

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
VICERRECTORÍA DE DOCENCIA  
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



Informe de Trabajo Final de Graduación presentado a la  
Escuela de Ingeniería Agrícola como requisito parcial para  
optar al grado de Licenciado en Ingeniería Agrícola

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE  
AGUAS RESIDUALES TRATADAS, CON EL FIN DE CUBRIR LA NECESIDAD  
HÍDRICA DE LAS ZONAS VERDES DEL COMPLEJO HOTELERO HABITAS,  
CÓBANO, PUNTARENAS.

CARLOS OBANDO PACHECO

CARTAGO, 2021

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE  
AGUAS RESIDUALES TRATADAS, CON EL FIN DE CUBRIR LA NECESIDAD  
HÍDRICA DE LAS ZONAS VERDES DEL COMPLEJO HOTELERO HABITAS,  
CÓBANO, PUNTARENAS.

CARLOS OBANDO PACHECO

Informe de Trabajo Final de Graduación presentado a la  
Escuela de Ingeniería Agrícola como requisito parcial para  
optar al grado de Licenciado en Ingeniería Agrícola

---

Milton Solorzano Quintana

Asesor

---

Isabel Guzmán Arias

Directora Escuela  
Ingeniería Agrícola

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

CARTAGO, COSTA RICA

2021



## **DEDICATORIA**

Dedico esta meta cumplida a mi familia por el apoyo incondicional brindado, además por todos sus consejos que permitieron la culminación de este proyecto. Por ser el impulso extra que necesité en muchos momentos como estudiante, por enseñarme a perseverar y a confiar en mis capacidades como persona y profesional, por ser un pilar fundamental en mi toma de decisiones y por inculcarme que el esfuerzo es necesario para cumplir mis metas.

## AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a Dios por permitirme concluir una meta más como profesional y ser el guía de todas mis decisiones.

También agradezco al Gerente General Denis Charlebois y su padre Guy Charlebois, por abrirme las puertas y permitirme ser parte de esta gran Compañía Grupo MT, ya que, su mentalidad de crecimiento constante y competitividad en el mercado nacional hicieron posible la elaboración de este trabajo.

También agradezco por el asesoramiento, paciencia, tiempo y dedicación que me brindo el Profesor Milton Solorzano, el cual estuvo presente durante todo el desarrollo del trabajo, para que se cumpliera con cada uno de los objetivos de este proyecto.

Agradezco al lector Alonso Calderón por sus aportes, observaciones y el tiempo destinado para la revisión de este documento, además por ser pieza importante en mi crecimiento personal y profesional.

Finalmente agradezco a todas las personas que estuvieron cerca de mí, apoyándome durante la elaboración de este proyecto.

## INDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. OBJETIVOS .....	4
2.1    Objetivo general .....	5
2.2    Objetivos específicos .....	5
3. REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
3.1    Generalidades de las aguas residuales.....	7
3.1.1  Decretos e instituciones gubernamentales.....	7
3.1.2  Proceso de tratado de las aguas residuales .....	8
3.1.3  Principales desfuegos para agua tratada .....	9
3.1.4  Clasificación de los tipos de aguas para reúso .....	9
3.2    Generalidades del cultivo.....	10
3.2.1  Condiciones climáticas.....	11
3.2.2  Especies de pastos utilizados en Costa Rica.....	11
3.2.3  Fertilización.....	12
3.2.4  Evapotranspiración .....	12
3.2.5  Coeficiente de cultivo (Kc) .....	13
3.3    Generalidades del riego.....	14
3.3.1  Infiltración .....	14
3.3.2  Riego presurizado .....	15
3.3.2.1  Riego por goteo .....	15
3.3.2.2  Componentes del sistema de riego por goteo.....	16
4. METODOLOGÍA .....	23
4.1.1  Localización del proyecto.....	24

4.1.2	Trazo de tubería.....	24
4.2	Objetivo Específico 1: Diseño de dos sistemas de riego por goteo que garanticen el manejo óptimo de las aguas residuales.....	25
4.2.1	Selección de la manguera autocompensada y cinta de goteo .....	25
4.2.2	Diseño agronómico.....	26
4.2.3	Diseño hidráulico de sistema de riego con manguera autocompensada.....	29
4.2.3.1	Pérdidas por fricción en la tubería múltiple ( $H_{fm}$ ).....	29
4.2.3.2	Presión en la múltiple.....	31
4.2.3.3	Diámetro de la tubería principal ( $D$ ) .....	32
4.2.3.4	Pérdidas por fricción en la tubería principal ( $H_{fp}$ ).....	33
4.2.3.5	Elección de la bomba .....	33
4.2.3.6	Verificación del volumen total aplicado .....	34
4.2.4	Diseño hidráulico de sistema de riego con cinta de goteo.....	35
4.2.4.1	Pérdidas por fricción en el lateral ( $H_{fl}$ ).....	35
4.2.4.2	Pérdidas admisibles totales ( $P_{ad}$ ) .....	36
4.2.4.3	Pérdidas admisibles en la múltiple.....	36
4.2.4.4	Pérdidas por fricción en la múltiple ( $H_{fm}$ ).....	37
4.2.5	Automatización del sistema.....	38
4.2.5.1	Selección del control .....	38
4.3	Objetivo Específico 2: Evaluación de las aguas residuales tratadas como fuente de fertilización de las zonas verdes del complejo hotelero, para su nutrición. ....	38
4.3.1	Requerimientos nutricionales .....	38
4.3.2	Análisis de laboratorio obtenido de Planta de tratamiento de aguas residuales. ....	39
4.3.3	Concentración y Kilogramos de nutrientes aportados por las aguas residuales tratadas .....	39

4.3.4	Cantidad de días necesarios para suplir la necesidad nutricional del césped .....	40
4.4	Objetivo Específico 3: Análisis de las propuestas desde un punto de vista económico, ambiental y social para la posterior elección y aplicación de la más viable de acuerdo con las necesidades del cliente.....	40
4.4.1	Análisis de inversión .....	40
4.4.2	Análisis ambiental .....	41
4.4.3	Análisis social.....	41
5.	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	42
5.1	Evaluación de las condiciones .....	43
5.2	Objetivo Específico 1: Diseño de dos sistemas de riego por goteo que garanticen el manejo óptimo de las aguas residuales.....	45
5.2.1	Diseño con Manguera de goteo .....	45
5.2.1.1	Selección y distribución de la manguera de goteo .....	45
5.2.1.2	Trazo de tubería múltiple y distribución de válvulas .....	46
5.2.1.3	Trazo de tubería principal .....	52
5.2.1.4	Ciclo del sistema de riego .....	55
5.2.2	Diseño con Cinta de goteo.....	58
5.2.2.1	Selección y distribución de cinta de goteo .....	58
5.2.2.2	Pérdidas por fricción en el lateral ( <i>Hfl</i> ).....	59
5.2.2.3	Trazo de tubería múltiple y distribución de válvulas .....	59
5.2.2.4	Trazo de tubería principal .....	64
5.2.2.5	Ciclo del sistema de riego .....	67
5.2.3	Mantenimiento de los sistemas de riego.....	69
5.3	Objetivo Específico 2: Evaluación de las aguas residuales tratadas como fuente de fertilización de las zonas verdes del complejo hotelero, para su nutrición óptima. ....	71

5.3.1	Requerimientos nutricionales .....	71
5.3.2	Análisis de laboratorio obtenido de Planta de tratamiento de aguas residuales. ....	72
5.3.3	Concentración y Kilogramos de nutrientes aportados por las aguas residuales tratadas .....	73
5.3.4	Cantidad de días necesarios para suplir la necesidad nutricional del césped .....	74
5.4	Objetivo Específico 3: Análisis de las propuestas desde un punto de vista económico, ambiental y social para la posterior elección y aplicación de la más viable de acuerdo con las necesidades del cliente.....	75
5.4.1	Análisis de inversión .....	75
5.4.2	Análisis Ambiental .....	77
5.4.3	Análisis Social.....	77
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	80
6.1	Conclusiones .....	81
6.2	Recomendaciones.....	82
7.	BIBLIOGRAFIA.....	83
8.	ANEXOS.....	88

#### INDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Tasas Potenciales de Evapotranspiración para diferentes climas.....	13
Cuadro 2.	Coefficiente de rugosidad según el tipo de material de la tubería.....	19
Cuadro 3.	Datos de manguera y cinta de goteo seleccionadas. ....	26
Cuadro 4.	Generalidades del sistema de riego por goteo.....	27
Cuadro 5.	Calificación en función de la clasificación final del análisis de SETENA .....	41
Cuadro 6.	Características de la manguera seleccionada .....	45
Cuadro 7.	Pérdidas parciales en el múltiple mediante la combinación de diámetros. ....	48
Cuadro 8.	Pérdidas parciales del tramo dos, mediante la combinación de diámetros. ....	49



Cuadro 9. Pérdidas por fricción en el tramo uno, mediante la combinación de diámetros.....	49
Cuadro 10. Pérdidas por fricción en el tramo 2, mediante la combinación de diámetros.....	50
Cuadro 11. Pérdidas por fricción en la tubería múltiple de cada sector de riego.....	51
Cuadro 12. Presión en la entrada de la múltiple según la válvula escogida .....	51
Cuadro 13. Presión en la tubería múltiple de cada sector de riego. ....	52
Cuadro 14. Cálculos registrados para la tubería principal. ....	53
Cuadro 15. Verificación de volumen aplicado de agua tratada por día .....	55
Cuadro 16. Distribución del riego con manguera en los sectores.....	55
Cuadro 17. Ciclo del sistema de riego en horas con manguera de goteo.....	56
Cuadro 18. Características de la cinta de goteo seleccionadas. ....	58
Cuadro 19. Pérdidas por fricción en el lateral (Hfl).....	59
Cuadro 20. Pérdidas admisibles totales (Pad) y pérdidas admisibles en la múltiple (Hadm), registradas para los sectores de riego.....	60
Cuadro 21. Longitudes y pérdidas por fricción de cada tramo según el sector de riego. ....	61
Cuadro 22. Área de cada tramo y sus velocidades según los diámetros utilizados. ....	61
Cuadro 23. Presiones obtenidas en la tubería múltiple del diseño con cinta de goteo.....	62
Cuadro 24. Cálculos registrados para la tubería principal. ....	64
Cuadro 25. Verificación de volumen aplicado de agua tratada por día .....	67
Cuadro 26. Distribución del riego con cinta de goteo en los sectores. ....	67
Cuadro 27. Ciclo del sistema de riego con cinta de goteo en horas.....	68
Cuadro 28. Requerimientos nutricionales para zacate bermuda.....	71
Cuadro 29. Distribución de los nutrientes (Kg/ha) durante el ciclo anual del cultivo.....	72
Cuadro 30. Análisis de laboratorio de las aguas residuales que salen de una Planta de tratamiento. ....	73
Cuadro 31. Solubilidad y Kilogramos de nutrientes aportados diariamente por la Planta de tratamiento. ....	73
Cuadro 32. Cantidad de Kg de nutrientes necesarios y brindados por las aguas residuales tratadas y cantidad de días necesarios para cumplir con la nutrición del cultivo.....	74
Cuadro 33. Costo del sistema de riego con manguera autocompensada .....	75
Cuadro 34. Costo del sistema de riego con cinta de goteo. ....	76

Cuadro 35. Costos de los sistemas de riego por goteo para el proyecto Habitas, ubicado en Puntarenas. ....	76
Cuadro 36. Caudal de diseño para Planta de tratamiento. ....	78

## INDICE DE FIGURA

Figura 1. Tipos de electroválvulas. ....	21
Figura 2. Ubicación del sitio en estudio con coordenadas WGS84 (9,643600; -85,669368).....	24
Figura 3. Terreno donde se llevará a cabo el proyecto. ....	43
Figura 4. Distribución de los sectores de riego. ....	44
Figura 5. Distribución de tubería múltiple en diseño con manguera autocompensada .....	47
Figura 6. Distribución de tubería principal en diseño con manguera autocompensada.....	54
Figura 7. Diseño del sistema de riego por goteo utilizando manguera de autocompensada.....	57
Figura 8. Distribución de tubería múltiple en diseño con cinta de goteo. ....	63
Figura 9. Distribución tubería principal en diseño con cinta de goteo. ....	66
Figura 10. Diseño del sistema de riego por goteo utilizando cinta de goteo. ....	70

## RESUMEN

El proyecto se orientó en el diseño de dos propuestas para un sistema de riego por goteo en las zonas verdes del Hotel Habitas que se ubicará en Cóbano, Puntarenas con el fin de reutilizar las aguas residuales tratadas provenientes de la Planta de tratamiento que instalará la empresa Grupo MT. El área disponible para riego es de 5000 m<sup>2</sup> y para dicho diseño se consideró aspectos climáticos de la zona, ya que se debe suplir la pérdida por evapotranspiración diaria del césped. Para ambos diseños la distribución de la tubería principal y múltiple fue la misma, la variación entre los sistemas fue el uso de manguera de goteo autocompensada marca Metzerplast modelo Vered 16 mm en el diseño 1, mientras que en el diseño 2 se utilizó cinta de goteo marca Netafim modelo STREAMLINE PLUS TM 16060. Ambos diseños fueron pensados para ofrecer el mejor costo al cliente, además de brindar estabilidad hidráulica al sistema. Además, los diseños son automatizados, esto por solicitud del cliente. También se determinó que las aguas residuales tratadas cubren las necesidades nutricionales requeridas por el césped. Por durabilidad, mantenimiento y paisajismo la oferta del diseño 1 es la más viable para el cliente.

**Palabras clave:** Aguas residuales tratadas, diseño hidráulico, sistema de riego por goteo, fertirrigación.

## **ABSTRACT**

The project was oriented towards the design of two proposals for a drip irrigation system in the green areas of Hotel Habitas located in Cóbano, Puntarenas in order to reuse the treated wastewater from the treatment plant that the company MT Group will install. The area available for irrigation is 5000 m<sup>2</sup> and for this design climatic aspects of the area were considered, since the loss due to daily evapotranspiration of the grass must be replaced. For both designs, the distribution of the main and multiple pipes was the same, the variation between the systems was the use of a Metzerplast brand Vered 16 mm self-compensating drip hose in design 1, while in design 2 drip tape was used. Netafim brand, model STREAMLINE PLUS TM 16060. Both designs offer the best cost to the customer, in addition to providing hydraulic stability to the system. Both designs are automated, this at the request of the client. It was also determined that the treated wastewater covers the nutritional needs required by the lawn. Due to durability, maintenance and landscaping, the design 1 offer is the most viable for the client.

