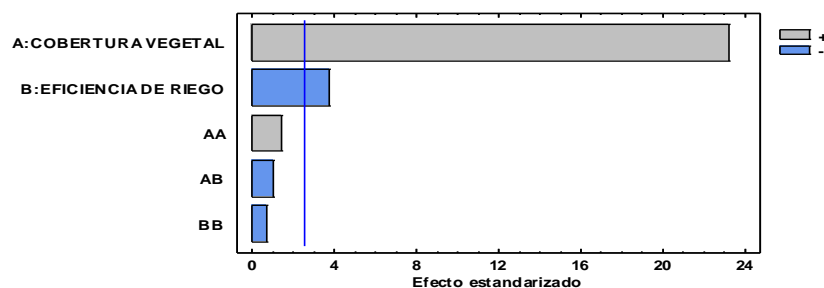
Nº de Prueba	Radio de Cobertura Vegetal m	Marco de Plantación m <sup>2</sup>	Área Vegetal con Factor de Corrección F m <sup>2</sup>	Demanda de Agua m <sup>3</sup> /árbol-anual
1	2,55	6 x 6 = 36	27,794	28,25
2	2,00	5 x 5 = 25	17,811	19,17
3	3,00	7 x 7 = 49	38,262	41,17
4	2,00	5 x 5 = 25	17,811	17,15
5	3,00	7 x 7 = 49	38,262	36,84
6	2,55	6 x 6 = 36	27,794	28,25
7	1,90	5 x 5 = 25	16,684	19,96
8	3,06	7 x 7 = 49	39,313	39,95
9	2,55	6 x 6 = 36	27,794	30,17
10	2,55	6 x 6 = 36	27,794	26,55
11	2,55	6 x 6 = 36	27,794	28,25

Fuente: Tabla anexo "B" – 4.

#### 4.5.1. Análisis estadístico para optimizar la demanda para los árboles

Con los valores de la demanda anual (tabla 30) junto con los valores de la cobertura vegetal y la eficiencia de riego (tabla 16), fueron corridos en el modelo del diseño central compuesto Box-Wilson, que permite determinar estadísticamente que combinaciones de factores es la más adecuada para optimizar la demanda de agua para los árboles, cuyos resultados son los siguientes:

A.- El diagrama de Pareto con un nivel de confianza al 95% indica que la cobertura vegetal de los árboles influye positivamente en la demanda de agua, y en cambio la eficiencia de riego influyen negativamente.



**Figura 13**  
**Diagrama de Pareto estandarizada para demanda de agua de los árboles**

Fuente: Estatgraphics.

**B.-** Los resultados del análisis de varianza para la demanda de Agua de los árboles, se da en la siguiente tabla.

**Tabla 31**  
**Análisis de la varianza para la demanda de agua de los árboles**

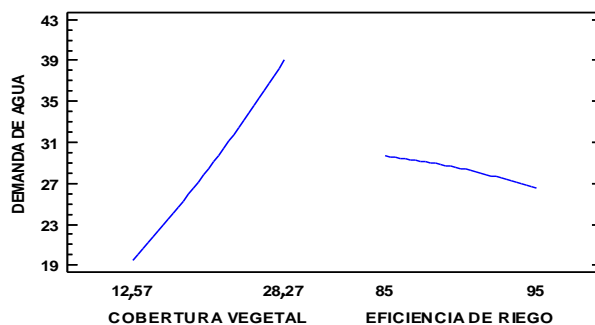
<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>GI</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
A:COBERTURA VEGETAL	629,66100	1	629,66100	538,47	0,0000
B:EFICIENCIA DE RIEGO	16,63270	1	16.63270	14,22	0,0130
AA	2,30791	1	2,30791	1,97	0,2190
AB	1,33402	1	1,33402	1,14	0,3343
BB	0,54243	1	0,54243	0,46	0,5261
Error total	5,84678	5	1,16936		
Total (corr.)	656,32500	10			

Fuente: Estatgraphics.

Resulta que las coberturas vegetales en árboles es altamente significativo, que estadísticamente son diferentes, indicaría que el desarrollo de la cobertura vegetal influye en la demanda de agua, con una probabilidad  $p > 99\%$  para  $GL=1$ ; para el caso de las eficiencias de riego por goteo, resulta también significativo y diferentes, que influyen en la demanda de agua, debido a varios factores que influyen como son los constructivos, de operación y de distribución a nivel de campo, con una probabilidad,  $P=1,3\%$ , con  $GI=1$ .

Para el factor AA y BB y al combinar los dos factores AB, resulta que no es significativo, no existen interacciones entre ellos, son independientes cada uno, no existe respuesta o efecto cuadrático (curva), la respuesta de los factores es de tipo lineal.

C.- Los efectos principales de la demanda de agua de los árboles, se muestra en la figura 14.

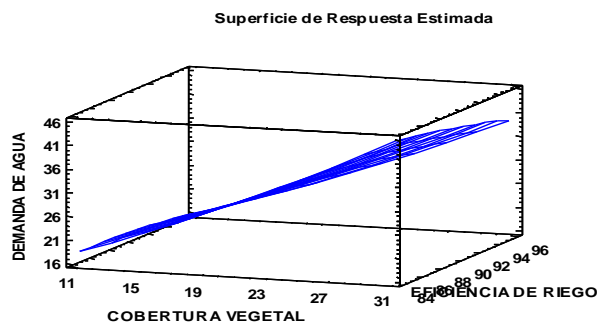


**Figura 14**  
**Efectos principales de la demanda de agua de los árboles**  
Fuente: Estatgraphics.

Como señala la figura 14 el incremento de la cobertura vegetal en los árboles influye positivamente en el aumento de la demanda de agua, existiendo una regresión línea positiva entre ambas variables; en cambio cuando aumenta la eficiencia del sistema de riego

disminuye la demanda de agua, existiendo entre ambas variables una regresión inversa.

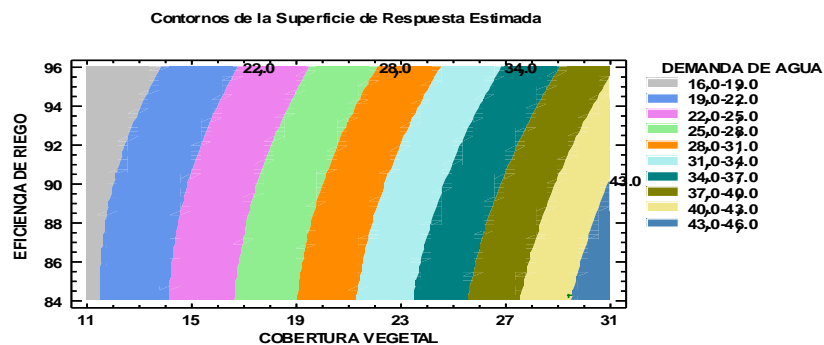
D.- La superficie de respuesta estimada para los árboles se da en la figura 15.



**Figura 15**  
**Superficie de respuesta estimada para los árboles**  
Fuente: Estatgraphics.

Como se puede observar no hay una respuesta cuadrática, resulta una figura hiperplano con 3 dimensiones, en donde la cobertura vegetal de los árboles influye en la demanda de agua de tal manera que al incrementar la cobertura vegetal hace incrementar la demanda; en cambio al aumentar la eficiencia de riego por goteo, la demanda de agua disminuye.

E.- En el contorno de la superficie respuesta estimada para los árboles (figura 16), señala que al incrementar la parte aérea de los árboles entre 27-31 m<sup>2</sup> hace incrementar su demanda anual de agua entre 43-46 m<sup>3</sup>; haciendo disminuir la eficiencia de riego con valores entre 86% y 84% y al contrario al disminuir la cobertura vegetal hace disminuir la demanda de agua aumentando la eficiencia de riego.



**Figura 16**  
**Contornos de la superficie de respuesta estimada para los árboles**

Fuente: Estatgraphics.

F.- La optimización de los factores en árboles, (tabla 32), señala que para maximizar la demanda de agua para los árboles, la cobertura vegetal debe estar en 29,43 m<sup>2</sup>/árbol, que representa un radio de cobertura vegetal igual a 3,06 m, un marco de plantación de 7 m, entre

árboles y de 7 m, entre filas de árboles, para una eficiencia del sistema de riego en el orden del  $E_r=84,26\%$ ; todo esto conlleva a una demanda anual  $=42,76 \text{ m}^3/\text{árbol}$ . Con los valores de cobertura vegetal y eficiencia del sistema de riego encontrados estadísticamente, se han corrido en los procesos de cálculo que determina la demanda de agua en árboles, resultando una demanda anual de  $42,68 \text{ m}^3/\text{árbol}$ , que al ser comparado con el valor estadístico  $=42,76 \text{ m}^3/\text{árbol}$ -anual, valor proporcionado del Estatgraphics, resultando muy similar, de esta manera se comprueba la veracidad de los procesos de cálculo empleados.