## **CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE TRABAJO DE GRADUACIÓN**

A las 7:30 horas del día 04 del mes de mayo del año 2022 el estudiante:

Carlos Alberto Obando Pacheco presenta y defiende, su trabajo de graduación titulado:

Diseño de un sistema de riego por goteo mediante la utilización de aguas residuales tratadas, con el fin de cubrir la necesidad hídrica de las zonas verdes del complejo hotelero Habitas, Cóbano, Puntarenas.

ante el Tribunal de Evaluación compuesto por los siguientes miembros:

Presidente (a): Laura Segura Serrano

Asesor (a) de la Escuela: Milton Solórzano Quintana

Asesor (a) Externo (a): Alonso Calderón Navarro

Firman conforme lo dispone el Reglamento de Trabajos Finales de Graduación:

LAURA PATRICIA Firmado digitalmente

SEGURA  
SERRANO por LAURA PATRICIA  
SEGURA SERRANO  
(FIRMA)

(FIRMA) Fecha: 2022.05.04  
08:55:20 -06'00'

PRESIDENTE (A)

Firmado digitalmente por

MILTON ULISES  
SOLORZANO MILTON ULISES SOLORZANO  
QUINTANA (FIRMA)

QUINTANA (FIRMA) -06'00'  
Fecha: 2022.05.04 08:51:57

ASESOR (A) DE LA ESCUELA

ALONSO ALBERTO  
CALDERÓN

Firmado digitalmente por ALONSO ALBERTO  
CALDERON NAVARRO (FIRMA)  
Nombre de reconocimiento (DN):  
serialNumber=CPF-03-0471-0969, sn=CALDERO

NAVARRO (FIRMA)

NAVARRO, givenName=ALONSO ALBERTO, c=CR,  
o=PERSONA FISICA, ou=CIUDADANO, cn=ALONSO  
ALBERTO CALDERON NAVARRO (FIRMA)  
Fecha: 2022.05.20 10:53:43 -06'00'

ASESOR (A) EXTERNA(A)

ESTUDIANTE

# **1. INTRODUCCIÓN**

Actualmente el manejo de las aguas residuales es tema de interés mundial, porque los países buscan la forma de liberarse de las aguas residuales sin afectar directamente el medio ambiente. El país tiene una problemática importante con el manejo de las aguas residuales, por falta de estructura y organización, generando que los decretos que existen no sean cumplidos a cabalidad, también cabe mencionar que el ciudadano no tiene idea clara de la afectación que provoca, ya que el contar con agua potable para cualquier actividad donde se necesite del líquido es normal, generando poca conciencia en las personas sobre la contaminación del recurso. Esto hace que el país se encuentre rezagado en el tema de tratamiento y manejo de aguas residuales con respecto a países desarrollados. (Ramírez 2007).

En Costa Rica el Reglamento de Aprobación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales, (Nº 39887-S-MINAE, 2016) en su capítulo 2, artículo 6, brinda tres opciones de reúso de las aguas residuales tratadas; como primera opción, está el uso de drenes para evacuar las aguas, siendo una limitante la infiltración de los suelos que se encuentran en muchas de las regiones del país. Otra opción, es el vertido de las aguas residuales tratadas a una quebrada, lo que conlleva a una contaminación directa de nuestros ríos. La tercera opción, consiste en el reúso de las aguas tratadas mediante la implementación de sistemas de riego. Estas opciones son las recomendadas cuando no se tiene disponible alcantarillado sanitario (Ramírez 2007).

El uso de aguas residuales tratadas para riego, trae consigo ventajas, el impacto ambiental es menor por la disminución del uso de fertilizantes, ya que las aguas residuales tratadas contienen concentraciones de Nitrógeno y Fósforo que pueden cubrir parte de la nutrición de los cultivos, además que se reduce el uso de agua potable para la producción agrícola o paisajismo (Guadarrama & Galván, 2015).

El hacer uso de un sistema de riego en el complejo hotelero, permitirá no solo hacer un buen uso de las aguas residuales tratadas, sino también cubrirá el riego de las zonas verdes del complejo.

El proyecto tiene gran relevancia para distintos sectores: la incorporación de Ingenieros Agrícolas en el proceso del manejo de aguas residuales tratadas aplicando los conocimientos en sistemas de riego y drenaje, además el manejo e implementación de aguas residuales tratadas va en aumento a nivel nacional por la necesidad de reutilizar las aguas y evitar una contaminación mayor de fuentes de agua.

Se aportarán datos técnicos de diseño del área de estudio, con el fin de impulsar nuevas investigaciones que optimicen los procesos actuales para el manejo de aguas residuales tratadas, por esta razón se diseñaron dos sistemas de riego por goteo mediante la utilización de las aguas residuales tratadas, con el fin de cubrir la necesidad hídrica de 5000 m<sup>2</sup> de zonas verdes del complejo hotelero Habitas, ubicado en Cóbano, Puntarenas, incluyendo el análisis económico, social y ambiental.



## **2. OBJETIVOS**

## **2.1 Objetivo general**

- Diseñar dos sistemas de riego por goteo mediante la utilización de aguas residuales tratadas, con el fin de cubrir la necesidad hídrica de 5000 m<sup>2</sup> de zonas verdes de un complejo hotelero, ubicado en Cóbano, Puntarenas.

## **2.2 Objetivos específicos**

1. Diseñar dos sistemas de riego por goteo que garanticen el manejo óptimo de las aguas residuales tratadas.
2. Evaluar las aguas residuales tratadas como fuente de fertilización de las zonas verdes del complejo hotelero, para su nutrición óptima.
3. Analizar las propuestas desde un punto de vista económico, ambiental y social para la posterior elección y aplicación de la más viable de acuerdo con las necesidades del cliente.

### **3. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **3.1 Generalidades de las aguas residuales**

El crecimiento acelerado de la población y los problemas sociales generados por el mismo ser humano, han provocado un déficit hídrico para abastecer a las ciudades y el riego agrícola. Una solución a este desabastecimiento, es el reúso de las aguas negras generadas a diario (Marcial, et al. 2006). En la actualidad, muchos países han logrado tratar las aguas residuales, por su parte Costa Rica tiene serios problemas con su manejo, ya que actualmente no cuenta con un alcantarillado sanitario que cubra las necesidades reales del país, a pesar de contar con decretos que buscan un manejo adecuado de estas aguas (Ruiz, 2012).

El concepto de aguas residuales se refiere a aguas de desecho, cuya composición es variada dependiendo de su origen. Estas se pueden clasificar como aguas ordinarias, que son aguas generadas de las actividades domésticas, mientras que las aguas especiales, son producidas por cualquier actividad industrial. Estas aguas deberían de llegar al alcantarillado sanitario para así llegar a una planta de tratamiento, donde se mejora su calidad pensando en su reúso o vertido a cuerpos de agua, disminuyendo el impacto ambiental. En muchas ocasiones, ese proceso no se cumple, provocando que las aguas negras lleguen directamente a los cuerpos de agua y finalmente al mar (MMAyA, 2018).

#### **3.1.1 Decretos e instituciones gubernamentales**

Para construir una planta de tratamiento es necesario conocer los decretos e instituciones que están involucrados en el proceso. Los decretos que rigen actualmente son:

- Decreto 39887-S-MINAE: Reglamento de Aprobación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales.
- Decreto 33601-MINAE-S: Reglamento que rige el Vertido y Reúso de Aguas Residuales.
- Decreto 39316-S-MINAE: Reglamento relacionado con el Manejo y Disposición Final de Lodos y Biosólidos.
- Decreto 42128-MINAE-S: Reglamento del Canon Ambiental por Vertido.

Los decretos mencionados anteriormente son evaluados por instituciones como el Servicio Nacional de Aguas Subterráneas, riego y avenamiento (SENARA), la cual se encarga de brindar información de la cercanía a los mantos acuíferos, ya que no pueden presentarse a menos de 30 metros de radio de donde se dispone colocar una Planta de tratamiento. Otra institución que está involucrada, es el Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), esta se encarga de verificar que el río donde se desea dirigir las aguas tratadas, presente un caudal permanente, con lo que finalmente brindan el permiso de vertido, al cual realizan un canon anual por el vertido de las aguas tratadas. También se debe considerar a la Municipalidad de la zona o al Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), si es necesario solicitar el paso de tubería por carretera. El Ministerio de Salud, se encarga de indicar el visto bueno de ubicación de la Planta de tratamiento y de velar que se cumplan los retiros según el volumen de la Planta de tratamiento. Finalmente aparecen Instituciones como el Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos (CFIA) y el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillado (AyA), encargados de verificar el cumplimiento técnico (Charlebois, 2021).

### **3.1.2 Proceso de tratado de las aguas residuales**

El proceso inicia con la entrada de las aguas negras a la etapa de pretratamiento, donde se realiza una separación de la basura, arenas y grasas de los desechos orgánicos producidos. Posteriormente, la materia orgánica que pasa la etapa de pretratamiento ingresa al tratamiento primario, donde se regula la cantidad de materia orgánica, disminuyendo los sólidos flotantes y sedimentables, permitiendo un paso regulado de materia orgánica a la tercera etapa conocido como tratamiento secundario, el cual está compuesto por un reactor y un sedimentador. En el reactor la materia orgánica entra en contacto con el aire suministrado por aireadores, lo que permite un ambiente ideal para la reproducción de los microorganismos, generando una reproducción masiva de microorganismos, los cuales descomponen la materia orgánica en lodo biológico, luego la materia orgánica que no fue transformada en lodo biológico, pasa al sedimentador, donde por gravedad las partículas más pesadas son enviadas al fondo del tanque, estas son devueltas por un sistema de absorción al reactor para transformarlo a lodo biológico. Finalmente, el agua residual del sedimentador pasa a un tratamiento terciario, donde se filtran

las partículas más grandes que lograron pasar por el proceso, además se realiza la cloración del agua residual, disminuyendo considerablemente los patógenos dañinos para el ser humano. Es aquí donde el agua tratada es enviada a un foso de bombeo donde se utilizará para riego (Charlebois 2021).

### **3.1.3 Principales desfogues para agua tratada**

Actualmente el país con el Reglamento de Aprobación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales, (N° 39887-S-MINAE, 2016), brinda distintas opciones para el manejo de las aguas residuales generadas en la cotidianidad, estos desfogues los comprenden:

- a. Drenajes: Permiten la infiltración de las aguas en los distintos horizontes del suelo. Esta opción de desfogue en muchas zonas del país no es viable debido al nivel freático superficial que presentan los suelos en Costa Rica, tal nivel freático se encuentra ligado a la clasificación de tierras según su capacidad de uso, lo anterior se desglosa en 8 clases y solamente la clase 1 y 8 describen el drenaje como bueno, las restantes lo declaran como lento, impedido o pobre (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2016).
- b. Vertido a un cuerpo receptor: La mayor limitante es la duración de la tramitología para su aprobación.
- c. Alcantarillado sanitario: En Costa Rica es poco viable por falta de infraestructura que permita el manejo adecuado de las aguas residuales mediante el alcantarillado.
- d. Reúso de las aguas tratadas en irrigación: El propietario se deja las aguas residuales generadas en su terreno, permitiendo el aporte nutricional e hídrico a las zonas dispuestas para riego.

### **3.1.4 Clasificación de los tipos de aguas para reúso**

En Costa Rica el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales, (N° 33601-MINAE-S, 2007), establece en su artículo 28 la clasificación de los tipos de aguas:

- a. Tipo 1, Reúso urbano: Riego de zonas en donde haya acceso del público, por ejemplo, zonas verdes, campos de Golf, parques, plazas deportivas y cementerios, lavado de automóviles, inodoros, combate de incendios y otros similares.
- b. Tipo 2, Riego con acceso restringido: Cultivo de césped, silvicultura y otras áreas donde el acceso del público es prohibido o restringido.
- c. Tipo 3, Reúso agrícola en cultivos de alimentos que no se procesan previo a su venta: Riego superficial o por aspersión de cualquier cultivo comestible que no procese previo a su venta incluyendo aquellos que se consumen crudos.
- d. Tipo 4, Reúso agrícola en cultivos de alimentos que se procesan previo a su venta: Riego de cultivos previo a su venta al público, han recibido el procesamiento físico o químico necesario para la destrucción de los organismos patógenos que pudieran contener.
- e. Tipo 5, Reúso agrícola en cultivos no alimenticios: Riego de pastos de piso, forrajes, cultivos de fibras y semillas y otros cultivos no alimenticios.
- f. Tipo 6, Reúso recreativo: Reúso en cuerpos de agua artificiales, donde puede existir un contacto ocasional, por ejemplo, pesca, canotaje y navegación.
- g. Tipo 7, Reúso Paisajísticos: Aprovechamiento estético, donde el contacto con el público no es permitido y dicha prohibición este claramente rotulada.
- h. Tipo 8, Reúso en la construcción: Compactación de suelos, control del polvo, lavado de materiales, producción de concreto.

Además, señala que los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de análisis obligatorio para el reúso de aguas residuales ordinarias son el caudal, Coliformes fecales (CF) y Nematodos intestinales (NI).

### **3.2 Generalidades del cultivo**

El césped se define como hierba, pasto o grama, perteneciente a la Familia *Poaceae*. Crece de una forma densa, pueden llegar a tener una altura importante algunas de sus especies. Se utilizan como plantas ornamentales en jardines o como terreno para la práctica de diversos deportes (Romero, et al. 2009).

Según STMA (2013), los brotes son de suma importancia en el desarrollo del pasto, al igual que la calidad del sustrato y el manejo agronómico. Al igual que todos los cultivos, su crecimiento va a depender de condiciones climáticas entre las que desatacan temperatura, luz, humedad y radiación. El pasto en condiciones de sombreado muestra un crecimiento deficiente, lo que provoca el uso de luz artificial en muchos casos, donde el césped es parte de actividades deportivas. Este mismo indica que las condiciones de riego en zonas de clima cálido deben de tener láminas de riego entre los 5 a 9 mm, para satisfacer las necesidades hídricas del cultivo.

### **3.2.1 Condiciones climáticas**

Las condiciones climáticas son de suma importancia para el crecimiento óptimo del cultivo. STMA (2013) señala que el pasto de climas cálidos crece activamente durante el verano, esto provoca un mantenimiento mayor en actividades de corta y fertilización, mientras que cuando se presentan temperaturas más frescas, el mantenimiento es menor.

### **3.2.2 Especies de pastos utilizados en Costa Rica**

La variedad de pastos en el país es alta, esto permite poder adaptarse a distintas condiciones de altura, clima y necesidades de producción, entre las variedades más utilizadas están (Agrícola Roca, 2021):

- a. Bermuda Grass (*Cynodon dactylon*): Pasto muy rústico y de crecimiento agresivo, con capacidad de adaptarse a suelos poco fértiles. Es resistente a la sequía, ideal para zonas con altas temperaturas y utilizado en campos deportivos o zonas de alto tránsito.
- b. Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*): Es un césped considerado de alta densidad por su crecimiento mediante rizomas y estolones, ideal para zonas costeras.
- c. San Agustín (*Stenotrophum secundatum*): El más utilizado en Costa Rica, se adapta a climas calientes, húmedos y tropicales en alturas desde el nivel del mar a 1300 msnm. Se considera un césped de densidad alta y se reproduce por semilla, ideal para el esparcimiento familiar.