Para optimizar la demanda de agua de riego en los árboles, se debe considerar una cobertura vegetal de  $26,4274 \text{ m}^2/\text{árbol}$ , y una eficiencia de riego por goteo de  $E_r=95,74\%$ ; estos valores al ser corridos en los procesos de cálculo que determinan la demanda de agua en los árboles, resulta una demanda anual de  $34,93 \text{ m}^3/\text{árbol}$ ; para un radio de cobertura vegetal de 2,90 m, y

un marco de plantación de 7 m, entre árboles y de 7 m, entre fila de árboles.

**Tabla 32**  
**Optimización de los factores en árboles**

<b>Factor</b>	<b>Bajo</b>	<b>Alto</b>	<b>Óptimo</b>
COBERTURA VEGETAL	11,4126	26,4274	29,4274
EFICIENCIA DE RIEGO	84,2628	95,7372	84,2628

Fuente: Estatgraphics.

#### **4.5.2. Programación del riego para los árboles**

Considerando los coeficientes hídricos del suelo, la densidad aparente del suelo y la profundidad de raíces de  $P=100$  cm, para los árboles, se ha calculado el agua aprovechable o disponible por las plantas (L), que representa la capacidad de almacenamiento del agua en el suelo a la profundidad de raíces (P), resultando una lámina de agua que almacena el suelo de 108,62 mm.

Con un umbral de agotamiento de 0,40 para los árboles, se ha calculado la lámina de riego neta (LRN) que representa la lámina de agua que es consumida del suelo por evapotranspiración del cultivo (ETc), que será restituida por el riego, resultando una lámina de agua del orden del 43,45 mm;

con estos resultados se ha calculado el ciclo de riego (CRC) mensual considerando la evapotranspiración del cultivo (ETc), de tal manera que los valores del ciclo de riego se han ajustado (CRR) para que la lámina de riego bruta (LRB) que no exceda a la lámina de riego neta (LRN) de esta manera se evitara que no ocurra percolación profunda al aplicar exceso de agua de riego al suelo, originando deterioro ambiental a sus alrededores.

En la tabla 33 se presentan los resultados que son proporcionados por los procesos de cálculo que determina la demanda de agua para los árboles, en donde se indican los ciclos de riego reajustado, para no permitir el desperdicio del agua de riego, que evitara el deterioro ambiental de la infraestructura existente alrededor de los jardines.

**Tabla 33**  
**Ciclos de riego para los árboles**

<b>Meses</b>	<b>L mm</b>	<b>LRN mm</b>	<b>CRC d</b>	<b>CRR d</b>	<b>LRB mm</b>
Enero	108,62	43,45	42,68	13,00	34,08
Febrero	108,62	43,45	38,52	12,00	34,86
Marzo	108,62	43,45	45,83	14,00	34,18
Abril	108,62	43,45	57,17	18,00	35,23
Mayo	108,62	43,45	74,91	23,00	34,35
Junio	108,62	43,45	92,05	29,00	35,25
Julio	108,62	43,45	96,13	30,00	34,92
Agosto	108,62	43,45	84,53	26,00	34,42
Setiembre	108,62	43,45	69,41	22,00	35,47
Octubre	108,62	43,45	56,14	17,00	33,89
Noviembre	108,62	43,45	48,49	15,00	34,61
Diciembre	108,62	43,45	45,35	14,00	34,54

Fuente: Tabla anexo "B" – 4.

## CAPÍTULO V

### DISCUSION

#### 5.1. Uso eficiente del agua en el césped

Los coeficientes de cultivo de los césped influyen directamente en la demanda de agua, a medida que el coeficiente de cultivo tenga mayor valor, la demanda de agua aumenta, esto demuestra que el consumo de agua en el césped está relacionado directamente con la especie que se cultive. Entonces la primera hipótesis específica que indica que el consumo de agua en el césped está relacionado a la especie vegetal es verdadera, queda comprobada.

Para maximizar la demanda anual de agua para el césped cuyo valor es de  $2,49 \text{ m}^3/\text{m}^2$ , se debe considerar un valor de  $K_c=1,02$  que representa a las especies de césped que consumen demasiada agua, y una eficiencia de riego por goteo de  $E_r=84,93\%$ , que representa una baja eficiencia de aplicación del riego.

Para optimizar la demanda de agua de riego en el cultivo del césped se debe considerar un coeficiente de cultivo de  $K_c=0,88$  cuyo

valor se encuentra dentro del rango las especies de césped que requieren menos agua y que resisten a la sequia según Albert Velarde (2008); y se debe considerar una eficiencia de riego por goteo de  $E_r=97,07\%$ , por ser este valor el mas alto resultante de la optimización de los factores de césped, que permitirá disminuir la demanda de agua y el ahorro de agua; estos valores al ser corridos en los procesos de cálculo que proporcionan la demanda de agua para el césped, resulta una demanda anual de  $1,84 \text{ m}^3$  para una superficie cultivada de césped por un metro cuadrado, con este valor se puede calcular el volumen de agua que requiere en cada jardín cultivado con césped en función de la dimensión y forma que tenga.

Con los valores encontrados para optimizar la demanda de agua de riego para el cultivo del césped ( $K_c=0,88$  y  $E_r=97,07$ ), estos deberán ser empleados para plantear el diseño hidráulico del sistema de riego por goteo que conlleva también a la operación del mismo, consiguiendo optimizar y ahorrar el agua en el cultivo del césped de los jardines.

Al comparar la demanda anual máxima con la demanda anual optimizada, resulta una diferencia de  $0,65 \text{ m}^3$  para una superficie

cultivada de césped por un metro cuadrado, que representa el ahorro del agua al optimizar su uso.

## **5.2. Uso eficiente de agua en flores**

Las diferentes densidades de plantaciones de flores no influye en la demanda de agua, entonces la hipótesis específica planteada que indica que la densidad de plantación en flores determina la demanda de agua por superficie cultivada, resulta falsa; debido a que se le proporciona el agua necesaria a las flores, para mantener la supervivencia de su estado vegetativo en condiciones estéticas aceptables como lo indica Rodríguez *et. al* (2000), por que el principal objetivo en jardinería no es producir algún productos derivado de las flores (bulbos, semillas, rizomas, flores, varas, etc.), como es el caso de los cultivos que se desarrollan en el agro, si no su mantenimiento vegetativo adecuado.

Para maximizar la demanda anual de agua para las flores, cuyo valor es de  $1,94 \text{ m}^3/\text{m}^2$ , se debe considerar un marco de plantación de 35,00 cm, entre planta y de 35,00 cm, entre filas de plantas, que representa 8 plantas por  $\text{m}^2$ , y considerar una eficiencia del sistema de riego por goteo en el orden del  $E_r=84,26\%$ , que representa una

baja eficiencia de aplicación del riego. Todo esto significaría emplear demasiados volúmenes de agua superior a la que realmente necesitan las plantas para cubrir sus necesidades de riego, originando el desperdicio de agua y el desplazamiento de las sales presentes en el agua de riego y en el suelo hacia las estructuras colindantes de los jardines, que originarían el deterioro ambiental, que se quiere evitar.

Para optimizar la demanda de agua de riego en el cultivo de las flores se debe considerar un marco de plantación de 35,00 cm, entre planta y de 35,00 cm, entre filas de plantas por representar valores intermedios de plantación y una eficiencia de riego por goteo a considerar que debe alcanzar a  $E_r=95,74\%$ ; por ser este valor mas alto resultante de la optimización de los factores en flores, que representa el ahorro del agua a nivel de jardín, estos valores al ser corridos en los procesos de calculo que proporcionan la demanda de agua para flores, resulta una demanda anual de  $1,70 \text{ m}^3$  para una superficie cultivada de flores por un metro cuadrado, con este valor permite calcular el volumen de agua de riego que requiere el jardín cultivado con flores en función de su dimensión y forma que tenga la distribución de las flores.

Como la densidad de plantación no afecta la demanda de agua, entonces se puede considerar los rangos de marcos de plantación que se indican en la tabla 9 que se pueden desarrollar en los jardines con flores.

Al comparar la demanda anual máxima con la demanda anual optimizada, resulta una diferencia de  $0,24 \text{ m}^3$  para una superficie cultivada de flores por un metro cuadrado, que representa el ahorro del agua al optimizar su uso.

### **5.3. Uso eficiente del agua en arbustos**

La cobertura vegetal en los arbustos influye en la demanda de agua en forma directa, ha medida que la cobertura vegetal va creciendo, y ocupa más espacio, el consumo de agua va aumentando, entonces la hipótesis específica que señala que la demanda de agua de los arbustos está relacionado a su cobertura vegetal queda comprobada.

La demanda máxima anual de agua para los arbustos, es de  $26,01 \text{ m}^3$ , para una cobertura vegetal de  $17,61 \text{ m}^2/\text{arbusto}$  y considerando una eficiencia del sistema de riego en el orden del

$E_r=84,26\%$ , que representa baja eficiencia de riego que influye en el aumento de la demanda de agua por los arbustos.

Para optimizar la demanda de agua de riego en los arbustos, la cobertura vegetal se debe considerar también en  $17,61 \text{ m}^2/\text{arbusto}$  por que estadísticamente los valores alto y optimo resultan iguales y la eficiencia de riego por goteo se ha considerado en  $E_r=95,74\%$  por ser este valor mas alto resultante de la optimización de los factores en arbustos, que representa el ahorro del agua a nivel de jardín; estos valores al ser corridos en los procesos de cálculo que proporcionan la demanda de agua en los arbustos, da como resultado una demanda anual de  $22,70 \text{ m}^3/\text{arbusto}$ , para un marco de plantación de  $5,5 \text{ m}$ , entre arbustos y de  $5,5 \text{ m}$ . entre fila de arbustos. Para lograr que el arbusto en su estado adulto consuma anualmente  $22,70 \text{ m}^3$ , se requiere necesariamente que el arbusto mantenga su cobertura vegetal en  $17,61 \text{ m}^2$  que representa una radio de cobertura vegetal de  $2,37 \text{ m}$ , y si la cobertura vegetal supera este valor, se debe proceder a podarlo de esta manera se logra controlar el consumo de agua, logrando que las raíces se desarrollarán mucho menos, logrando reducir el consumo de agua, optimizando la demanda de agua.

Al comparar la demanda anual máxima con la demanda anual optimizada, resulta una diferencia de  $3,31 \text{ m}^3$  por arbusto, que representa el ahorro del agua al optimizar su uso.

#### **5.4. Uso eficiente del agua en árboles**

La cobertura vegetal en los árboles influye en la demanda de agua en forma directa, ha medida que la cobertura vegetal aérea va creciendo, y ocupa más espacio el consumo de agua va aumentando, entonces la hipótesis específica que señala que la demanda de agua de los árboles está relacionado a su cobertura vegetal queda comprobada.

La demanda máxima anual de agua para los árboles, es de  $42,76 \text{ m}^3$ , para una cobertura vegetal de  $29,43 \text{ m}^2/\text{árbol}$  y considerando una eficiencia del sistema de riego en el orden del  $Er=84,26\%$ , que representa baja eficiencia de riego que influye en el aumento de la demanda de agua por los árboles.

Para optimizar la demanda de agua de riego en los árboles, la cobertura vegetal se debe considerar en  $26,42 \text{ m}^2/\text{árbol}$  y la eficiencia de riego por goteo se ha considerado en  $Er=95,74\%$  porque

estadísticamente representa los valores mas alto resultante de la optimización de los factores en árboles, estos valores al ser corridos en los procesos de cálculo que proporcionan la demanda de agua en los árboles, da como resultado una demanda anual de 34,33 m<sup>3</sup>/árbol, para un marco de plantación de 7 m, entre arboles y de 7 m, entre fila de árboles. Para lograr que el árbol en su estado adulto consuma anualmente 34,33 m<sup>3</sup>, se requiere necesariamente que el árbol mantenga su cobertura vegetal en 26,42 m<sup>2</sup> que representa una radio de cobertura vegetal de 2,90 m, y si la cobertura vegetal supera este valor, se debe proceder a podarlo de esta manera se logra controlar el consumo de agua logrando que las raíces se desarrollaran mucho menos, logrando reducir el consumo de agua, optimizando la demanda de agua.

Al comparar la demanda anual máxima con la demanda anual optimizada, resulta una diferencia de 8,43 m<sup>3</sup> por árbol, que representa el ahorro del agua al optimizar su uso.

Para el césped, las flores, arbustos y árboles los valores de la eficiencia de riego por goteo influyen en forma inversa en la demanda de agua de estas plantas ornamentales, debido a que bajos valores

origina desperdicio de agua aumentando la demanda de agua y valores altos representa ahorro de agua que permite disminuir la demanda de agua.

## **5.5. Aspectos que se deben tener en cuenta para conseguir el uso eficiente del agua en los jardines**

El uso eficiente del agua en los jardines esta relacionado a seis aspectos principales que son los siguientes:

### **5.5.1. El empleo de especies ornamentales que consumen menos agua**

El primer aspecto está referido al desarrollo de los jardines con especies ornamentales que consuman menos agua, de esta manera se usara menores volúmenes de agua de riego y con preferencia tomar en cuenta especies autóctonas del lugar por estar adaptadas a las características climáticas de la zona y presentan resistencia a la sequia.

Para el caso del césped su área debe ser reducida dentro del jardín debido a que esta especie consume la mayor

cantidad de agua en relación a las otras especies ornamentales.

### **5.5.2. La utilización de sistemas de riego con mayores eficiencias de aplicación**

El segundo aspecto está referido al empleo de sistemas de riego que proporcionen altas eficiencias de riego, debiendo emplearse el riego por goteo que debe alcanzar entre  $E_r=95,74$  al  $E_r=97,07\%$ , según el resultado del modelo estadístico, que está por encima de los valores de la eficiencia que reporta Liotta (2010) en el riego superficial que alcanza entre el 40% al 50%, que al obtener una eficiencia de aplicación baja que alcanza en promedio al 49,37% en riego por gravedad, este exige medidas de corrección, por lo que existe pérdidas por escorrentía y percolación profunda, (Navarro *et. al* 2000), por otro lado (Barreto 2010), considera que el riego por goteo es un 40% más eficiente que por inundación, permitiendo ahorrar el agua y aumentar la eficiencia del riego y la producción (Godoy *et. al* 2003). Se obtendrán mayores valores de eficiencia de riego cuando el agua tenga un determinado costo frente al agua totalmente

gratis (Valenzuela 1997). Según Martínez *et. al* (2003), que el potencial teórico del riego por goteo es 2,09 veces mayor que la micro aspersión, demostrando una mayor eficiencia de riego del goteo frente a la micro aspersión y por ende al riego por gravedad.

Las eficiencias de riego por goteo, influyen en aumentar o disminuir la demanda de agua en las especies ornamentales, los valores de dichas eficiencias dependen de varios factores como son: las fallas en la fabricación del goteo, la distribución inadecuadas de los goteros en el campo, el mal uso del sistema de riego por el operador, periodos y ciclos de riego inadecuados, fugas de agua por rotura a nivel de líneas regadoras, etc. Para lograr una alta eficiencia del riego por goteo, se debe corregir en lo posible todas las fallas mencionadas y para ello se debe evitar que ocurran fugas de agua en el sistema de riego por goteo, efectuar un diseño adecuado, capacitar a los encargados del riego de los jardines en la operación y mantenimiento de los sistemas de riego por goteo.

Al regar los jardines con el riego localizado de alta frecuencia (goteo), este brinda una alta eficiencia en el uso del agua de riego y por otra parte por medio de este riego se proporcionara el agua necesaria para el desarrollo de las plantas ornamentales, evitando desperdicios, logrando optimizar el uso del agua de riego en los jardines de la ciudad universitaria.

### **5.5.3. El manejo del agua a nivel del suelo**

El tercer aspecto está referido al manejo del agua con referencia al suelo; para ello se ha de proporcionar al suelo el agua de riego necesaria para cubrir los siguientes aspectos:

**A.-** Para cubrir las necesidades fisiológicas de agua que requieren las plantas ornamentales.

**B.-** Para compensar las pérdidas de agua que se originan por la evaporación del agua ocurrida en la superficie del suelo.

**C.-** Para compensar las pérdidas de agua por la eficiencia del

sistema de riego.