- d. *Zacate dulce de sombra (Axonopus compressus)*: Nativo de la zona tropical húmeda de Costa Rica, ideal para zonas de alta humedad con alturas que van de los 200 msnm a 1200 msnm. Su follaje es grueso, se considera de alta densidad. Es un zacate utilizado para campos deportivos y zonas verdes. Importante destacar que tolera eficientemente condiciones de sombreo.
- e. *Zacate Zoysia (Zoysia matrella)*: Pasto para clima tropical, se adapta desde alturas de 0 msnm a 1500 msnm, sus hojas son más finas y se reproduce por estolones y rizomas, considerado un zacate de alta densidad. Este pasto es utilizado comúnmente para zonas verdes y campos deportivos.
- f. *Zacate Jengibrillo (Paspalum notatum)*: Zacate de crecimiento por rizomas gruesos, donde guarda una cantidad importante de reservas energéticas; resistente a la sequía y al tránsito intenso. Se considera un pasto de densidad media a alta por sus hojas gruesas. No requiere irrigación intensa y se adapta a suelos poco fértiles. Muy utilizado en jardines, campos de fútbol y golf.

### **3.2.3 Fertilización**

La reutilización de agua residual para irrigación, permite utilizar zonas que no eran productivas. El agua residual aporta Nitrógeno, Fósforo, Potasio y otros cationes como cloruro, reduciendo los costos por fertilizantes (Murillo, et al. 2000). Según Cremona et al. (2011) el Nitrógeno se encarga de aportar el color verde a las hojas del césped, aumenta el crecimiento general de la hojas, brotes, raíces y estolones, además aumenta la densidad foliar, por su parte el Fósforo permite un crecimiento adecuado de las raíces, mientras que el Potasio se usa para mantener la presión de turgencia de la célula, esto evita que la planta se marchite prematuramente, también es formador de estomas, lo que permite un mejor intercambio de agua y gases.

### **3.2.4 Evapotranspiración**

El césped necesita una lámina bruta de 9 mm por día en zonas con clima caliente (STMA, 2013). Esa cantidad de agua corresponde a la cantidad que pierde a través de la evaporación de

la humedad en la superficie del suelo y la transpiración del agua a través de la planta, lo que se conoce como evapotranspiración. El Cuadro 1, señala las pérdidas diarias (mm) del césped según la zona y clima:

Cuadro 1. Tasas Potenciales de Evapotranspiración para diferentes climas.

Tipo de clima	Pérdida Diaria (mm)
Húmedo Fresco (Temperatura alta <21 °C, HR >50%)	2.5 – 4
Fresco Seco (Temperatura promedio < 21 °C, HR <50%)	4 – 5
Húmedo Cálido (temperatura promedio entre 21-31 °C, HR >50%)	4 – 5
Seco Cálido (Temperatura promedio entre 21-32 °C, HR <50%)	5 – 6
Húmedo caliente fresco (Temperatura promedio >32 °C, HR >50%)	5 – 7,5
Caliente seco (Temperatura promedio >32 °C, HR <50%)	7,5 - 10

Fuente. (STMA 2013).

### 3.2.5 Coeficiente de cultivo (Kc)

El Kc es un coeficiente propio de cada cultivo, según SiAR (2011), es la relación que existe entre la Evapotranspiración real de cada cultivo y la Evapotranspiración de referencia en las mismas condiciones y microclima, por tanto, es adimensional y al ser multiplicado por la Evapotranspiración de referencia, da como resultado la Evapotranspiración del cultivo.

Lo anterior, permite decidir con qué frecuencia y cuánta agua se debe aplicar en cada riego. Es importante considerar que este coeficiente varía según el cultivo, estado de desarrollo y prácticas culturales. Del mismo modo, en el caso del césped los Kc son variados, como mencionan González et al. (2009), este coeficiente responde a diferentes factores como estación cálida o fría, corte, fertilización, lo que influye en el consumo de agua, también la altura del césped, pues entre mayor altura, mayor consumo de agua; tales autores reportaron Kc de 0.8, 0.75, 0.70 y 0.65 para distintos zacates, según lo anteriormente descrito. Se concluye que, en el caso del césped, la Kc responderá según el escenario en el que se encuentra.

### **3.3 Generalidades del riego**

Calvo (2005) señala que el riego es una práctica agrícola que data desde la prehistoria según documentos, para los años 3500 A.C se construyeron sistemas de riego en Egipto, India y China. Según Villalobos (2008), el riego es la aplicación oportuna y uniforme de agua a un perfil de suelo, para restituir la cantidad consumida por evapotranspiración de los cultivos. Actualmente existen distintos métodos de irrigación, los cuales se pueden clasificar de distintas formas, ya sea según su aplicación o la forma más común, es según el tipo de energía utilizada, la cual clasifica los métodos en riego por gravedad o riego presurizado.

Calvo (2005) señala que los criterios que se deben considerar para seleccionar el tipo de riego son:

- a. Fuente de agua: Factores como la localización de la fuente, cantidad de agua, la variación de los volúmenes de agua en la fuente y la calidad del agua son determinantes.
- b. Suelo: Indispensable conocer su textura, estructura, profundidad, salinidad, velocidad de infiltración y capacidad de almacenamiento, además de factores como topografía y erodabilidad del suelo.
- c. Clima-cultivo: Los cultivos bajo riego deben adaptarse a las características de la fuente de agua, suelo y condiciones climáticas.
- d. Capital y mano de obra: La inversión requerida para instalar un sistema de riego puede variar considerablemente dependiendo del sistema que se requiera, ya que los costos aumentan de acuerdo a la tecnología implementada en el sistema. Por su parte siempre es bueno considerar sistemas donde la cantidad de mano de obra requerida sea mínima.

#### **3.3.1 Infiltración**

Según Cisneros (2003), la infiltración es la velocidad de entrada del agua en el suelo. La velocidad de infiltración es una relación entre la lámina de agua que se infiltra y el tiempo que tarda en hacerlo, se expresa generalmente en cm/h o cm/min.

Cabe mencionar que la Infiltración instantánea, se refiere a la velocidad del agua con que entra al suelo. Por su parte la Infiltración acumulada es considerada una altura y no una velocidad, esta se define como una lámina acumulada que aumenta conforme avanza el tiempo (Villalobos, 2008). La infiltración básica, se refiere, a cuando el suelo empieza a tener una infiltración lenta por la saturación de los distintos poros presentes en el suelo (Pascual & Pascual, 2020). La importancia de la infiltración en el riego radica en que reduce la evaporación por lo que los cultivos tienen mejor crecimiento y la irrigación deja de ser continua por la retención del agua en el suelo (Úbeda, et al. 2018).

### **3.3.2 Riego presurizado**

En el riego presurizado se identifican tres tipos de riego, aspersión, microaspersión y goteo, de los cuales el goteo cuenta con eficiencias de hasta 90% de su aplicación, permitiendo un aumento en la producción de alimentos (Villalobos, 2008).

Según Calvo (2005) el riego por goteo consiste en la aplicación de agua al suelo, por medio de mangueras delgadas o cintas de goteo que conducen el agua a presión, esta sale en forma de gotas por los pequeños orificios hechos en la manguera o cinta, mojando el perfil del suelo. Por su parte Liota et al. (2015), señala que la posibilidad de efectuar riegos frecuentes permite reducir notoriamente el estrés hídrico, ya que es posible mantener la humedad del suelo a niveles óptimos durante el periodo necesario, mejorando las condiciones para el desarrollo del cultivo.

#### **3.3.2.1 Riego por goteo**

Autores como Calvo (2005) y Villalobos (2008) señalan entre las ventajas del riego por goteo:

- a. Distribución exacta del agua: La cantidad tan alta de goteros por hectárea hace que el riego sea muy uniforme, ya que todos los goteros aportan la misma cantidad de caudal, cuando se trabaja con goteros auto compensados.

- b. Adaptación a condiciones de viento: Este sistema de riego no se ve afectado por el viento, haciendo que el riego sea muy fácil en horas del día cuando la velocidad del viento es alta.
- c. Explotación de suelos con problemas: Como el goteo humedece únicamente un volumen limitado del suelo, ha causado el uso de suelos pocos profundos con problemas de pedregosidad y que antes eran descartados para la producción agrícola.
- d. Requiere de poca mano de obra: El sistema actualmente es automatizado, por lo que no requiere personal para apertura y cierre de válvulas.
- e. Fácil aplicación de productos agrícolas: El uso de las mangueras del sistema de riego, para la aplicación de productos que combaten las enfermedades de los cultivos, ha favorecido un manejo más eficiente de los problemas fitosanitarios.
- f. Fácil aplicación de fertilizantes: Una de las ventajas del sistema de riego por goteo, es la facilidad de nutrir adecuadamente los cultivos, ya que permite una aplicación precisa en cantidad y ubicación de los nutrientes, permitiendo la disminución de pérdidas de los nutrientes y con esto los costos por fertilizantes disminuyen.
- g. Poca proliferación de malezas: El riego localizado permite mantener secas las partes que no tienen cultivo, disminuyendo el crecimiento de malezas en esos sectores.

### **3.3.2.2 Componentes del sistema de riego por goteo.**

Los componentes del sistema de riego varían según la complejidad y características del proyecto, pero siempre es necesario considerar los siguientes elementos:

- a. Sistema de bombeo: Generalmente son las bombas centrífugas de eje horizontal en motores Diésel o eléctrico. La bomba centrífuga es una máquina que está compuesta por un conjunto de paletas rotatorias encerradas dentro de una carcasa. Se denominan así porque la cota de presión que crean es atribuida a la acción centrífuga. Las paletas imparten energía al fluido por la fuerza de esta misma acción. Es decir, incrementa la energía de velocidad del fluido mediante un elemento rotante, aprovechando la acción de la fuerza centrífuga y transformándola a energía potencial (Marenco, 2016).

- b. Sistema de filtración: Los filtros en los sistemas de riego por goteo son fundamentales, ya que se debe evitar la obstrucción de los goteros por algún tipo de partícula. En muchas ocasiones los elementos se combinan en los sistemas de filtración, según las condiciones de la fuente de agua (Pérez & Urrea, 2011). Entre los filtros que se utilizan, están:
- Filtro de malla: El agua se filtra por una malla que puede variar el número de aperturas por pulgada lineal o número de mesh, generando que las partículas superiores al tamaño del mesh, queden retenidas en el filtro. Este filtro es usado generalmente para aguas poco sucias con materiales de origen inorgánico con tamaños de limos y arenas. Para riego por goteo se recomienda una malla de 140-150 mesh (110-106 micrones) (Liotta, et al. 2015).
  - Filtro de anillo: Según Novagric (2020), el agua al entrar al filtro se encuentra con un conjunto de anillas (ranuras que se comprimen entre sí), formando un cilindro filtrante, de manera que el agua pasa por las ranuras entre las anillas, quedando entre los anillos las partículas de mayor tamaño. Son considerados adecuados para aguas de mediana a mala calidad
  - Hidrociclón: Realizan la separación de partículas de agua mediante el efecto de la fuerza centrífuga generada por el torbellino, de manera que las partículas pesadas como las arenas que puede contener el agua de riego, se desplazan hacia las paredes cayendo después al depósito colocado en la parte inferior (Liotta, et al. 2015).
  - Filtro de área: Son utilizados para separar materiales orgánicos como algas y partículas gruesas, debido a una capa de arena silíceas contenida en el filtro (Novagric, 2020).
- c. Válvula de aire: La válvula evita el golpe de ariete, además evita que el aire quede atrapado en algunas áreas durante la operación, también permite que entre el aire a las tuberías y líneas laterales impidiendo la formación de vacíos cuando el sistema se apaga. Generalmente se colocan válvulas de alivio de aire y de liberación del vacío. Estas se deben de colocar en múltiples donde las electroválvulas se encuentran a largas distancias del cabezal para liberar el aire durante el arranque del sistema y tener liberación de vacío cuando se apague el sistema. Se deben instalar después de las válvulas para introducir

aire a la tubería y proporcionar liberación de vacío cuando se cierre la válvula y se deben de colocar en el punto más alto de la pendiente para introducir aire a la tubería y proporcionar liberación de vacío después de que se cierre la válvula (Toro, 2012).

- d. Manómetros: Su función es permitir la medición de presión en los puntos del sistema que se desee tanto en el cabezal como en el campo.
- e. Válvulas de retención: También conocidas como válvulas unidireccionales, cierran completamente el paso del líquido, al mismo tiempo permiten que el agua fluya libremente al lado contrario. Su función es impedir el retorno a la red, se usan cuando se desea conservar estable la presión de una tubería en servicio (Arco, 2019).
- f. Inyectores de fertilizantes: Según Liotta, et al. (2015), de las principales ventajas de los sistemas de riego por goteo, es el fertirriego, donde se utilizan:
  - Bomba inyectora de fertilizante: Esta succiona e inyecta el fertilizante a una presión mayor que la prevalece en la red de conducción. La principal desventaja es su alto costo y el gasto energético que requiere.
  - Inyector Venturi: Su funcionamiento se basa en la transformación de la presión del agua en energía de velocidad al disminuir el diámetro de la tubería. Su bajo costo, larga duración y fácil uso, son sus principales ventajas.
  - Tanque de presión diferencial: Se utiliza en menor medida, por la dificultad de mantener una dosificación correcta del agroquímico. Su funcionamiento, tiene el mismo principio que el inyector Venturi.
  - Sistemas propulsados por la Presión de agua: El agua entra al interior del equipo, donde activa un diafragma para tasas de inyección mayores, es decir se crea la presión suficiente para inyectar el fertilizante a una presión mayor a la del líquido circulante. Este equipo no necesita electricidad, ya que funciona con la presión del agua.
  - Sistemas de inyección múltiple: Utilizado para cultivos en invernaderos, o cultivos hidropónicos.
- g. Tubería de conducción: Estas van a permitir que el caudal necesario llegue a las líneas laterales. Según Morales (2018) los coeficientes de rugosidad de los materiales utilizados para tubería son los presentados en el Cuadro 2:

Cuadro 2. Coeficiente de rugosidad según el tipo de material de la tubería.

Material	C
PVC	150
Acero	140
Asbesto de cemento	135
Hormigón vibrado	130
Plástico corrugado 125	125
Polietileno	140

Fuente. Morales, (2018)

Para la tubería de conducción principal se debe conocer el dato de caudal a transportar, este se puede obtener de distintas formas, según Villalobos (2008) los métodos son:

- Método de velocidad permisible: El valor límite máximo permisible para evitar golpes de ariete es 1,5 m/s, pero el rango de velocidad permitido es de 0,5 m/s a 1,5 m/s. Al tener este valor, se puede calcular el diámetro requerido para el diseño.
  - Método de porcentaje de operación: El rango de presiones que se desea para este método es del 10 a 20% de la presión de operación de los emisores.
  - Método de carga unitaria: Consiste en establecer un diámetro de tubería, de tal forma que las pérdidas por fricción no sobrepasen el límite establecido de 2,3 mca por cada 100 m de tubería. En este caso una pérdida por fricción de 0,023 mca por cada metro lineal de tubería, permite asegurarnos el no usar tubería con diámetros muy pequeños.
- h. Tubería lateral: Son las tuberías que se encuentran en la hilera del cultivo, normalmente tienen diámetros de 16 y 20 mm, lo cual va en función del caudal a distribuir y la longitud de riego. Estas tuberías son las que portan los emisores y se recomienda un distanciamiento entre mangueras de 0,30 m para zonas verdes. Con respecto a sus espesores, en el mercado hay una amplia variedad, pero generalmente se encuentran



espesores de 0,6 a 0,18 mm, esto es importante porque le brinda una mayor resistencia a la cinta o manguera de goteo ante presiones mayores generadas por el flujo. Además, generalmente los materiales más comunes son Polietileno de alta resistencia, poliéster y plástico (Liotta, et al. 2015).