**D.-** Para desplazar las sales presentes en el agua de riego, Hacia los límites del bulbo de humedecimiento, constituyendo un micro lavado del suelo en la zona de las raíces de las plantas. De esta manera se evitará aplicar excesos de agua que originen percolación profunda de las sales contenidas en el agua de riego, hacia capas más profundas del suelo que a su vez contienen altas concentraciones de sales, desplazándolas en dirección de las estructuras e instalaciones subterráneas existentes en los alrededores de los jardines originando el deterioro ambiental.

#### **5.5.4. La forma de aplicar el agua a nivel de jardín**

El cuarto aspecto está referido a la forma de aplicar el agua a nivel de jardín, debido a que se va aplicar reducidos volúmenes de agua en tiempos cortos según los requerimiento de las plantas ornamentales (césped, flores, arbustos y árboles) y por otro lado la existencia de diversos jardines que tienen diferentes formas, tamaños y que se

encuentran ubicados en todo el campus de la ciudad universidad, se hace muy dificultoso regar los jardines en forma oportuna por parte de los jardineros; es por esto que necesariamente se debe emplear programadores de riego, que se encarguen en regar en forma automática y oportuna cada uno de los jardines, según como indica Muncharaz (2000), para evitar desperdicios de agua; debiendo aplicar las láminas y los volúmenes de riego en las cantidades necesarias, respetando los ciclos de riego recomendados para cada grupo de plantas ornamentales que conforman el jardín, cuyos valores son proporcionados por los procesos de cálculo.

#### **5.5.5. La forma de distribuir las plantas ornamentales a nivel de jardín**

El quinto aspecto a considerar se refiere a la formación dentro del jardín de sectores de plantas ornamentales que tengan similares necesidades de agua, esto permitirá sectorizar el riego, regar al mismo tiempo y facilita la automatización.

#### **5.5.6. El momento de riego**

El sexto aspecto a considerar está referido al momento del riego, este debe ser efectuado al atardecer o durante la noche, de esta manera se evitará pérdidas de agua por evaporación.

## CONCLUSIONES

### Primera

Para maximizar la demanda anual de agua en el cultivo del césped, se debe considerar un valor de  $K_c=1,02$  y una eficiencia del sistema de riego por goteo en el orden del  $E_r=84,93\%$ , que representa especies de mayor consumo de agua y una baja eficiencia de riego, resultando estadísticamente  $=2,49 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-anual}$ .

### Segunda

Para optimizar la demanda anual de agua de riego en el cultivo del césped se debe considerar un coeficiente de cultivo de  $K_c=0,88$  que representa especies de césped que requieren poco agua y que son resistentes a la sequia, y para el sistema de riego por goteo se debe considerar una eficiencia del  $97,07\%$ ; estos valores al ser corridos en los procesos de cálculo para determinar la demanda anual de agua en el césped, resulta  $1,84 \text{ m}^3/\text{m}^2$ , quedando por debajo del valor estadístico, logrando el ahorro de agua.

### **Tercera**

La densidad o marco de plantación en las flores, no influye en la demanda de agua, debido a que se le proporciona el agua necesaria a las plantas para que mantenga la supervivencia de su estado vegetativo, por que el principal objetivo en jardinería no es producir algún productos derivado de las flores (bulbos, semillas, rizomas, flores, varas, etc.), como es el caso de los cultivos que se desarrollan en el agro, sino su supervivencia de la vegetación y su mantenimiento adecuado.

### **Cuarta**

Para maximizar la demanda anual de agua, en el cultivo de las flores estadísticamente resulta un marco de plantación de 35 cm, entre planta y de 35 cm, entre filas de plantas, que representa 8 plantas por m<sup>2</sup>; y una eficiencia del sistema de riego por goteo en el orden del 84,26%, resultando un valor estadístico=1,94 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>-anual.

### **Quinta**

Para optimizar la demanda anual de agua de riego en el cultivo de las flores se debe considerar un marco de plantación de 35,00 cm, entre planta y de 35,00 cm, entre filas de plantas, que representa un marco de plantación intermedio entre los valores estadísticos bajos y altos del factor

de la densidad de plantación, y se debe considerar una eficiencia de riego por goteo del 95,74%, que representa alta eficiencia que debe alcanzar el sistema de riego; estos valores al ser corridos en los procesos de cálculo que determinan la demanda de agua en flores, esta resulta anualmente de  $1,70 \text{ m}^3/\text{m}^2$ , que representa el volumen de agua de riego que se debe aplicar para alcanzar un uso eficiente del agua.

### **Sexta**

Estadísticamente la cobertura vegetal en los arbustos y árboles, indica que el desarrollo de la cobertura vegetal influye positivamente en el aumento de la demanda de agua, de tal manera que al incrementar la cobertura vegetal hace incrementar la demanda de agua, existiendo una regresión lineal positiva entre ambas variables; en cambio cuando aumenta la eficiencia del sistema de riego disminuye la demanda de agua, existiendo entre ambas variables una regresión inversa.

### **Sétima**

Para maximizar la demanda anual de agua en los arbustos, estadísticamente resulta una cobertura vegetal de  $17,61 \text{ m}^2/\text{arbusto}$ , que representa un radio de cobertura vegetal de 2,37 m, un marco de plantación de 5,5 m, entre arbustos y de 5,5 m, entre fila de arbustos,

para una eficiencia del sistema de riego en el orden del  $E_r=84,26\%$ . Resultando un valor estadístico de consumo de agua anual= $26,01 \text{ m}^2/\text{arbusto}$ .

### **Octava**

Para optimizar la demanda anual de agua de riego en los arbustos, se debe considerar una cobertura vegetal de  $17,61 \text{ m}^2/\text{arbusto}$ , por ser el valor estadísticamente óptimo y considerar una eficiencia de riego por goteo de  $95,74\%$ , por constituir el valor mas alto estadísticamente; estos valores al ser corridos en los procesos de cálculo que determinan la demanda de agua en los arbustos, resulta una demanda anual de  $22,70 \text{ m}^3/\text{arbusto}$ ; que representa el volumen de agua de riego que se debe aplicar para alcanzar un uso eficiente del agua.

### **Novena**

Para maximizar la demanda anual en los árboles, estadísticamente resulta una cobertura vegetal de  $29,43 \text{ m}^2/\text{árbol}$ , que representa un radio de cobertura vegetal de  $3,06 \text{ m}$ , un marco de plantación de  $7 \text{ m}$ , entre arboles y de  $7 \text{ m}$ , entre filas de árboles, para una eficiencia del sistema de riego en el orden del  $84,26\%$ , resultando un valor estadístico de consumo anual de agua= $42,76 \text{ m}^3/\text{árbol}$ .

### **Decima**

Para optimizar la demanda anual de agua de riego en los árboles, se debe considerar una cobertura vegetal de 26,43 m<sup>2</sup>/árbol y considerar una eficiencia de riego por goteo de  $E_r=95,74\%$ , por constituir los valores más altos estadísticamente; estos valores al ser corridos en los procesos de cálculo que determinan la demanda de agua en los árboles, resulta una demanda anual de 34,93 m<sup>3</sup>/árbol, que representa el volumen de agua de riego que se debe aplicar para alcanzar un uso eficiente del agua.

### **Decima primera**

La eficiencia de riego por goteo influyen en la demanda de agua, debido a varios factores como son: las fallas en la fabricación del goteo, la distribución inadecuadas de los goteros en el campo, el mal uso del sistema de riego por el operador, el uso de ciclos y periodos de riego inadecuados, fugas de agua por rotura a nivel de líneas regadoras, etc.

### **Decima segunda**

Un jardín diseñado y mantenido con criterios de uso eficiente del agua, consume menos agua de riego en comparación con un jardín convencional, se evita en todo momento el despilfarro del recurso hídrico, que es escaso en zonas desérticas como es el caso de la costa tacneña.

### **Decima tercera**

Los jardines brindan un servicio ambiental a la comunidad, absorbiendo el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) procedentes del metabolismo, de la combustión de carbón y de los hidrocarburos, para fotosintetizar carbohidratos proporcionando oxígeno, que es fundamental para la vida de los seres humanos.

### **Decima cuarta**

El uso eficiente del agua de riego en jardinería está relacionado a los siguientes aspectos: empleo de especies ornamentales que consuman menos agua, al uso de sistema del riego por goteo que brinden alta eficiencia de riego, aplicar al suelo el agua necesaria que cubra la demanda de agua de las especies ornamentales, la formación de sectores de plantas ornamentales que tengan similares requerimiento de agua, esto permitirá regar al mismo tiempo en forma oportuna sin que ocurra desperdicios y deberá regarse por el atardecer o la noche para evitar perdidas de agua por evaporación.

## RECOMENDACIONES

### Primera

Para el cultivo del césped, en verano se debe regar diariamente, en otoño de 1 a 2 días, en invierno de 2 a 3 días y en primavera diariamente; en cambio para el cultivo de las flores en verano y primavera se debe regar en forma fraccionada, y en otoño e invierno se debe regar diariamente, de esta manera se evitará que se desperdicie el agua de riego.

### Segunda

Dejar el césped algo más largo de lo normal en épocas de máximas temperaturas, esto contribuye a que la superficie del suelo se encuentre algo más sombreada y se mantenga la humedad más tiempo.

### Tercera

Con los valores encontrados para optimizar la demanda de agua de riego para el cultivo del césped ( $K_c=0,88$  y  $E_r=97,07$ ), estos deberán ser empleados para plantear el diseño hidráulico del sistema de riego por goteo.

#### **Cuarta**

Al diseñar nuevos jardines y en los actuales, se debe reducir el área de cultivo del césped, por que constituye el mayor consumidor de agua, y utilizar mezclas de césped de bajo consumo de agua y que resistan a la sequia.

#### **Quinta**

Se debe emplear plantas ornamentales que consuman menos agua, con preferencia especies autóctonos del lugar, que están adaptadas al clima y agua del lugar, a la escasez de agua durante largos periodos de tiempo, tienen utilidad en una jardinería con poco consumo de agua.

#### **Sexta**

Se debe podar anualmente a los arbustos y árboles en su estado adulto, para mantener las coberturas vegetales dentro de los valores adecuados ( $17,61 \text{ m}^2/\text{arbusto}$  y de  $26,43 \text{ m}^2/\text{árbol}$ ), que permita controlar el consumo de agua; de esta manera las raíces se desarrollarán mucho menos, logrando reducir el consumo de agua, optimizando la demanda de agua.

### **Sétima**

Para los arbustos y árboles, se debe regar según el ciclo de riego reajustado para evitar de esta manera que se desperdicie el agua de riego por percolación profunda que al arrastrar sales, originaría impacto ambiental negativo a las estructuras colindantes a los jardines.

### **Octava**

Los jardines no deben estar en contacto directo con los muros de las edificaciones, debiendo desarrollar los jardines a partir de 2 metros de los edificios, como mínimo, para prevenir el deterioro de las estructuras tanto subterráneas como de las partes bajas que se encuentran en contacto con el suelo.

### **Novena**

En todos los jardines, tanto los actuales como en los nuevos jardines a proyectarse, deberán ser regados empleando el sistema riego localizado de alta frecuencia por goteo, por ser el más eficiente que otros sistemas de riego y que adapta fácilmente al uso de programadores de riego y para alcanzar altas eficiencias de riego por goteo, este debe ser utilizado en forma subterránea para disminuir las pérdidas de agua por evaporación.

### **Decima**

Necesariamente se debe regar todos los jardines mediante el empleo de programadores de riego con varios sectores y múltiples opciones de programación, que permita ahorrar tiempo en el riego, evitar desperdicios de agua y proporcionar láminas de agua adecuadas al suelo en forma oportuna; de esta forma se cubre las necesidades hídricas de las plantas, evitando las pérdidas de agua por percolación profunda y por escorrentía superficial. En este sentido el riego automático nos permite gestionar de forma más eficiente el uso del agua en los jardines de la ciudad universitaria.

### **Decima primera**

Se debe emplear paneles solares que han de proporcionar energía eléctrica continua para el funcionamiento de los programadores de riego, de esta manera se evitara el empleo de electricidad, que proviene de la quema de combustibles fósiles que contaminan el medio ambiente.

### **Decima segunda**

Todos los suelos en donde se han formado los jardines son de textura franco arenosa, presentan poca retención de agua en el suelo, es por esto que se deberá regar frecuentemente en tiempos cortos, que permitiría que

el agua que quede en la zona de las raíces; esta forma de aplicación del agua es fácilmente realizable mediante el empleo de programadores de riego para jardines.

#### **Decima tercera**

El personal que trabaja en jardinería debe ser entrenado en la operación y mantenimiento de los sistemas de riego por goteo así como en el manejo de los programadores de riego para evitar el mal uso y el deterioro de los equipos.

#### **Decima cuarta**

Cada grupo de plantas ornamentales (césped, flores, arbustos y árboles) serán sectorizados en forma independiente; para ello cada sector tendrá su propia instalación del sistema de riego por goteo, para proporcionar el agua que necesiten, debido a que demandan diferentes volúmenes de agua durante sus periodos vegetativos y poseen diferentes ciclos de riego.

#### **Decima quinta**

Evitar regar en horas de mucho calor para reducir las pérdidas de agua por evaporación, es aconsejable regar por la noche, a primera hora

de la mañana o a última de la tarde, de esta forma se logrará aumentar la eficiencia del riego.

### **Decima sexta**

La Universidad deberá desarrollar un proyecto integral que contemple el planeamiento físico del desarrollo de los jardines en forma definitiva de toda la ciudad universitaria sede “Los Granados”, cuya fuente de agua para el riego estará constituido por el agua que proporciona el pozo subterráneo IRHS-179, para evitar el uso de agua potable, aplicando el criterio del uso eficiente del agua de riego, que conlleva a la optimización del uso del agua y por lo tanto a un ahorro real de la misma.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Albert, V. (2008). *Manual técnico de jardinería. II Mantenimiento*. Ediciones Mundo-Prensa, 2º ed. 2008. 338 p. Madrid.

Antúñez, B., Mora, L. & Felmer, E. (2010). *Región de O'higgins: Eficiencia en sistemas de riego por goteo en el secano*. INIA Tierra Adentro.

Arteaga, R. (2011). *Programa Cropwat para planeación y manejo del recurso hídrico*. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 2(2), 2011 Editorial Red Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Aranda, C. J. (2012). *Uso Eficiente del Agua*. Obtenido de <http://www.itescham.com/Syllabus/Doctos/r1338.PDF>.

Avidan, A. (1994). *Determinación del régimen de riego de los cultivos*. Ministerio de Agricultura. Fascículo 1: Factores que influyen sobre el régimen de riego. Estado de Israel. (pp. 51, 52).

Baumann, D. D., Boland, J. J. & Sims, J. H. (1980). *"The Problem of Defining Water Conservation"*. The Cornett Papers. University of Victoria B.C., pp. 125-134.

Barreto, C. (2010). *Riego solar eólico por goteo de bajo costo para pequeños agricultores*. Universidad de Massachusetts Lowell. Programa de Ingeniería Solar. Recuperado de [http://perusolar.org/17spes-ponencias/06eolicas/barretocajinacarolinaM\\_Barreto\\_Cajina\\_Carolina\\_M.pdf](http://perusolar.org/17spes-ponencias/06eolicas/barretocajinacarolinaM_Barreto_Cajina_Carolina_M.pdf)

Benites, C. (2001). *Sistemas hidráulicos de riego-diseño y construcción*. (p. 111, 195). Editorial UNSA-Arequipa.

Chavarri, V. E. (2008). *Evapotranspiración*. UNALAM-FIA. Recuperado de <http://www.Tarwila.molina.edu.pe/Echarri/clase/VII-Evapotranspiracion-def.pdf>.

Chipana, M. (1995). *Estudio agrologico CEA III "Los Pichones"*. Tesis, (pp. 60-65) FACG. UNJBG. Tacna. Perú.

Canahua, L. (2011). *Diseños experimentales en medio ambiente*. Editorial Universitaria. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna Perú.

C.I.D.I.A.T. (2000). *Manual de riego por aspersión*. Centro Internacional de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial. Serie: Riego y Drenaje Apartado 15, Merida-Venezuela. pp. 16.

Cultura Agraria. (2008). Obtenido de <http://culturaagraria.blogspot.com/2012/03/grama-comun-o-bermuda-cynodon-dactylon.html>

Díaz, V., Pérez, D., López, G., Partidas, R., & Suarez, Y. (2008). *Manejo sostenible del agua en zonas semiáridas: evaluación de dos técnicas de riego y fertilización nitrogenada en Sinaloa, México*. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, año/vo. 17, N° 001 Universidad Agraria de la Habana. La Habana, Cuba. pp. 53- 56.

DIGESA. (2011). *Programa de vigilancia del agua*. (PVICA – DESA). Laboratorio de Control Ambiental. Ensayo N° 0048. Dirección General de Saneamiento Ambiental. Lima.