- i. Emisores: Estos son los encargados de aportar el caudal al cultivo. Hay una amplia variedad de goteros. Según Liotta et al. (2015) se clasifican en:
  - De laberinto: Obligan al agua a perder presión durante el recorrido, ideales para régimen turbulento, se consideran sensibles a la temperatura y obstrucciones.
  - Tipo Vortex (botón): El agua ingresa a una cámara en forma tangencial, donde se origina un movimiento en espiral que ocasiona una pérdida de presión.
  - Cintas: Poseen emisores ya predefinidos, este producto presenta una pared delgada, por lo que su costo es bajo.
  - Gotero antidrenante: Este gotero se cierran automáticamente al bajar la presión en el sistema de riego, de manera que no ocurre la descarga de la tubería, lo que produce ventajas como que, evita la entrada de aire al sistema y la bomba de riego no necesita cargar el sistema para empezar a funcionar, por tanto, optimiza su uso.
  - Auto-compensado: Tiene la ventaja de mantener el mismo caudal sin importar el cambio de presión, es para flujo turbulento. Lo que permite su funcionamiento es un diafragma que se deforma por la diferencia de presión, modificando el conducto de paso y generando un caudal constante. Actualmente los sistemas de riego para zonas verdes llevan un espaciamiento entre goteros de 0,30 o 0,45 m.
- j. Automatización del riego: Los componentes que permiten un manejo automático del sistema de riego son:
  - Electroválvulas: Consisten en válvulas que son dirigidas mediante un impulso eléctrico y cuya función es controlar el caudal que pasa hacia la tubería. Están compuestas por un solenoide, que es una bobina de cobre que al transportar una corriente se asemeja a un imán, de modo que el núcleo móvil es atraído a la bobina cuando hay movimiento de corriente; por su parte la válvula es el elemento que regula el paso de agua debido al funcionamiento del solenoide (Novagric 2020).

Este mismo autor señala que existen dos tipos de electroválvulas, abiertas y cerradas. Las electroválvulas cerradas son las que se utilizan en sistemas de riego porque cuando no hay alimentación eléctrica quedan cerradas, mientras que las electroválvulas abiertas, quedan abiertas cuando no hay alimentación. La Figura 1, muestra los dos tipos de electroválvulas:

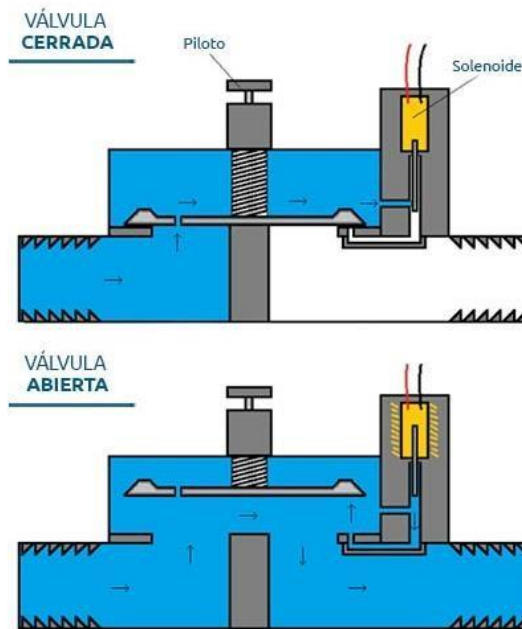


Figura 1. Tipos de electroválvulas.

Fuente. Novagric, (2020)

- Cableado: Según Paige Irrigation (2017) los calibres y tipos de cable dependen del voltaje que maneja cada electroválvula a la cual debe ir conectado; los más usados son los alambres para válvulas de control en circuitos de 24 VCA, entre los que destacan los conductores individuales, tipo UF/TWU que va enterrado directamente y es utilizado en todo tipo de sistema de riego. También se encuentran los conductores tipo PE, ideal para aspersores de campo de Golf y campos deportivos, diseñado para proyectos paisajísticos donde se aplican productos químicos. Otro es el 18 multi, utilizado comúnmente para proyectos de riego en residenciales y comerciales. Es importante considerar los conectores de resina para realizar

los empalmes entre el cable eléctrico y el cable de la válvula. Los conectores utilizados son DBR/Y-6.

Por su parte los cables más utilizados son el Cable baja Energía (Calibre 16 y 18), otro es el cable para campos deportivos (Calibre 10, 12 y 14), luego el cable múltiple (Calibre 18) y finalmente el cable Decoder, para sistemas automáticos para regar.

- Controladores: Los controladores permiten mantener un control sobre la cantidad de áreas que se desean regar, además del tiempo necesario para dichas áreas (Novagric 2020). Según la descripción de Paige Irrigation (2017) los controladores dentro de un sistema de riego es una estación de control, desde la cual se puede abrir y cerrar electroválvulas, programar dosis y frecuencia de fertilización, limpieza de filtros, tiempos de riego, presión de riego, cantidad de agua a descargar. Lo característico de los controladores es que dependiendo del área donde se diseña el sistema de riego, se puede utilizar desde un controlador hasta los que sean necesarios, porque funcionan como interruptores en circuito que se encienden y se apagan según las necesidades del cultivo y/o usuario.

## **4. METODOLOGÍA**

#### **4.1 Evaluación de las condiciones.**

Se requiere un sistema de riego por goteo que permita desfogar las aguas tratadas generadas por el complejo, siendo la irrigación de las zonas verdes el destino para el reúso de las aguas. El caudal para el diseño del sistema de riego por goteo, ya se conoce, al igual que las horas disponibles para el riego.

##### **4.1.1 Localización del proyecto**

El proyecto se llevó a cabo en el distrito Cóbano, de la Provincia de Puntarenas, a una altura aproximada de 5 msnm, específicamente en las coordenadas WGS84 (9,643600 - 85,669368), brindadas por Ingeniería Global, (2021), encargada del estudio de suelos, como se muestra en la Figura 2:



Figura 2. Ubicación del sitio en estudio con coordenadas WGS84 (9,643600; -85,669368).

Fuente. (Ingeniería Global, 2021).

##### **4.1.2 Trazo de tubería.**

El área total del terreno es de 13320 m<sup>2</sup>, de los cuales se tiene disponible para zonas verdes e irrigación 5000 m<sup>2</sup>, la distribución en el complejo es muy irregular.

Se consideró, que la Planta de tratamiento de aguas residuales es nuestra fuente agua, indicando el punto de partida de la tubería principal, con la cual se definió colocar en el centro del proyecto, para tener mayor facilidad de trasiego de agua a los distintos sectores. Esto permitió trazar polígonos lo más regulares posibles entre sí, siendo estos los sectores de riego con un área de 625 m<sup>2</sup> cada uno. Al tener las áreas de cada sector definido, se procedió a trazar la tubería múltiple bordeando los caminos en cada sector, esto porque es la forma tradicional de trazar la tubería en sistemas de riego para paisajismo. Finalmente, la manguera de goteo se conecta a la tubería múltiple para cubrir de manera uniforme las zonas verdes destinadas a riego.

#### **4.2 Objetivo Específico 1: Diseño de dos sistemas de riego por goteo que garanticen el manejo óptimo de las aguas residuales.**

##### **4.2.1 Selección de la manguera autocompensada y cinta de goteo**

Mediante distintas consultas y catálogos de mangueras de goteo en el mercado, se logró definir la manguera autocompensada y cinta adecuada (Anexo 1 y 2) para el uso de irrigación de zonas verdes con un espaciamiento entre mangueras y cintas de 0,30 metros y una separación entre goteros de 0,30 metros. Los caudales de los goteros escogidos fueron de 1,2 L/h en la manguera de goteo y 1,1 L/h en la cinta de goteo, esto según lo investigado en el mercado, como se muestra en el Cuadro 3:

Cuadro 3. Datos de manguera y cinta de goteo seleccionadas.

Producto	Manguera Autocompensada	Cinta de goteo
Marca	Metzerplast	Netafim
Modelo	Vered 16 mm	STREAMLINE PLUS TM 16060
Diámetro interno manguera (mm)	15,2	16,2
Espesor (mm)	0,6	0,15
Presión de operación mínima (mca)	5,1	--
Presión de operación máxima (mca)	25,5	10,2
Caudal de gotero (l/h)	1,2	1,1
Longitud máxima de lateral según caudal y espacio entre goteros (m) para terreno plano	202	--

Fuentes. (Durman 2021) y (Netafim 2022).

#### 4.2.2 Diseño agronómico

El Cuadro 4, muestra los parámetros seleccionados, considerando que el sistema de riego está dirigido al reúso de aguas tratadas en zonas verdes de un complejo hotelero, donde se caracteriza por predominar un clima seco, además se tomó en cuenta aspectos mencionados por el cliente como las horas disponibles de riego y factores de manejo, por lo que, para este tipo de sistema de riego, se estableció la frecuencia de riego de un día y así eliminar las aguas residuales de manera constante. Por su parte, el área a irrigar se obtuvo a partir del volumen de la Planta de tratamiento y la lámina bruta (ecuación 1). Con lo que respecta a la lámina bruta, se utilizó el reflejado en el Cuadro 1 el cual es un valor recomendado por la Asociación de Administración de Campos Deportivos (STMA, por sus siglas en inglés) (STMA 2013).

Cuadro 4. Generalidades del sistema de riego por goteo

Espaciamiento entre goteros (m)	0,3
Espaciamiento entre laterales (m)	0,3
Lámina bruta (mm)	9
Lámina bruta (m)	0,009
Frecuencia de riego (días)	1
Horas disponibles de riego al día (horas)	6

De la ecuación 1 se obtiene al área disponible para riego en función del volumen de la planta de tratamiento ( $V_{PTAR}$ ) y lámina bruta ( $m^2$ ):

$$\text{Área disponible} = \frac{V_{PTAR}}{L_b} \dots (1)$$

Donde:

$\text{Área disponible} = \text{Área disponible para riego (m}^2\text{)}$

$V_{PTAR} = \text{Volumen de Planta de tratamiento de aguas residuales (m}^3\text{)}$

$L_b = \text{Lamina bruta (m)}$

Posteriormente se obtuvo el Tiempo de riego ( $Tr$ ) con la ecuación 2:

$$Tr = \frac{\text{Volumen bruto de riego}}{Q_g} \dots (2)$$

Donde:

$\text{Volumen bruto de riego} = \text{Lámina bruta por el área de influencia del gotero. (El área corresponde a la multiplicación del espaciamento entre goteros y espaciamento entre hileras).}$

$Q_g = \text{Caudal del gotero (L/h)}$

Luego se calculó el número máximo de operaciones en las que se divide el área ( $N$ ), con la ecuación 3:



El máximo número de operaciones en las que se puede dividir el área de riego, para efectos de diseño este valor nos define la cantidad de múltiples que se propusieron a colocar en el diseño.

$$N = \frac{Fr * horas\ disponibles}{Tr} \dots (3)$$

Donde:

$N$  = Número de operaciones en la que se divide el área

$Fr$  = Frecuencia de riego (días)

$Tr$  = Tiempo de riego (h)

Posteriormente se definió el valor obtenido a un número entero, tomando en cuenta la distribución del área.

Luego se calculó el área de cada unidad ( $A_u$ ), con la ecuación 4:

$$A_u = \frac{A_T}{N} \dots (4)$$

Donde:

$A_u$  = Área de cada unidad ( $m^2$ )

$A_T$  = Área total a producir ( $m^2$ )

$N$  = Número de operaciones en la que se divide el área

Después se calculó el número entero de goteros por metro cuadrado, mediante la ecuación 5:

$$N\ goteros\ en\ m^2 = \frac{A_u}{(Esp\ laterales * Esp\ goteros)} * \text{Área de cada sector} \dots (5)$$

Donde:

$N$  goteros en  $m^2$  = Número de goteros en un metro cuadrado

$A_u$  = Área de cada unidad ( $m^2$ )

$Esp$  laterales = Espaciamiento entre laterales

$Esp$  goteros = Espaciamiento entre goteros

Posteriormente se calculó el caudal en un metro cuadrado ( $Q$  por  $m^2$ ), lo que comúnmente se conoce como caudal unitario ( $q_0$ ), con la ecuación 6:

$$q_0 = N_{got \text{ por } m^2} * Q_g \dots(6)$$

Donde:

$N_{got \text{ por } m^2}$  = Número de goteros por metro cuadrado

$Q_g$  = Caudal de gotero (L/h)

### **4.2.3 Diseño hidráulico de sistema de riego con manguera autocompensada**

#### **4.2.3.1 Pérdidas por fricción en la tubería múltiple ( $H_{fm}$ )**

Posteriormente se calcularon las pérdidas por fricción de la tubería múltiple, mediante la combinación de diámetros, en tres pasos:

Paso 1: Se utilizó la combinación de diámetros, por lo que se definió un diámetro comercial para toda la tubería múltiple, se tomó la longitud total de la tubería múltiple, que se obtuvo con ayuda del AutoCAD 2021, se asignó un coeficiente  $F$  para el número de salidas totales en la múltiple y al conocer el caudal por metro cuadrado (caudal unitario), se definió el caudal para el sector de riego.

El contar con estos valores permitió obtener las pérdidas parciales la tubería múltiple, con ayuda de la ecuación 7:

$$H_f = 1,131 \times 10^9 * \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852} * D^{-4,872} * L * f \dots(7)$$

Donde:

$D$  = Diámetro interno (mm)

$Q$  = Caudal (m<sup>3</sup>/h)

$L$  = Longitud (m)

$H_f$  = Pérdidas por fricción (mca)

$C$  = Coeficiente de Hazen Williams según el tipo de material

$f$  = Factor según el número de salidas.

Paso 2: Se definió un diámetro comercial de tubería para el tramo dos, el cual corresponde a la longitud del tramo de menor diámetro utilizado en la combinación de diámetros, y se definió como la mitad de la longitud total de la múltiple. Por otra parte, la longitud de la tubería múltiple se obtuvo con ayuda del AutoCAD 2021, se asignó un coeficiente  $F$  para el número de salidas en la múltiple designada para el tramo dos y al conocer el caudal unitario se definió el caudal de dicho tramo designado.

El contar con estos valores nos permitió obtener pérdidas parciales del tramo dos de la tubería múltiple con la ecuación 6.