Doorenbos, J. & Pruitt, W. O. (1975). *Las necesidades de agua de los cultivos*. FAO- Riego y Drenaje. Publicación # 24 Roma. Italia.

Esquivel, V., Arévalo, M., & Padilla, R. (2000). *Uso eficiente del agua de riego en la producción de Rye Grass anual*. Centro de Investigación Regional Norte Centro. Campo Experimental Pabellón. Folleto Científico N°08, julio del 2000. Aguascalientes-Zacatecas. México. Recuperado de [http://www.inifapaguascalientes.gob.mx/-publicaciones %20CEPAB%20PDFFolletos%20Cien%20Cient%C3%ADficos\\_Folleto%20cientifico%208%20uso%20Eficiente.pdf](http://www.inifapaguascalientes.gob.mx/-publicaciones%20CEPAB%20PDFFolletos%20Cien%20Cient%C3%ADficos_Folleto%20cientifico%208%20uso%20Eficiente.pdf)

FAO. (2000). Manual 56. *Evapotranspiración del cultivo: Gias para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*, (p.12 26, 28, 22, 24, 89, 90, 110,112).

Fuentes, Y. (2003). *Técnicas de Riego*. Coedición Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 4º Edición Ediciones Mundi-Prensa. Madrid (ps.482).

García, M. (2011). *Análisis crítico del riego por gravedad en las condiciones del Uruguay*. Unidad de Hidrología, Departamento de

de Suelos y Aguas, Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Avenida. E. Garzón 780, 12900 Montevideo, Uruguay. Agrocienza Uruguay v.15 n.2 Montevideo dic. 2011.

Godoy, A., Pérez, G., Torres, E., Hermosillo, L., & Reyes, J. (2003). *Uso de agua, producción de forraje y relaciones hídricas en alfalfa riego por goteo subsuperficial*. Agrocienza, marzo-abril, año/co. 37, número 002. Colegio de Postgraduados. Texcoco, México pp.107, 115.

Gómez, E. & Pujol, D. (2003). *Modelos urbanos y consumo de agua. El riego de jardines privados en la región metropolitana de Barcelona*. Investigaciones Geográficas (Esp), núm. 32,2003, pp. pp. 5-17 Universidad de Alicante. España.

Hernández, L. A. et. al (2007). *El césped, un producto basado en el conocimiento*. Pastos y Forrajes, vol.30, suppl.5, p.1-1. ISSN 0864-0394.

Heras, F. (2007). *Jardinería con menos agua*. CENEAM. Centro Nacional de Educación Ambiental. España. Recuperado de <http://www.mma>.

es/ceceam

Infojardín. (2012). *Diseño del jardín: Clima y suelo*. Recuperado de <http://articulos.infojardin.com/articulos/disenio-jardin-clima-suelo.htm>

Infojardín. (2012). *Diseñando con plantas (I)*. Recuperado de <http://articulos.infojardin.com/articulos/diseño-arboles-arbustos-setos-rosas.htm>

Infojardín. (2012). *Diseñando con plantas y flores (II)*. Recuperado de <http://articulos.infojardin.com/articulos/diseño-aromáticas-flores-cesped.htm>

Infojardín. (2012). *Riego del césped*. Recuperado de [http://articulos.infojardin.com/césped/cuando\\_regar\\_el\\_cesped.htm](http://articulos.infojardin.com/césped/cuando_regar_el_cesped.htm)

Infojardín. (2010). *Bermuda*. Obtenido de <http://fichas.infojardín.com/cesped/cynodon-dactylon-bermuda-grama-fina-gramilla-pasto-bermuda.htm>

Infojardín. (2010). *Ray grass*. Recuperado de <http://fichas.infojardin.com/césped/lolium-perenne-ray-grass-perenne-raygrass-ingles-ballico-aba.htm>

Infojardín. (2009). *Gramma dulce*. Obtenida de <http://fichas.infojardin.com/césped/stenotaphrum-secundatum-gramon-laston-gramillon-gramma-catala.htm>

Liotta, M. & Sarasua, A. (2010). *Programación del riego en vid para variedades de mesa y pasa con riego presurizado*. INTA. Estación Experimental Agropecuaria San Juan. Calle 11 y Vidart-Villa Aberastain. Pocito (5427). San Juan. Argentina.

Lutenberg, O. (2012). *El uso del riego por goteo subterráneo (RGS) en césped*. Agrónomo de Marketing Corporativo Netafim Ltd. X Congreso de la Asociación de Profesionales de Espacios Verdes de Cataluña. Recuperado de <http://www.interempresas.net/jardineria/articulos/32757-El-uso-del-riego-porgoteosubterraneo-en-cesped.html>

Martínez, R., Melgarejo, P., Salazar D. & Valero (2003). *Contribución al*

*estudio comparativo entre la eficiencia del riego por goteo y la microaspersión en el aguacatero (Persea Americana Mill) con relación al área mojada en saturación del suelo.* Dept. Producción Vegetal y Microbiología. Universidad Miguel Hernández de Elche. 03312 Orihuela Alicante. España. Dept. Producción Vegetal. Universidad Politécnica de Valencia. 46022. Valencia.

Medina, J. (1985). *Riego por Goteo.* (p. 15, 78). 2º Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.

Ministerio de Agricultura. (1972). *Estudio agroecológico detallado del valle de Tacna y pampas de la Yarada.* Dirección General de Aguas e Irrigación. Tacna-Perú.

Miler, J. & Díaz, A. (2000). *Guía ambiental para la floricultura.* Ministerio del Medio Ambiente Asocolflores. Sociedad de Agricultura de Colombia (ps. 124).

Mojica, I. (1974). *Efectos de la eliminación de la cobertura vegetal y el consumo de agua.* Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. CATIE. Turrialba. Costa Rica.

Moshe, S. (2008). *El riego por goteo*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural-Centro de Cooperación Internacional para el Desarrollo Agrícola. Estado de Israel. Primera edición en español. (p. 90).

Muncharaz, P. (2002). *Uso eficiente del agua en jardinería*. Departamento de Ingeniería Mecánica y Construcción. Universidad Jaume I de Castellon. España.

Navarro, C. S., Marín L., Castillo G. & González, G. (2000). *Eficiencias de aplicación en parcelas con sistemas de riego por gravedad a partir de datos obtenidos en campo*. Recuperado de <http://www.Center.es/repository/downloads/d11.pdf>

Pizarro, F. (1990). *Riegos localizados de alta frecuencia* (p. 21,33,35,68), 2º edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.

Rosell, C. (1992-1993). *Irrigación*. (p. 17). Colegio de Ingenieros del Perú. Libro 14 Primera Edición. Lima. Perú.

Rodríguez, M., Ávila, R., Murillo, Y., Plaza, R., Navas, A. & Gómez, R. (2000). *Manual de riego de jardines*. Junta de Andalucía.

Consejería de Agricultura y Pesca. Dirección General de Investigación y Formación Agraria y Pesquería. (320 p.). España.

Sánchez de Lorenzo & Cáceres, M. (2007). *Árboles y arbustos de bajo consumo en agua: un mundo de posibilidades. Seminario jardinería pública y sostenible*. Nuevos retos para el siglo XXI. Universidad Internacional Menéndez Pelayo. Cuenca.

SAGARPA. (2010). *Estimación de las demandas de consumo de agua*. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación. Colegio de Postgrados Campus Montecillo, México.

Soil Survey Division Staff. (1993). *Soil survey manual*. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 18.

Tate, D. (2012). "Principios del uso eficiente del agua". Recuperado de <http://cidbimena.desastres.hn/filemgmt/files/principioagua.pdf>

Troyo-Dieguez, E. (2011). *Diagnóstico y manejo ambiental del agua y suelo*. Tropical and Subtropical Agroecosystems, vol. 13, núm. 2, 2011, p. V Universidad Autónoma de Yucatán, México.

Vásquez, V. & Chang, N. L. (1988). *Principios básicos del riego*. (p. 17, 18,114,115) CONCYTEC, IRRICENT. Universidad Nacional Agraria “La Molina”. Perú.

Valenzuela, A. (1997). *Estudio comparativo de eficiencia de riego en California (USA) y valle central de Chile*. Departamento de Riego y Drenaje Facultad Ingeniería Agrícola Universidad de Concepción. Agro sur v.25 n.2 Valdivia dic. 1997.

Zabaleta, A. (1972). *Edafología*. (p.120). Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología”. Lima. Perú.



## **ANEXOS**

**ANEXO “A”: ANÁLISIS DE SUELOS**

**ANEXO “B”: PROCESOS DE CÁLCULO**

**ANEXO “C”: FOTOS SOBRE MEDICIÓN DE LA COBERTURA  
VEGETAL Y PROFUNDIDAD DE LAS RAÍCES**

## ANEXO "A": ANÁLISIS DE SUELOS

	<b>CLAB.FM01.PT.IEN.08-1</b>	
<b>INFORME DE ENSAYO N° 085-12</b>		
Fecha de aprobación: 30/08/08	Edición: 01      Versión: 01	Páginas: 1 de 1

Empresa o Institución: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.  
 Solicitado por: Luis Sabino Linares Tejada  
 Dirección del cliente: Urb. Los Nardos Mz. 83 Lte.18

Producto descrito como: Suelo	Cantidad de muestra: 01
Procedencia: Jardines de la Ciudad Universitaria SEDE "LOS GRANADOS"	Código de la muestra: CLAB.M.74
Observaciones Recep: En bolsa de plástico	Fecha de Recepción: 15/10/2012 Fecha de Ensayo: 16-22/10/2012 Fecha de Emisión: 22/10/2012

### Resultados de los Análisis de Suelo:

Ensayo	Método	Resultado	Unidades
Determinación de pH	Potenciométrico	6.78	-
Determinación de Conductividad	Conductimétrico	0.96	uS/cm
Determinación Textura (Arena Franca)	Hidrómetro de Bouyucos	79.84	% Arena
		14.00	% Limo
		6.16	% Arcilla

### Observaciones:

- EL LABORATORIO NO REALIZÓ EL MUESTREO DEL PRODUCTO, LA MUESTRA FUE ENTREGADA POR LA EMPRESA O INSTITUCIÓN SOLICITANTE.
- Las muestras no sujetas a dirimencias por ser muestras únicas.
- Los resultados se relacionan únicamente a los objetos ensayados.
- El nombre del producto es declarado por el solicitante.

  
  
 Ing. Leslie Garcés Gutiérrez  
 Responsable del CITELAB

Los ensayos han sido realizados en el Laboratorio del Módulo de Servicios Tacna CITELAB  
 Panamericana Sur km 1303 Ciudadela Zofra Tacna  
 Teléfono: 052-317090 anexo 2143 Fax: 052 - 317000 Pagina Web: citeagroindustrial.com



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



## INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN SUELO

SOLICITANTE : LUIS SABINO LINARES TEJADA  
PROCEDENCIA : TACNA  
REFERENCIA : H.R. 38619  
BOLETA : 9559  
FECHA : 10/01/2013

Número Muestra		C.C.	P.M.	D.A.
Lab	Claves	%	%	g/cm <sup>3</sup>
6208	Muestra 2	15.76	8.32	1.46



Ing. Braulio La Torre Martínez  
Jefe del Laboratorio

## ANEXO "B": PROCESOS DE CÁLCULO

**Tabla anexo "B"-1**  
**Procesos de cálculo para determinar la demanda de agua para césped por m<sup>2</sup>**

Cultivo: césped	CC: 15,76	Estación MAP. Jorge Basadre Grohmann
Sistema de riego: goteo	PMP: 8,32	Latitud: 18° 01' 3"
Eficiencia de riego: 0,97	Da: 1,48 gr/cm <sup>3</sup>	Longitud: 70° 15' 2,4"
Área de riego: 1 m <sup>2</sup>	n: 0,4	Altitud: 560 m.s.n.m.
Incremento lámina de riego por sales: 18,30%		

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
CROPWAT V-8 en mm/d	5,09	5,64	4,74	3,80	2,90	2,36	2,26	2,57	3,13	3,87	4,48	4,79
Kc	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
ETc=Kc x ETo en mm/d	4,48	4,96	4,17	3,34	2,55	2,08	1,99	2,28	2,75	3,41	3,94	4,22
Eficiencia de Riego	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
Nn=Necesidad Neta en mm/d	5,38	5,96	5,01	4,01	3,06	2,49	2,39	2,71	3,31	4,09	4,73	5,06
Lámina Nn considerando sales en mm/d	6,58	7,29	6,13	4,91	3,75	3,05	2,92	3,32	4,05	5,00	5,79	6,19

Lámina por lavado de sales en mm/d	1,20	1,33	1,12	0,90	0,69	0,56	0,53	0,61	0,74	0,92	1,06	1,13
NT=Necesidad Total en mm/d	6,78	7,52	6,32	5,06	3,86	3,14	3,01	3,42	4,17	5,16	5,97	6,38
Profundidad de raíces en cm	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
L=Agua aprovechable por las plantas en mm	32,59	32,59	32,59	32,59	32,59	32,59	32,59	32,59	32,59	32,59	32,59	32,59
LRN=Lámina de Riego Neta (suelo) en mm	13,03	13,03	13,03	13,03	13,03	13,03	13,03	13,03	13,03	13,03	13,03	13,03
CRC=Ciclo de Riego calculado en d	7,28	6,57	7,81	9,14	12,77	15,69	16,39	14,41	11,83	9,57	8,27	7,73
CRR=Ciclo de Riego redondeado en d	1	1	1	1	2	3	3	2	2	1	1	1
LRB=Lámina de Riego Bruta (planta) en mm	6,78	7,52	6,32	5,06	7,73	9,43	9,03	6,85	8,34	5,16	5,97	6,38
DMA=Demanda de agua en m <sup>3</sup> /mes-área de riego	0,21	0,,21	0,20	0,15	0,12	0,09	0,09	0,11	0,13	0,16	0,18	0,20
Requerimiento de agua por área en L/d	6,78	7,52	6,32	5,06	3,86	3,14	3,01	3,42	4,17	5,16	5,97	6,38

**Demanda anual = 1.84 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>**

**Tabla anexo “B”-2**

**Procesos de cálculo para determinar la demanda de agua para flores por m<sup>2</sup>**

Cultivo: flores	Distancia entre plantas: 0,35 m	CC: 15,76	Estación MAP. Jorge Basadre Grohmann
Sistema de riego: goteo	Distancia entre filas plantas: 0,35 m	PMP: 8,32	Latitud: 18° 01' 3”
Eficiencia de riego: 0.96	Número de plantas por fila: 2,86	Da: 1,48 gr/cm <sup>3</sup>	Longitud: 70° 15' 2.4”
Área de riego: 1 m <sup>2</sup>	Número de fila de plantas: 2,86	n: 0,2	Altitud: 560 m.s.n.m.
Incremento lámina de riego por sales: 18,30%	Número de plantas x m <sup>2</sup> : 8,2		
	Marco de plantación: 0,1225 m <sup>2</sup>		

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
CROPWAT V-8 en mm/d	5,09	5,64	4,74	3,80	2,90	2,36	2,26	2,57	3,13	3,87	4,48	4,79
Kc	0,64	0,86	0,79	0,72	0,87	0,80	0,74	0,81	0,80	0,83	0,97	0,79
ETc=Kc x ETo en mm/d	3,26	4,85	3,74	2,74	2,52	1,89	1,67	2,08	2,50	3,21	4,35	3,78
Eficiencia de Riego	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
Nn=Necesidad Neta en mm/d	3,91	5,82	4,49	3,28	3,03	2,27	2,01	2,50	3,00	3,85	5,21	4,54
Lámina Nn considerando sales en mm/d	4,78	7,12	5,50	4,02	3,71	2,77	2,46	3,06	3,68	4,72	6,38	5,56

Lámina por lavado de sales en mm/d	0,88	1,30	1,01	0,74	0,68	0,51	0,45	0,56	0,67	0,86	1,17	1,02
NT=Necesidad Total en mm/d	5,00	7,44	5,74	4,20	3,87	2,90	2,57	3,19	3,84	4,93	6,67	5,81
Profundidad de raíces en cm	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
L=Agua aprovechable por las plantas en mm	27,54	27,54	27,54	27,54	27,54	27,54	27,54	27,54	27,54	27,54	27,54	27,54
LRN=Lámina de Riego Neta (suelo) en mm	5,51	5,51	5,51	5,51	5,51	5,51	5,51	5,51	5,51	5,51	5,51	5,51
CRC=Ciclo de Riego calculado en d	8,45	5,68	7,35	10,06	10,91	14,58	16,46	13,23	11,00	8,57	6,34	7,28
CRR=Ciclo de Riego redondeado en d	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1	1	0,5	0,5	0,5
LRB=Lamina de Riego Bruta (planta) en mm	2,50	3,72	2,87	4,20	3,87	2,90	2,57	3,19	3,84	2,46	3,33	2,90
DMA=Demanda de agua en m <sup>3</sup> /mes-área de riego	0,15	0,21	0,18	0,13	0,12	0,09	0,80	0,10	0,12	0,15	0,20	0,18
Requerimiento de agua por planta en L/d-planta	0,61	0,91	0,70	0,51	0,47	0,35	0,31	0,39	0,47	0,60	0,82	0,71