Paso 3: Al obtener las pérdidas parciales de los Paso 1 y Paso 2, se procedió a obtener las pérdidas del tramo uno, del sector 1, mediante la ecuación 8:

$$H_{f1} = H_{f_{Paso\ 1}} - H_{f_{Paso\ 2}} \dots (8)$$

Posteriormente, se calcularon las pérdidas del tramo dos ( $H_{f2}$ ) con la ecuación 6, considerando la longitud y caudal del tramo uno, además se eligió el coeficiente  $F$  para el número de salidas en la tubería del tramo uno y el diámetro del tramo dos.

Finalmente, se procedió a obtener las pérdidas por fricción totales en la múltiple del sector 1 ( $H_{ft\ mul}$ ), con ayuda de la ecuación 9:

$$H_{ft\ mul} = H_{f1} + H_{f2} \dots (9)$$

Posteriormente se verificó la velocidad del flujo en la tubería, con el fin de verificar que no se genere turbulencia por exceso de velocidad o se generen sedimentos por bajas velocidades, con la ecuación 10:

$$V = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} * \left(\frac{D}{1000}\right)^2} \dots (10)$$

Donde:

$V$  = Velocidad del caudal (m/s)

$Q$  = Caudal en la tubería (m<sup>3</sup>/h)

$D$  = Diámetro interno de tubería (mm)

Este procedimiento fue utilizado para obtener los resultados de los 8 sectores de riego asignados, como se muestra en la sección de resultados para los diseños.

#### 4.2.3.2 Presión en la múltiple

Luego, se definió una presión en la válvula, que cumpliera con la presión mínima de la válvula a utilizar y que a su vez fuera mayor a la presión mínima de operación del lateral, también se consideró las pérdidas por fricción en la válvula ( $Hfv$ ), para cumplir con la presión de operación de los laterales y así se pudo calcular la presión en la entrada de la múltiple ( $Pe_{mul}$ ), para los 8 sectores a regar, con la ecuación 11:

$$P_{e\ mul} = P_v - Hfv \dots (11)$$

Donde:

$P_v$  = Presión en la válvula (mca)

$Hfv$  = Pérdidas por fricción en la válvula (mca)

Después, se obtuvo la presión en la múltiple ( $P_m$ ), la cual es la presión generada a los  $\frac{3}{4}$  de la longitud total de la múltiple con la ecuación 12:

$$Pm = Pe\ mul - 0,77 * Hft\ mul \pm 0,23 * \Delta z \dots (12)$$

Donde:

$Pe\ mul$  = Presión de entrada en la múltiple (mca)

$Hft\ mul$  = Pérdidas totales en la múltiple (mca)

$\Delta z$  = Diferencia de altura de la tubería múltiple (mca)

Finalmente, se obtuvo la presión distal de la múltiple ( $Pd\ mul$ ), de la siguiente manera:

$$Pd\ mul = Pe\ mul - Hft\ mul \pm \Delta z \dots (13)$$

Donde:

$Pe\ mul$  = Presión de entrada en la múltiple (mca)

$Hft\ mul$  = Pérdidas totales en la múltiple (mca)

$\Delta z$  = Diferencia de altura de la tubería múltiple (mca)

#### 4.2.3.3 Diámetro de la tubería principal ( $D$ )

Finalmente, el diámetro de la tubería principal se obtuvo mediante el método de velocidad permisible, donde se asume una velocidad entre 1,5 m/s a 3 m/s, lo que permitió el uso de la ecuación 14:

$$D = \sqrt{\frac{Q}{900 * V * \pi}} \dots (14)$$

Donde:

$Q$  = Caudal de la tubería principal (m<sup>3</sup>/h)

$V$  = Velocidad del fluido (m/s)

El diámetro obtenido es teórico, por lo que se procedió a escoger un diámetro comercial (Anexo 4). Luego se verificó la velocidad del caudal, el cual debe ser superior a 1,5 m/s para

evitar sedimentación y no mayor a 3 m/s para evitar el golpe de ariete; esta verificación se realizó con la ecuación 9.

#### 4.2.3.4 Pérdidas por fricción en la tubería principal ( $H_{fp}$ )

Después se calcularon las pérdidas en la tubería principal con el diámetro comercial y con ayuda de la ecuación Hazen-Williams, ecuación 15:

$$H_{fp} = 1,131 \times 10^9 * \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852} * D^{-4,872} * L \dots (15)$$

Donde:

$D$  = Diámetro interno (mm)

$Q$  = Caudal (m<sup>3</sup>/h)

$L$  = Longitud (m)

$H_{fp}$  = Pérdidas por fricción totales (mca)

$C$  = Coeficiente de Hazen Williams según el tipo de material.

Las pérdidas secundarias ( $H_{fs}$ ) se calcularon mediante la ecuación 16:

$$H_{fs} = 0,05 * (Pm + H_{fp}) \dots (16)$$

Donde:

$Pm$  = Presión en la múltiple (mca)

$H_{fp}$  = Pérdidas por fricción en la tubería principal (mca)

#### 4.2.3.5 Elección de la bomba

Se debe conocer la carga dinámica total ( $CDT$ ), que es la suma de la carga requerida a la salida de la tubería y las pérdidas de energía por fricción que se deben vencer a lo largo de la tubería, con la ecuación 17:

$$CDT = Pm + Hfp + \Delta z + Hfs \dots (17)$$

Donde:

$Pm$  = Presión en la múltiple (mca)

$Hfp$  = Pérdidas por fricción en la principal (mca)

$\Delta z$  = Diferencia de altura entre el emisor más alejado y el espejo de agua (m)

$Hfs$  = Perdidas por fricción en accesorios (mca)

El sistema de riego será programado para activar una válvula a la vez, eso implica que el caudal que se utiliza para estimar los HP de la bomba, es el caudal de un sector de riego. Al tener la CDT y el caudal necesario a trasegar, se puede verificar en la ficha técnica de la bomba Pearl sumergible de 4" modelo 4PWP35G15 de 1.5 HP (Anexo 6) que cubre las necesidades que se tienen.

#### 4.2.3.6 Verificación del volumen total aplicado

Para verificar el uso total del volumen brindado por la Planta de tratamiento, se procedió a realizar los siguientes cálculos:

Se calculó el número de goteros por sector ( $Ng$ ) con la ecuación 18:

$$Ng = N \text{ got por } m^2 * A_u \dots (18)$$

Donde:

$N_{got \text{ por } m^2}$  = Número de goteros por metro cuadrado

$A_u$  = Área de cada unidad ( $m^2$ )

Posteriormente se obtuvo el caudal de riego de cada sector ( $Q_s$ ), mediante la ecuación 19:

$$Q_s = N_g * Q_g \dots (19)$$

Donde:

$N_g$  = Número de goteros por sector

$Q_g$  = Caudal de gotero (L/h)

Al conocer el caudal del sector y el tiempo de riego, se obtuvo el volumen de agua por sector ( $V_s$ ), con ayuda de la ecuación 20:

$$V_s = Q_s * T_r \dots (20)$$

Donde:

$Q_s$  = Caudal del sector ( $m^3/h$ )

$T_r$  = Tiempo de riego (h)

Finalmente, se calculó el volumen total aplicado ( $V_t$ ) para verificar el uso total del volumen brindado por la Planta de tratamiento, mediante la ecuación 21:

$$V_t = V_s * N_s \dots (21)$$

Donde:

$V_s$  = Volumen de agua por sector ( $m^3$ )

$N_s$  = Número de sectores

#### **4.2.4 Diseño hidráulico de sistema de riego con cinta de goteo**

##### **4.2.4.1 Pérdidas por fricción en el lateral ( $H_{fl}$ )**

Mediante el software Civil CAD 2021, se obtuvieron los valores de longitud máxima del terreno, ancho del terreno, longitud máxima lateral, logrando obtener el número de goteros por lateral. Esto permitió calcular el caudal del lateral ( $Q_l$ ), mediante la ecuación 22:



$$Ql = N \text{ de got} * Qg \dots (22)$$

Donde:

$N \text{ de got}$  = Número de goteros en la longitud máxima de la cinta de cada sector.

$Qg$  = Caudal del gotero (L/h).

Luego se estimó el factor  $f$ , que corresponde al número de salidas, mediante la tabla de Coeficientes  $F$  para laterales (Anexo 5). Posteriormente se estimaron las pérdidas por fricción en el lateral con ayuda de la ecuación de Hazen y Williams, ecuación 6.

Al obtener los valores de  $Hfl$ , se observó que son muy bajos, por lo que se volvió a calcular las  $Hfl$  con el diámetro proporcionado por la cinta comercial que se utiliza en el diseño. Cabe rescatar que el valor de  $C$  utilizado fue el de 140, esto porque las especificaciones técnicas de la cinta de goteo no indican la longitud máxima de la cinta, por lo que no se puede hacer el despeje en la fórmula de Hazen y Williams para obtener el valor propio del material de la cinta de goteo.

#### **4.2.4.2 Pérdidas admisibles totales ( $Pad$ )**

Posteriormente se obtuvieron las pérdidas admisibles ( $Pad$ ), mediante la ecuación 23:

$$Pad = 0,2 * Po + \Delta Z \dots (23)$$

Donde:

$Po$  = Presión de operación media (mca)

$\Delta Z$  = Diferencia de altura (m)

#### **4.2.4.3 Pérdidas admisibles en la múltiple**

Luego se calculó las pérdidas admisibles que corresponden a la tubería múltiple, mediante la ecuación 24:

$$Hfadm = Pad - Hfl \dots (24)$$

Donde:

$P_{ad}$  = Pérdidas admisibles (mca)

$H_{fl}$  = Pérdidas por fricción en el lateral (mca)

#### 4.2.4.4 Pérdidas por fricción en la múltiple ( $H_{fm}$ )

Luego con ayuda del software Auto CAD 2021, se determinó la longitud de la tubería múltiple de cada sector de riego. Esto permitió estimar el diámetro de la tubería múltiple con ayuda de la ecuación Hazen Williams (ecuación 25):

$$D = \left( \frac{1,131 \times 10^9 * \left( \frac{Q}{C} \right)^{1,852} * L * f^{\frac{1}{4,872}}}{H_f} \right) \dots (25)$$

Donde:

$D$  = Diámetro interno (mm)

$Q$  = Caudal (m<sup>3</sup>/h)

$L$  = Longitud (m)

$f$  = Factor según el número de salidas en la lateral.

$H_f$  = Pérdidas admisibles (m)

$C$  = Coeficiente de Hazen Williams según el tipo de material

Después con ese diámetro teórico se buscó uno igual o mayor en catálogos de diámetros comerciales para PVC (Anexo 4). Posteriormente se calcularon las pérdidas por fricción de la tubería múltiple, mediante la combinación de diámetros, en tres pasos, siguiendo el procedimiento del punto 4.2.3.1

Posteriormente, se aplicó la metodología mencionada y utilizada del punto 4.2.3.2 al 4.2.3.6.

## **4.2.5 Automatización del sistema**

### **4.2.5.1 Selección del control**

Para la selección del control de riego se consideró la cantidad de zonas a regar, es decir la cantidad de electroválvulas necesarias para la operación del sistema de riego, por lo que se escogió un control eléctrico que permite la programación de varias estaciones.

Al conocer el tiempo de inicio y final del riego para cada sector, se pudo obtener el tiempo de recarga que tiene el foso de bombeo para poder abastecer el caudal necesario para cubrir las necesidades hídricas del siguiente sector a regar. Cabe destacar que el tiempo de recarga va a depender del volumen de aguas residuales que entren a la Planta de tratamiento, por lo que es necesario estar en constante regulación del sistema.

## **4.3 Objetivo Específico 2: Evaluación de las aguas residuales tratadas como fuente de fertilización de las zonas verdes del complejo hotelero, para su nutrición.**

### **4.3.1 Requerimientos nutricionales**

Al no contar con un análisis químico de suelo del sitio en estudio, se procedió a obtener los Kg/ha mínimos y máximos de los nutrientes considerados importantes en la nutrición del zacate bermuda, se obtuvo un promedio de los Kg/ha necesarios anualmente para nutrir de manera óptica el cultivo. Estos valores se consideraron para realizar el plan de fertilización, considerando que el suelo no va realizar ningún aporte nutricional y que se realizará una fertilización mensual. De esta forma, se registró la aplicación mensual en Kg/ha de los nutrientes Nitrógeno, Fósforo y Potasio, mediante la ecuación 26:

$$A \text{ mensual} = \frac{\text{Promedio de Kg/ha}}{N \text{ meses}} \dots (26)$$

Donde:

*A mensual* = Aplicación mensual (Kg/ha)

*Promedio Kg/ha* = Promedio de Kg/ha de nutriente al año (Kg/ha)

$N \text{ meses}$  = Número de meses al año (meses)

Luego la aplicación mensual obtenida de la ecuación 26, se múltiplo por 0,5 ha, que corresponde a la aplicación mensual para los 5000 m<sup>2</sup> de área en estudio.

Posteriormente al conocer que el zacate se encuentra siempre en estado vegetativo, se puede concluir que el plan de fertilización, va hacer el mismo para cada mes del año. La fertilización se va a distribuir en los 8 sectores que se deben regar, y se aplicaría fertirriego una única vez por mes, cubriendo un total de 5000 m<sup>2</sup>.

#### **4.3.2 Análisis de laboratorio obtenido de Planta de tratamiento de aguas residuales.**

Este dato nos permite poder aplicar la relación 100:5:1 que corresponde a Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) : Nitrógeno (N) : Fósforo (F), donde por cada 100 mg/L de DBO deben estar presentes 5 mg/L de Nitrógeno y 1 mg/L de Fósforo, para que se considere una composición adecuada del agua residual y es considerado un requisito para el buen funcionamiento del proceso de eliminación biológica de nutrientes (Romero, 2005). Lo mencionado anteriormente y el análisis físico-químico de las aguas residuales tratadas permiten estimar la concentración de estos nutrientes.

#### **4.3.3 Concentración y Kilogramos de nutrientes aportados por las aguas residuales tratadas**

Al obtener la concentración de Nitrógeno y Fósforo, se procedió a utilizar la ecuación 27, para estimar los Kg de cada uno de los nutrientes:

$$Kg \text{ de nutriente diarios} = Cn * V \text{ de PTAR} \dots (27)$$

Donde:

$Kg \text{ diarios de nutriente}$  = Nitrógeno, Fosforo y Potasio (Kg).

$Cn$  = Concentración de cada nutriente (Kg/m<sup>3</sup>).

$V \text{ de PTAR}$  = Volumen de Planta de tratamiento de aguas residuales (m<sup>3</sup>).

#### **4.3.4 Cantidad de días necesarios para suplir la necesidad nutricional del césped**

Al obtener los Kilogramos que aportan las aguas residuales tratadas en un día y al conocer los requerimientos mensuales del césped, se logró definir con la ecuación 28, la cantidad de días necesarios para cumplir con la nutrición mensual de las zonas verdes del complejo:

$$N \text{ de días necesarios} = \frac{A \text{ mensual para los } 5000 \text{ m}^2}{\text{Kg diarios de nutrientes}} \dots (28)$$

Donde:

*N de días necesarios* = Cantidad de días necesarios para cumplir con la nutrición mensual (días).