**Demanda anual = 1.70 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>**

**Tabla anexo “B”-3**

**Procesos de cálculo para determinar la demanda de agua para arbustos por cobertura vegetal**

Cultivo: arbustos	Radio de cobertura vegetal copa: 2,37 m	CC: 15,76	Estación MAP. Jorge Basadre Grohmann
Sistema de riego: goteo	Área de cobertura/planta: 17,61 m <sup>2</sup>	PMP: 8,32	Latitud: 18° 01' 3"
Eficiencia de riego: 0.96	Área ocupada por planta con f: 23,77 m <sup>2</sup>	Da: 1,48 gr/cm <sup>3</sup>	Longitud: 70° 15' 2.4"
Nº de arbustos: 1	Radio ocupado/planta: 2,75 m	n: 0,4	Altitud: 560 m.s.n.m.
Distancia entre plantas: 5,5 m	Fracción área sombreada A: 0,58		
Distancia entre filas: 5,5 m	F=Factor de corrección de A: 0,79		
Incremento lámina de riego por sales: 18,30%	Marco de plantación: 30,25 m <sup>2</sup>		

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
CROPWAT V-8 en mm/d	5,09	5,64	4,74	3,80	2,90	2,36	2,26	2,57	3,13	3,87	4,48	4,79
Kc	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
ETc=Kc x ETo en mm/d	2,55	2,82	2,37	1,90	1,45	1,18	1,13	1,29	1,57	1,94	2,24	2,40
Eficiencia de Riego	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
Nn=Necesidad Neta en mm/d	2,18	2,39	2,01	1,61	1,23	1,00	0,96	1,09	1,33	1,64	1,90	2,03
Lámina Nn - sales en mm/d	2,64	2,93	2,46	1,97	1,51	1,23	1,17	1,33	1,63	2,01	2,33	2,49
Lámina por lavado de sales en mm/d	0.48	0,54	0,45	0,36	0,28	0,22	0,21	0,24	0,30	0,37	0,43	0,46

NT=Necesidad Total en mm/d	2,76	3,06	2,57	2,06	1,57	1,28	1,23	1,39	1,70	2,10	2,43	2,60
Profundidad de raíces en cm	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
L=Agua aprovechable por las plantas en mm	76,04	76,04	76,04	76,04	76,04	76,04	76,04	76,04	76,04	76,04	76,04	76,04
LRN=Lámina de Riego Neta (suelo) en mm	30,41	30,41	30,41	30,41	30,41	30,41	30,41	30,41	30,41	30,41	30,41	30,41
CRC=Ciclo de Riego calculado en d	29,88	26,96	32,08	40,02	52,44	64,44	67,29	59,17	48,59	39,30	33,95	31,75
CRR=Ciclo de Riego redondeado en d	9	8	10	12	16	20	21	19	15	12	11	10
LRB=Lámina de Riego Bruta (planta) en mm	24,85	24,47	25,71	24,73	25,17	25,60	25,74	26,48	25,47	25,19	26,73	25,98
DMA=Demanda de agua en m <sup>3</sup> /mes-arbusto	2,59	2,59	2,41	1,87	1,48	1,16	1,15	1,31	1,54	1,97	2,21	2,44
Nº de Riegos/mes	3,44	3,50	3,10	2,50	1,94	1,50	1,48	1,63	2,00	2,58	2,73	3,10
Nº de Riegos/mes ajustado	10	14	15	10	10	8	3	3	10	6	6	7
Volumen de agua aplicar por ciclo de riego en litros	258,89	185,07	160,72	187,04	147,50	154,88	383,16	435,72	154,06	328,06	367,52	348,04
Requerimiento de agua por arbusto en L/d	83,51	92,54	77,77	62,35	47,58	38,72	37,08	42,17	51,35	63,50	73,50	78,59

**Demanda anual = 22,70 m<sup>3</sup>/arbusto**

**Tabla anexo “B”-4**

**Procesos de cálculo para determinar la demanda de agua para árboles por cobertura vegetal**

Cultivo: árboles	Radio de cobertura vegetal copa: 2,90 m	CC: 15,76	Estación MAP. Jorge Basadre Grohmann
Sistema de riego: goteo	Área de cobertura/planta: 26,42 m <sup>2</sup>	PMP: 8,32	Latitud: 18° 01' 3”
Eficiencia de riego: 0.96	Área ocupada por planta con F: 36,56 m <sup>2</sup>	Da: 1,48 gr/cm <sup>3</sup>	Longitud: 70° 15' 2.4”
Nº de árboles: 1	Radio ocupado/planta: 3,41 m	n: 0,4	Altitud: 560 m.s.n.m.
Distancia entre plantas: 7 m	Fracción área sombreada A: 0,54		
Distancia entre filas: 7 m	F=Factor de corrección de A: 0,75		
Incremento lámina de riego por sales: 18,30%	Marco de plantación: 49 m <sup>2</sup>		

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
CROPWAT V-8 en mm/d	5,09	5,64	4,74	3,80	2,90	2,36	2,26	2,57	3,13	3,87	4,48	4,79
Kc	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
ETc=Kc x ETo en mm/d	2,55	2,82	2,37	1,90	1,45	1,18	1,13	1,29	1,57	1,94	2,24	2,40
Eficiencia de Riego	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
Nn=Necesidad Neta en mm/d	2,05	2,27	1,91	1,53	1,17	0,95	0,91	1,04	1,26	1,56	1,80	1,93
Lámina Nn-sales en mm/d	2,51	2,78	2,34	1,87	1,43	1,16	1,11	1,27	1,54	1,91	2,21	2,36
Lámina por lavado de sales en mm/d	0,46	0,51	0,43	0,34	0,26	0,21	0,20	0,23	0,28	0,35	0,40	0,43

NT=Necesidad Total en mm/d	2,62	2,90	2,44	1,96	1,49	1,22	1,16	1,32	1,61	1,99	2,31	2,47
Profundidad de raíces en cm	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
L=Agua aprovechable por las plantas en mm	108,62	108,62	108,62	108,62	108,62	108,62	108,62	108,62	108,62	108,62	108,62	108,62
LRN=Lámina de Riego Neta (suelo) en mm	43,45	43,45	43,45	43,45	43,45	43,45	43,45	43,45	43,45	43,45	43,45	43,45
CRC=Ciclo de Riego calculado en d	42,68	38,52	45,83	57,17	74,91	92,05	96,13	84,53	69,41	56,14	48,49	45,35
CRR=Ciclo de Riego redondeado en d	13	12	14	18	23	29	30	26	22	17	15	14
LRB=Lámina de Riego Bruta (planta) en mm	34,08	34,86	34,18	35,23	34,35	35,25	34,92	34,42	35,47	33,89	34,61	34,54
DMA=Demanda de agua en m <sup>3</sup> /mes-árbol	3,98	3,99	3,71	2,88	2,27	1,79	1,77	2,01	2,37	3,03	3,39	3,75
Nº de Riegos/mes	2,38	2,33	2,21	1,67	1,35	1,03	1,03	1,19	1,36	1,82	2,00	2,21
Nº de Riegos/mes ajustado	4	4	4	3	2	2	2	2	2	3	4	4
Volumen de agua aplicar por ciclo de riego en litros	995,57	996,39	927,11	959,04	1134,44	893,42	884,08	1005,35	1184,91	1009,26	847,99	936,69
Requerimiento de agua por árbol en L/d	128,46	142,34	119,63	95,90	73,19	59,56	57,04	64,86	78,99	97,67	113,07	120,89

**Demanda anual = 34,93 m<sup>3</sup>/árbol**

**ANEXO "C" FOTOS SOBRE LA MEDICION DE LA COBERTURA VEGETAL Y PROFUNDIDAD DE LAS RAÍCES**



**GRASS AMERICANO**



**GRAMA CHINA**



**CUCARDA**



**ROSA LAUREL**



**FICUS**



**MOLLE**



**TULIPAN AFRICANO**



**VILCA**



**RAICES EN FLORES**



**RAICES EN CESPED**



**RAICES EN ARBUSTO**



**RAICES EN ARBOL**