*A mensual para los 5000 m<sup>2</sup>* = Kg mensuales de nutrientes necesarios para los 5000m<sup>2</sup>.

*Kg diarios de nutriente* = Nitrógeno, Fosforo y Potasio (Kg).

Si al registrar con la ecuación 28, una cantidad menor a los 30 días necesarios para cumplir con la nutrición mensual, se puede concluir que las aguas residuales tratadas aportan los nutrientes esenciales para el césped.

#### **4.4 Objetivo Específico 3: Análisis de las propuestas desde un punto de vista económico, ambiental y social para la posterior elección y aplicación de la más viable de acuerdo con las necesidades del cliente.**

##### **4.4.1 Análisis de inversión**

El análisis de inversión consistió en realizar una oferta por cada diseño propuesto, donde se incluyeron equipos, materiales, accesorios y personal necesarios para la implementación del sistema de riego en el complejo hotelero, ubicado en la Provincia de Puntarenas. Esto nos permitió seleccionar la propuesta de diseño que aporte mayor durabilidad y eficiencia a largo plazo para el proyecto. Es importante mencionar que el proyecto busca el reúso de las aguas

residuales generadas por el hotel, por lo que no se busca identificar si hay una viabilidad financiera, sino más bien se pretende tener el sistema que mejor se adapte al proyecto hotelero.

#### 4.4.2 Análisis ambiental

Se realizó mediante el documento proporcionado por la Secretaría Técnica Nacional (SETENA), el cual se basa en la influencia de distintos factores en la construcción de la obra como consumo-afectación, impacto en el aire, impacto en el suelo, impacto humano y otros riesgos a considerar.

Dicho documento retorna un criterio de ponderación según la clasificación obtenida (Cuadro 5) donde se clasifica el proyecto según las medidas a realizar con el fin de disminuir su impacto ambiental. Dentro de las acciones a seguir se encuentran: estudio de impacto ambiental, pronóstico de plan de gestión ambiental, o bien, una Declaración Jurada de Compromisos Ambientales.

Cuadro 5. Calificación en función de la clasificación final del análisis de SETENA

Tipo	Nota	Procedimiento
A	Mayor que 1000.	Estudio de Impacto Ambiental.
B <sub>1</sub>	Mayor que 300 y menor o igual que 1000.	Pronóstico-Plan de Gestión Ambiental.
B <sub>2</sub>	Menor o igual que 300.	Declaración Jurada de Compromisos Ambientales.

Fuente. SETENA, (2016).

#### 4.4.3 Análisis social

Este análisis consistió en evaluar el impacto que puede generar a nivel productivo en la zona, considerando el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales, (N° 33601-MINAE-S, 2007), para así producir un bienestar general en la zona.

## **5. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS**

## 5.1 Evaluación de las condiciones

Se logró visitar una única vez el lugar donde se llevará a cabo el proyecto. Será en el Distrito de Cóbano, Provincia de Puntarenas.

En la visita se logró observar que el terreno presenta poca pendiente, esto hace que el terreno no muestre irregularidades, como se muestra en la Figura 3, además el terreno presenta una diferencia de altura de 0.30 metros según las cotas registradas en el diseño del proyecto. También su cercanía con el mar, favorece su leve pendiente.

Cabe rescatar que para el proceso constructivo el terreno deberá contar con una pendiente de 0%, esto por lineamientos del proyecto.



Figura 3. Terreno donde se llevará a cabo el proyecto.

La Figura 4 muestra la distribución de los sectores de riego en el lote. Estos sectores son de 625 m<sup>2</sup>, y se trató de conformarlos lo más similares posibles entre sí, para generar con una mayor facilidad la distribución de tuberías, por ende, se facilitó el diseño de los sistemas de riego.



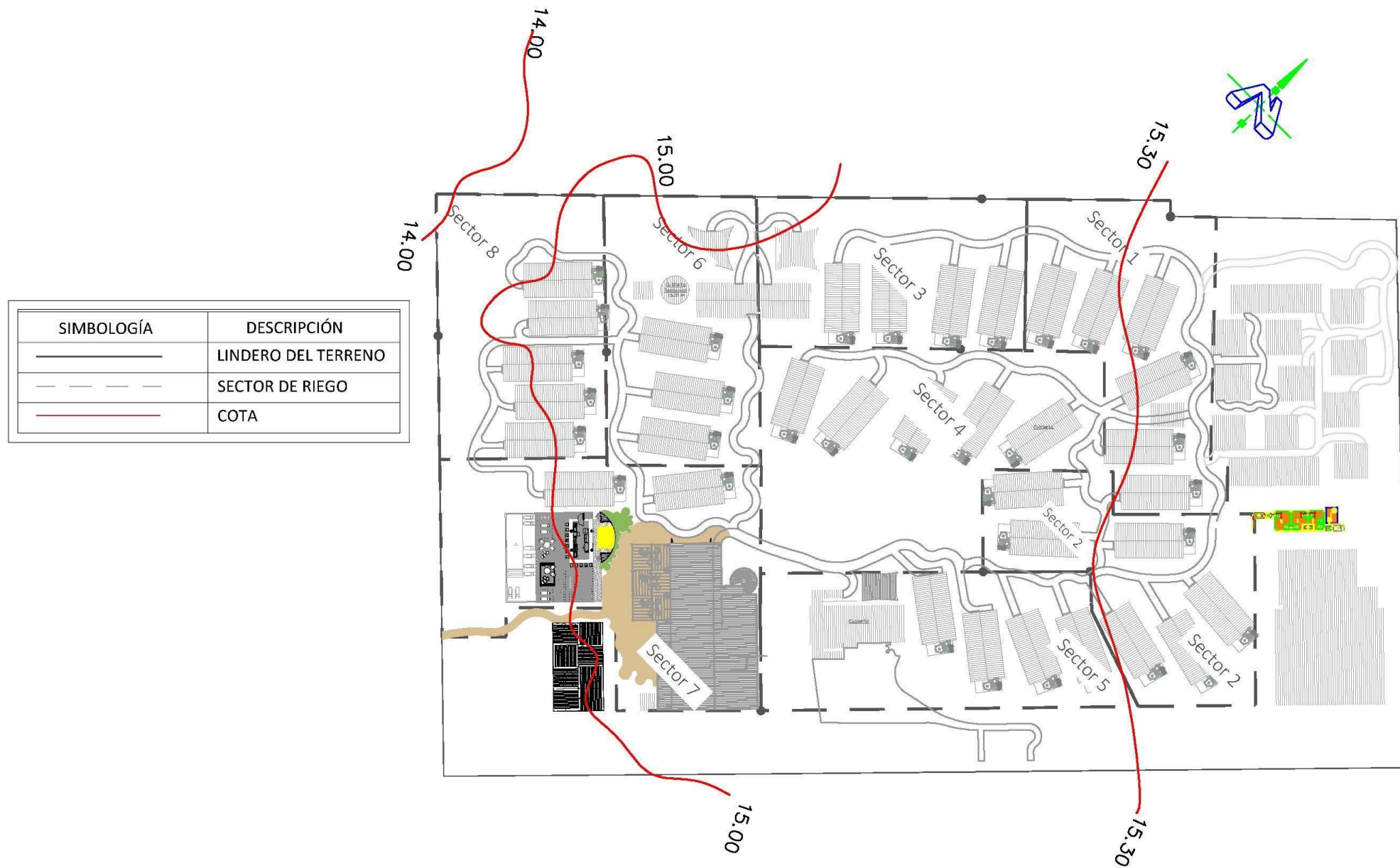


Figura 4. Distribución de los sectores de riego.

## 5.2 Objetivo Específico 1: Diseño de dos sistemas de riego por goteo que garanticen el manejo óptimo de las aguas residuales.

### 5.2.1 Diseño con Manguera de goteo

#### 5.2.1.1 Selección y distribución de la manguera de goteo

Se seleccionó la manguera autocompensada Metzerplast modelo Vered 16 mm comúnmente utilizada para la irrigación de zonas verdes con una presión máxima de 25,5 mca (36,3 psi). El Cuadro 6 muestra las características de la manguera:

Cuadro 6. Características de la manguera seleccionada.

Producto	Manguera Autocompensada
Marca	Metzerplast
Modelo	Vered 16 mm
Diámetro interno manguera (mm)	15,2
Espesor (mm)	0,6
Presión de operación mínima (mca)	5,1
Presión de operación máxima (mca)	25,5
Caudal de gotero (l/h)	1,2
Longitud máxima de lateral según caudal y espacio entre goteros (m)	202

La manguera mencionada es muy utilizada en el sector comercial para el diseño de sistemas de riego enfocados al paisajismo, para este diseño se contempló que está trabajando con una operación media, permitiendo asegurar un funcionamiento óptimo. Para el diseño se utilizó un espaciamiento de 0,30 metros entre goteros y 0,30 metros entre mangueras recomendadas para zacate, ya que son espaciamientos utilizados para una buena homogeneidad del riego para el zacate en zonas de clima caliente.

Se consideró que el sistema de riego está dirigido al reúso de aguas tratadas en zonas verdes, donde predomina un clima seco y donde se recomienda una lámina bruta de 9 mm para césped. El cliente solicitó que se dispusieran la menor cantidad de horas disponibles de riego. Por su parte, el área a irrigar se obtuvo a partir del volumen de la Planta de tratamiento y la

lámina bruta, coincidiendo con el área de zonas verdes que dispone el proyecto de 5000 m<sup>2</sup>. Al ser un terreno plano, no se presentan condiciones críticas con respecto a la pendiente y longitud máxima de la manguera de goteo.

#### **5.2.1.2 Trazo de tubería múltiple y distribución de válvulas**

El diseño del complejo muestra una irregularidad importante en la distribución de zonas verdes, por lo que inicialmente se obtuvo la cantidad de sectores a regar, esto permitió distribuir en áreas iguales las zonas verdes disponibles.

Posteriormente se inició con la distribución de la tubería múltiple en cada sector de riego, se utilizaron los bordes de los caminos para distribuir la tubería, como se muestra en la Figura. 5.

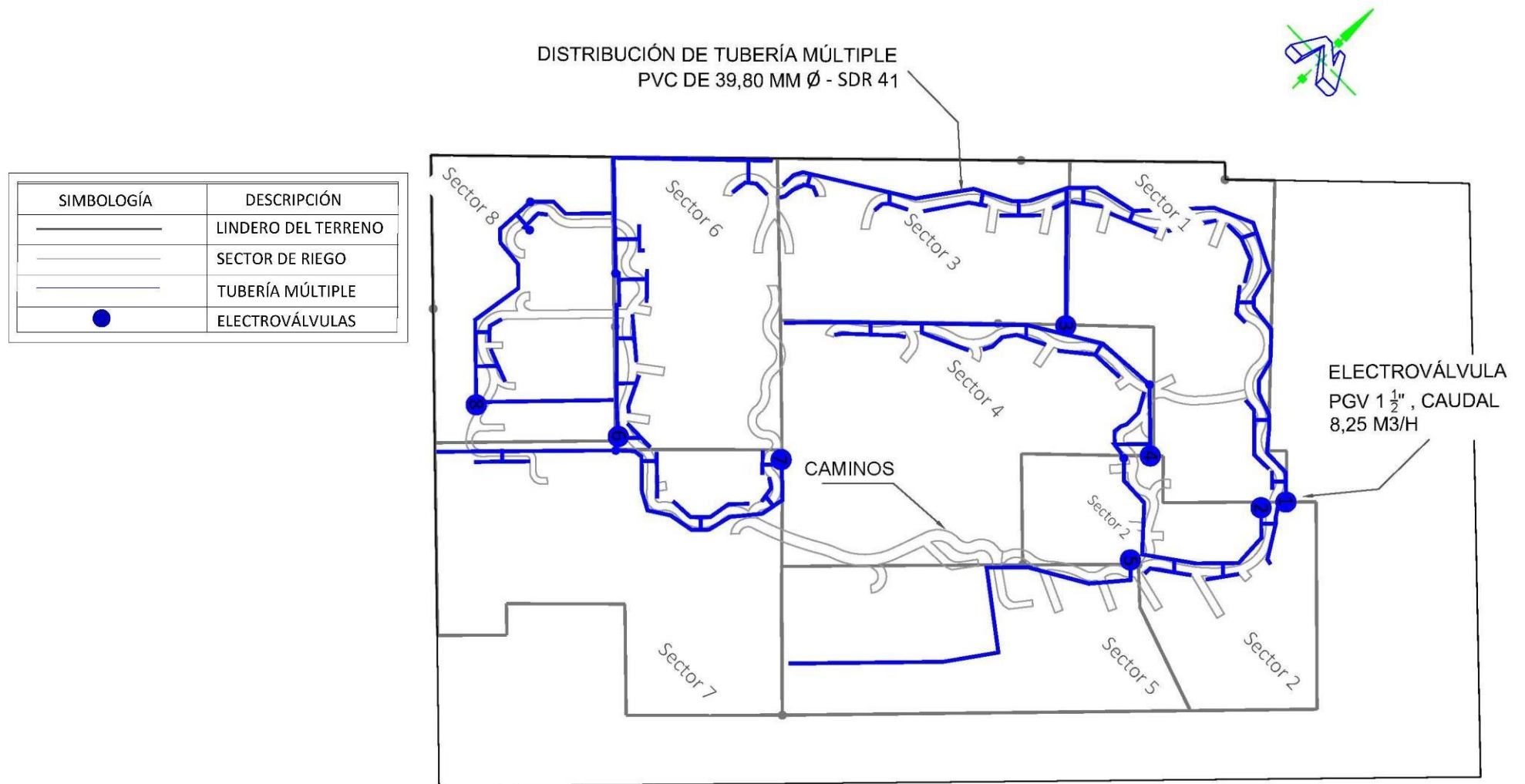


Figura 5. Distribución de tubería múltiple en diseño con manguera autocompensada.

Para el diseño de la tubería múltiple se consideró las condiciones más críticas de cada sector. Por medio de la ecuación 7 de Hazen Williams se determinaron las pérdidas por fricción de la múltiple. Se utilizó la metodología de la combinación de diámetros, con el fin de optimizar el diseño de cada sector y los costos del sistema.

El cuadro 7, registró los valores obtenidos y escogidos para el paso 1, de la metodología explicada anteriormente, donde se obtuvo 3,78 mca como las mayores pérdidas parciales en la múltiple, esto para el sector 1 utilizando un diámetro de tubería comercial de 39,80 mm.

Cuadro 7. Pérdidas parciales en el múltiple mediante la combinación de diámetros.

Sector	Diámetro interno tramo 1 (mm)	Longitud total de tubería (m)	f total	Q (m <sup>3</sup> /h)	C	H <sub>f</sub> (mca)
Sector 1	39,80	123,50	0,36	8,25	150	3,78
Sector 2		65,50				2,01
Sector 3		114,50				3,50
Sector 4		123,00				3,77
Sector 5		75,00				2,30
Sector 6		112,00				3,43
Sector 7		111,00				3,39
Sector 8		115,00				3,52

Posteriormente el paso 2 permitió obtener pérdidas parciales del tramo dos de la tubería múltiple, registrando las mayores pérdidas en el sector 1, según el Cuadro 8.

Cuadro 8. Pérdidas parciales del tramo dos, mediante la combinación de diámetros.

Sector	Ancho del sector (m)	Longitud del tramo 2 (m)	Área del tramo 2 (m <sup>2</sup> )	Q tramo 2 (m <sup>3</sup> /h)	f2	Hf2 (mca)
Sector 1	5,06	61,75	312,50	4,13	0,36	0,52
Sector 2	9,54	32,75				0,28
Sector 3	5,46	57,25				0,48
Sector 4	5,08	61,50				0,52
Sector 5	8,33	37,50				0,32
Sector 6	5,58	56,00				0,47
Sector 7	5,63	55,50				0,47
Sector 8	5,43	57,50				0,49

Luego con el paso 3 y las pérdidas parciales de los Paso 1 y Paso 2, se procedió a obtener las pérdidas del tramo uno (Cuadro 9), registrando el sector 1 las principales pérdidas con 3,26 mca.

Cuadro 9. Pérdidas por fricción en el tramo uno, mediante la combinación de diámetros.

Sector	Hftramo1
Sector 1	3,26
Sector 2	1,73
Sector 3	3,01
Sector 4	3,24
Sector 5	1,98
Sector 6	2,95
Sector 7	2,92
Sector 8	3,03

Posteriormente, se calcularon las pérdidas del tramo dos con la ecuación 7, considerando los datos del Cuadro 10, donde se tomó la longitud y caudal del tramo uno, además se eligió el coeficiente F para el número de salidas en la tubería del tramo uno y el diámetro del tramo dos de 39,80 mm.

Cuadro 10. Pérdidas por fricción en el tramo 2, mediante la combinación de diámetros.

Sector	Longitud de tramo 1 (m)	Área del tramo 1 (m <sup>2</sup> )	Q tramo 1 (m <sup>3</sup> /h)	Diámetro interno tramo 2	Hftramo 2
Sector 1	61,75	312,50	4,13	39,80	0,52
Sector 2	32,75				0,28
Sector 3	57,25				0,48
Sector 4	61,50				0,52
Sector 5	37,50				0,32
Sector 6	56,00				0,47
Sector 7	55,50				0,47
Sector 8	57,50				0,49

Finalmente, se procedió a obtener las pérdidas por fricción totales en la múltiple (*Hft mul*).

Durante el desarrollo de la metodología se identificó que para este primer diseño la combinación de diámetros no es necesaria para ninguno de los sectores, esto porque al diseñar los tramos de cada sector con el diámetro menor recomendado de 39,80 mm para sistemas de riego por goteo, se obtuvieron resultados positivos.

El Cuadro 11, registró que el caudal que debe de ser aportado a cada sector es de 8,25 m<sup>3</sup>/h, el cual, con una longitud máxima de tubería múltiple de 123,5 metros para el sector 1. Este mismo sector, registró las mayores pérdidas por fricción con 3,78 mca (5,38 psi). Por su parte la velocidad fue de 1,84 m/s, considerada dentro del rango de velocidad permisible de 1,5 m/s a 3 m/s.

Cuadro 11. Pérdidas por fricción en la tubería múltiple de cada sector de riego.

<b>Dato</b>	<b>Sector 1</b>	<b>Sector 2</b>	<b>Sector 3</b>	<b>Sector 4</b>	<b>Sector 5</b>	<b>Sector 6</b>	<b>Sector 7</b>	<b>Sector 8</b>
Diámetro interno del tramo 1 y 2 (mm)	39,80	39,80	39,80	39,80	39,80	39,80	39,80	39,80
Longitud total de la tubería (m)	123,50	65,50	114,50	123,00	75,00	112,00	111,00	115,00
Q total (m <sup>3</sup> /h)	8,25	8,25	8,25	8,25	8,25	8,25	8,25	8,25
Hf totales en la múltiple (mca)	3,78	2,01	3,50	3,77	2,30	3,43	3,39	3,52
Hf totales en la múltiple (psi)	5,38	2,85	4,97	5,35	3,27	4,88	4,82	5,01
Velocidad del flujo en la tubería múltiple total (m/s)	1,84	1,84	1,84	1,84	1,84	1,84	1,84	1,84

Posteriormente se escogió una válvula presente en el mercado (Anexo 3), lo que permitió obtener en el Cuadro 12, las pérdidas por fricción que esta genera. También se escogió una presión de válvula necesaria para que el sistema funcione de manera óptima, Al tener estos dos valores se procedió a obtener el valor de la presión en la entrada de la múltiple, necesaria para un funcionamiento adecuado de cada sector y el sistema en general.

Cuadro 12. Presión en la entrada de la múltiple según la válvula escogida

<b>Dato</b>	<b>mca</b>	<b>psi</b>
Presión en la válvula	20,00	28,44
Hf válvula	2,04	2,90
Presión en la entrada de la múltiple	17,96	25,54

Luego se procedió a calcular la presión en la múltiple mediante la ecuación 12, finalmente se calculó la presión distal en la múltiple para asegurar que la presión de llegada a la



última manguera de goteo estuviera entre el rango de presiones ideales de funcionamiento de esta. El Cuadro 13 muestra que la presión distal menor fue de 13,7 mca (19,5 psi) la cual se obtuvo en el sector 1. Al igual que las demás presiones distales obtenidas se registraron por encima de la presión mínima de operación de la manguera de goteo que corresponde a 5,1 mca. Al estar todas las presiones cerca de la presión media de operación, permite confirmar que las mangueras de goteo de todos los sectores tendrán una buena presión de operación.

Cuadro 13. Presión en la tubería múltiple de cada sector de riego.

Sector	Presión en múltiple (mca)	Presión en múltiple (psi)	Presión distal múltiple (mca)	Presión distal múltiple (psi)
Sector 1	15,2	21,6	13,7	19,5
Sector 2	16,5	23,5	15,5	22,0
Sector 3	15,4	21,9	14,0	19,9
Sector 4	15,2	21,6	13,7	19,5
Sector 5	16,3	23,2	15,2	21,6
Sector 6	15,4	21,9	14,0	20,0
Sector 7	15,5	22,0	14,1	20,0
Sector 8	15,4	21,8	13,9	19,8

### 5.2.1.3 Trazo de tubería principal

Para la distribución de la tubería principal se buscó llegar a cada sector de riego de la forma más sencilla. El primer valor que se considero fue el caudal de la principal, el cual corresponde al caudal de un sector de riego, ya que todos los sectores dispondrán del mismo caudal. Posteriormente se asignó una velocidad permisible de 1,70 m/s para obtener un diámetro de tubería principal, con este valor y el Anexo 4, se definió un diámetro comercial de 45,90 mm, para posteriormente recalculer la velocidad del flujo, la cual según el Cuadro 14, es de 1,38 m/s, siendo una velocidad aceptable.

Posteriormente se calcularon las pérdidas generadas por fricción en la tubería principal, las cuales se consideraron con las pérdidas por fricción secundarias y las generadas por

componentes como las válvulas, la diferencia de altura y los filtros de anillos, para así obtener la carga dinámica total (CDT) que debe vencer la bomba seleccionada, en este caso es necesaria una bomba de 1,28 HP.

Cuadro 14. Cálculos registrados para la tubería principal.

<b>Tubería Principal</b>	
Caudal de principal (m <sup>3</sup> /h)	8,25
Velocidad permisible (m/s)	1,70
Diámetro de Principal (mm)	41,43
Diámetro comercial (mm)	45,90
Velocidad del flujo en tubería principal (m/s)	1,38
Longitud de tubería principal (m)	186,00
Hf en tubería principal (mca)	7,83
Hf secundarios (mca)	1,15
Hf en la válvula (mca)	2,04
$\Delta z$ (m)	2,00
Hf en los filtros de anillos (mca)	1,22
CDT (mca)	29,41
HP	1,28

La Figura 6, muestra la distribución de la tubería principal, la cual llevará un caudal de 8,25 m<sup>3</sup>/h a cada uno de los sectores de riego. La longitud máxima de la tubería principal es de 186 metros, permitiendo abastecer el sector de riego más lejano, en este caso el sector 8.

TUBERÍA PRINCIPAL PVC DE 45,90 MM Ø - SDR 41,  
LONGITUD TOTAL 186 M.



SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
	LINDERO DEL TERRENO
	SECTOR DE RIEGO
	TUBERÍA PRINCIPAL
	ELECTROVÁLVULAS

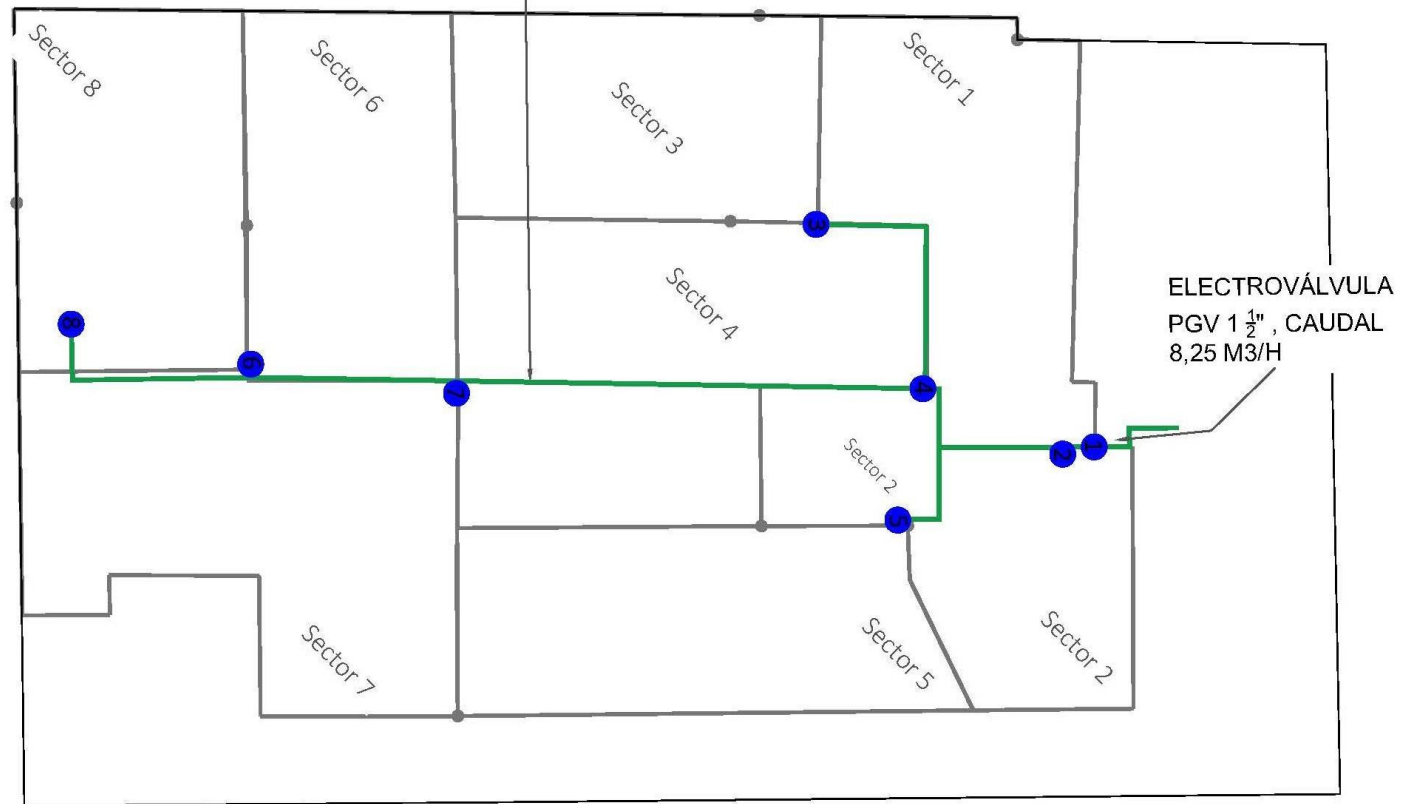


Figura 6. Distribución de tubería principal en diseño con manguera autocompensada.

Finalmente, el Cuadro 15 muestra que cada sector de riego contará con 6875 goteros, para un caudal de 8,25 m<sup>3</sup>/h, que corresponde a un volumen de 5,57 m<sup>3</sup> de agua. Esto permite aplicar un total de 45 m<sup>3</sup> de agua tratada en un día.

Cuadro 15. Verificación de volumen aplicado de agua tratada por día.

<b>Datos de verificación</b>	
Número de goteros por sector	6875
Área total cubierta con riego (m <sup>2</sup> )	5000
Caudal por sector de riego (L/h)	8250
Caudal por sector de riego (m <sup>3</sup> /h)	8,25
Volumen de agua aplicado por sector (m <sup>3</sup> )	5,57
Volumen de agua total aplicado (m <sup>3</sup> )	45

#### 5.2.1.4 Ciclo del sistema de riego

El Cuadro 16, muestra la distribución del riego, donde de forma aleatoria se designó que el primer sector que se regará, será el 8, con un caudal de 8250 L/h al igual que los demás sectores, ya que como lo muestra el cuadro, todos los sectores cuentan con la misma área y por ende la misma cantidad de goteros.

Cuadro 16. Distribución del riego con manguera en los sectores.

N° aleatorio	N° sector	Área final (m <sup>2</sup> )	Longitud de múltiple en Autocad (m)	N° goteros	Caudal (L/h)
0,1068834	8	625	115	6875	8250
0,3333498	6	625	112	6875	8250
0,4317895	3	625	114,5	6875	8250
0,492686	4	625	123	6875	8250
0,7454922	1	625	123,5	6875	8250
0,7463707	2	625	65,5	6875	8250
0,8278341	5	625	75	6875	8250
0,8432886	7	625	111	6875	8250
<b>Total</b>		<b>5000</b>			





El Cuadro 17, registra el tiempo de recarga que deberá tener el tanque de almacenamiento del agua tratada para riego, ya que este tanque tiene un volumen de 10 m<sup>3</sup> de capacidad. Conociendo el volumen de agua que se debe aplicar de 5,57 m<sup>3</sup> y el tiempo de riego de cada sector de 0,68 horas (aproximadamente 41 minutos), nos permite estimar que el tiempo de recarga es de 2,65 horas entre riegos, esto para que todos los sectores se puedan regar en un mismo día. Cabe mencionar, que es difícil que se cumpla, porque dependemos del volumen de las aguas residuales generadas por el hotel. Por ende, es importante realizar este cálculo una vez que entre en funcionamiento el hotel, para poder estimar los volúmenes generados en diferentes épocas, como por ejemplo la temporada alta y baja de visitantes al hotel.

Cuadro 17. Ciclo del sistema de riego en horas con manguera de goteo.

Sector	Hora de inicio (h)	Hora final (h)	T recarga (h)
8	0	0,68	2,65
6	3,33	4,00	2,65
3	6,65	7,33	2,65
4	9,98	10,65	2,65
1	13,30	13,98	2,65
2	16,63	17,30	2,65
5	19,95	20,63	2,65
7	23,28	<b>23,95</b>	
Tiempo de riego por sector 0,68 horas = 40 minutos			

La Figura 7 muestra el diseño del sistema de riego, con su respectiva distribución de tuberías para los sectores a regar. También se muestran las características de las tuberías como su diámetro y longitudes. Las mangueras de goteo se decidió no mostrarlas en la Figura 7, para evitar una saturación de líneas, esto porque las mangueras van espaciadas cada 0.30 metros entre sí, por lo tanto, solo se representa el área de colocación de mangueras.

### SIMBOLOGÍA DE SISTEMA DE RIEGO

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
	TUBERÍA PRINCIPAL	TUBERÍA PVC DE 45,9mm Ø - SDR 41
	TUBERÍA MÚLTIPLE	TUBERÍA PVC DE 39,8mm Ø - SDR 41
	SECTORES DE RIEGO	OCHO SECTORES DE RIEGO
	ELECTROVÁLVULAS	OCHO ELECTROVÁLVULAS Raid Bird serie DV Caudal de 9,08 m3/h, presión de 1 hasta 10,4 bares

MANGUERAS DE GOTEO, ESPACIADAS @30cm, MARCA METZERPLAST MODELO VERED 16mm, ESPESOR 0,6mm. ESPACIAMIENTO ENTRE GOTEROS @30cm

### LONGITUDES DE TUBERÍAS

DESCRIPCIÓN	LONGITUD
TUBERÍA PRINCIPAL	186 m
TUBERÍA MÚLTIPLE	839 m
MANGUERA DE GOTEO	18333 m

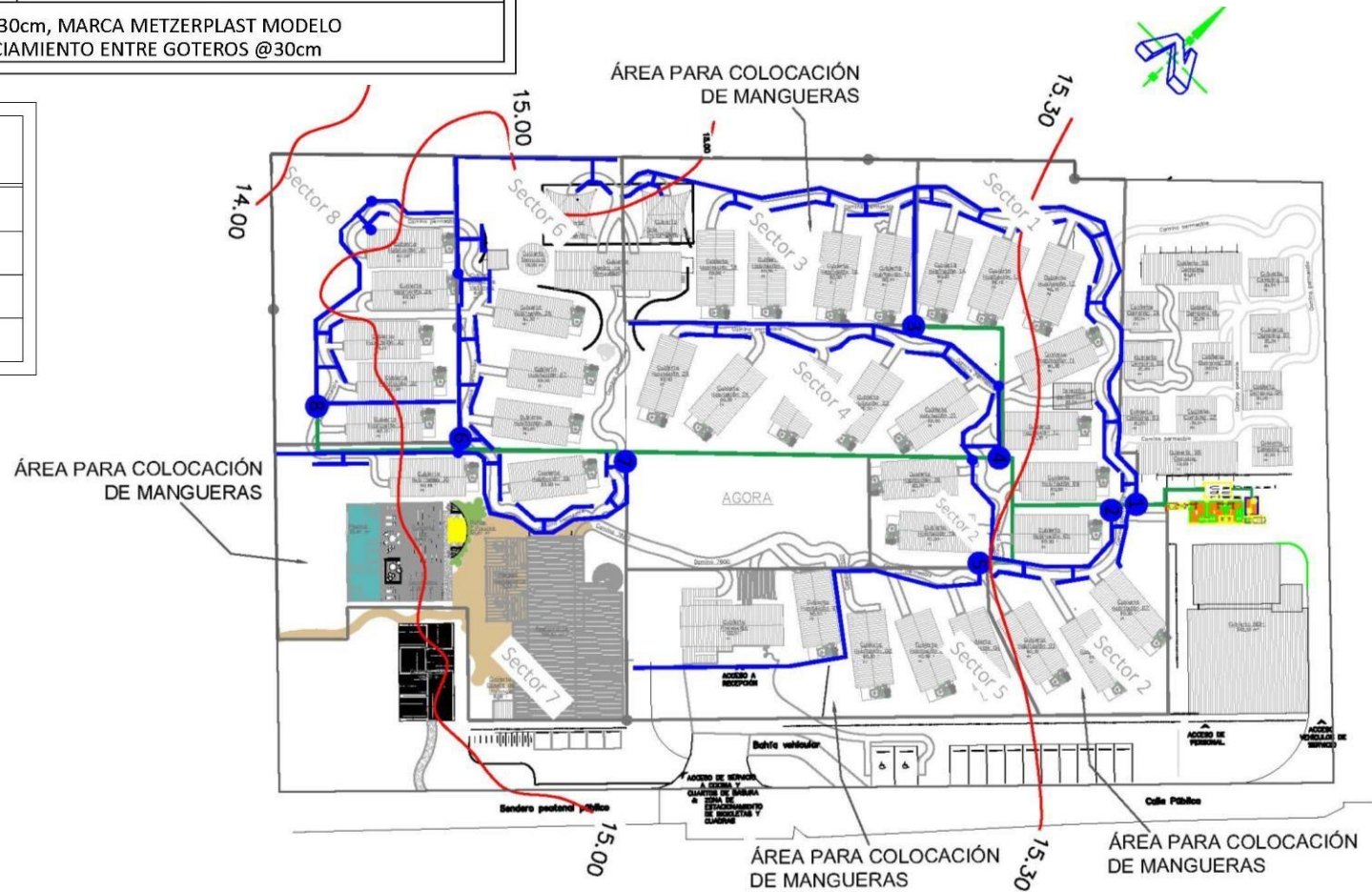


Figura 7. Diseño del sistema de riego por goteo utilizando manguera de autocompensada.

## 5.2.2 Diseño con Cinta de goteo

### 5.2.2.1 Selección y distribución de cinta de goteo

Se seleccionó, la cinta de goteo Steamline Plus TM 16060, comúnmente utilizada para la irrigación de zonas verdes con una presión de 10,2 mca (14,4 psi). El Cuadro 18 muestra sus características:

Cuadro 18. Características de la cinta de goteo seleccionadas.

Producto	Cinta de goteo
Marca	STREAMLINE PLUS
Modelo	TM 16060
Diámetro interno manguera (mm)	16,2
Espesor (mm)	0,15
Presión de operación mínima (mca)	--
Presión de operación máxima (mca)	10,2
Caudal de gotero (l/h)	1,1
Longitud máxima de lateral según caudal y espacio entre goteros (m)	--

La cinta mencionada es muy utilizada en el sector comercial para el diseño de sistemas de riego enfocados al paisajismo, para este diseño se planteó tener una presión cercana a la presión máxima de la cinta de goteo en la entrada de la múltiple. Se utilizó espaciamientos de 0,30 metros entre goteros y 0,30 metros entre cintas recomendadas para zacate, ya que son espaciamientos utilizados para una buena homogeneidad del riego para el zacate.

Además, se consideró que el sistema de riego está dirigido al reúso de aguas tratadas en zonas verdes, donde predomina un clima seco y donde se recomienda una lámina bruta de 9 mm para zacate. Por su parte, el área a irrigar se obtuvo a partir del volumen de la Planta de tratamiento y la lámina bruta, coincidiendo con el área de zonas verdes que dispone el proyecto de 5000 m<sup>2</sup>. Al ser un terreno plano, no se presentan condiciones críticas con respecto a la pendiente.

### 5.2.2.2 Pérdidas por fricción en el lateral (*Hfl*)

Mediante Hazen y Williams se estimaron las pérdidas por fricción en el lateral más crítico de cada sector, como se muestra en el Cuadro 19, los valores obtenidos fueron muy bajos esto debido a que el diámetro comercial utilizado para el cálculo, es mayor a los diámetros cálculos. El lateral con las mayores pérdidas por fricción utilizando el diámetro comercial, fue el sector 7, con un valor de 0,02 mca, mientras que el sector 1 registró las menores pérdidas por fricción.

Cuadro 19. Pérdidas por fricción en el lateral (*Hfl*).

Sector	<i>Hfl</i> (m)
1	0,004
2	0,01
3	0,01
4	0,01
5	0,01
6	0,01
7	0,02
8	0,01

### 5.2.2.3 Trazo de tubería múltiple y distribución de válvulas

Posteriormente en el Cuadro 20 se registraron las pérdidas admisibles totales (*Pad*); en su cálculo se considera la presión de operación de la cinta de goteo y la diferencia de altura que tendrá la cinta. Esta diferencia de altura entre sectores es mínima, esto porque el terreno es plano, haciendo que *Pad* sean muy similares para todos los sectores de riego.

Cabe destacar que a las *Pad* se les resto las pérdidas por fricción del lateral (*Hfl*), obteniendo las pérdidas admisibles de la tubería múltiple (*Hadm*), siendo éstas muy similares a las *Pad*, ya que las *Hfl* registradas fueron mínimas como se registró en el Cuadro 19.

Es importante mencionar que el trazo de la tubería múltiple y la distribución de las válvulas en el diseño del sistema de riego con cinta de goteo no cambió, se utilizó la misma distribución que en el diseño del sistema de riego con manguera autocompensada.



Cuadro 20. Pérdidas admisibles totales (*Pad*) y pérdidas admisibles en la múltiple (*Hadm*), registradas para los sectores de riego.

Sector de riego	Pérdidas admisibles totales ( <i>Pad</i> ) (mca)	Pérdidas admisibles en la múltiple ( <i>Hadm</i> ) (mca)	Diámetro calculado de múltiple (mm)
1	2,64	2.64	41.39
2	2,64	2.63	36.36
3	2,54	2.53	41.08
4	2,54	2.53	41.69
5	2,54	2.53	37.67
6	2,64	2.63	40.58
7	2,54	2.52	40.87
8	2,54	2.53	41.12

Posteriormente se obtuvo el diámetro calculado de la tubería múltiple de cada sector considerando las pérdidas admisibles de la múltiple (*Hadm*) correspondiente. Esto permitió obtener los diámetros comerciales necesarios para el diseño. Conociendo los diámetros ideales para diseño, se procedió a combinar los diámetros de las tuberías comerciales más próximas al diámetro calculado.

El Cuadro 21, registra las longitudes correspondientes a los diámetros utilizados de 39,80 mm y 45,90 mm para cada sector y sus respectivas pérdidas por fricción. Cabe destacar que el sector 2 registra en la tubería múltiple, una longitud del diámetro menor muy corta y pérdidas por fricción importantes, lo que indica que la velocidad en ese tramo es muy baja, generando un flujo laminar en ese tramo; esto se logró confirmar obteniendo el número de Reynolds de 536, siendo menor al valor de 2000, el cual indica que el movimiento de las partículas en la tubería es laminar.

Cuadro 21. Longitudes y pérdidas por fricción de cada tramo según el sector de riego.

Sector	Longitud de diámetro mayor (m)	Pérdidas por fricción en diámetro mayor (mca)	Longitud de diámetro menor (m)	Pérdidas por fricción en diámetro menor (mca)	Pérdidas totales (mca)
1	84,00	1,54	39,00	1,08	2,62
2	65,00	0,85	0,5	0,24	2,52
3	58,50	1,29	56,00	1,21	2,50
4	81,50	1,53	41,50	0,99	2,52
5	69,00	0,97	6,00	1,54	2,52
6	82,00	1,42	30,00	1,20	2,62
7	79,50	1,40	31,50	1,11	2,51
8	80,50	1,45	34,50	1,08	2,53

El Cuadro 22 muestra las áreas que cubren el diámetro mayor y el diámetro menor, y sus velocidades respectivas. Como se mencionó anteriormente el sector 2 registró la velocidad más baja en el tramo con el diámetro menor, mientras que los sectores 3 y 4 registraron las velocidades más estables en la combinación de diámetros, cumpliendo con el área de 625 m<sup>2</sup> para cada sector.

Cuadro 22. Área de cada tramo y sus velocidades según los diámetros utilizados.

Sector	Área tramo 1 del sector (m <sup>2</sup> )	Área tramo 2 del sector (m <sup>2</sup> )	Área total (m <sup>2</sup> )	Velocidad del flujo en tramo 1 (m/s)	Velocidad del flujo en tramo 2 (m/s)
1	427	198	625	1,3	0,5
2	620	5	625	1,3	0,01
3	319	306	625	1,3	0,8
4	414	211	625	1,3	0,6
5	575	50	625	1,3	0,1
6	458	167	625	1,3	0,5
7	448	177	625	1,3	0,5
8	438	188	625	1,3	0,5

Luego se asignó una presión a la válvula de 12 mca, ya que esta válvula tiene la ventaja de poder ser calibrada a la presión deseada, lo que permitió asignar una presión dentro de su rango de trabajo y a su vez una presión de operación inferior a la presión máxima de operación de la cinta de goteo. Posteriormente se restaron las pérdidas generadas por la válvula según su ficha técnica (Anexo 3), para obtener la presión en la entrada de la múltiple. Para obtener la presión en la múltiple se utilizó la ecuación 11, donde finalmente se obtuvo una presión distal de 6,84 mca como la más baja, para los sectores 1 y 6. Esta presión distal de la múltiple debe estar por debajo de la presión máxima de operación de la cinta al igual que la presión de entrada en la múltiple para evitar la ruptura de la cinta de goteo por exceso de presión. El Cuadro 23 muestra que las demás presiones distales obtenidas se registraron por debajo de la presión máxima de operación de la cinta de goteo que corresponde a 10,2 mca. Esto permite confirmar que las cintas de goteo de todos los sectores tendrán una buena presión de operación.

Cuadro 23. Presiones obtenidas en la tubería múltiple del diseño con cinta de goteo.

<b>Sector</b>	<b>Presión en la válvula (mca)</b>	<b>Presión en la entrada de la múltiple (mca)</b>	<b>Presión en múltiple (mca)</b>	<b>Presión distal múltiple (mca)</b>
Sector 1	12,00	9,96	8,06	6,84
Sector 2	12,00	9,96	8,13	6,94
Sector 3	12,00	9,96	8,15	6,96
Sector 4	12,00	9,96	8,14	6,94
Sector 5	16,00	9,98	8,16	6,97
Sector 6	12,00	9,96	8,06	6,84
Sector 7	12,00	9,96	8,14	6,95
Sector 8	12,00	9,96	8,13	6,93

La Figura 8 muestra la distribución de la tubería múltiple, donde se logra percibir los tramos de tubería que corresponden al diámetro mayor de 45,90 mm y al diámetro menor de 39,80 mm, así como sus longitudes correspondientes para cada sector. También se identificó que el caudal será de 7.56 m<sup>3</sup>/h.

SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
	LINDERO DEL TERRENO
	SECTOR DE RIEGO
	TUBERÍA MÚLTIPLE PVC DE 45,90 MM Ø - SDR 41
	TUBERÍA MÚLTIPLE PVC DE 39,80 MM Ø - SDR 41
	ELECTROVÁLVULAS

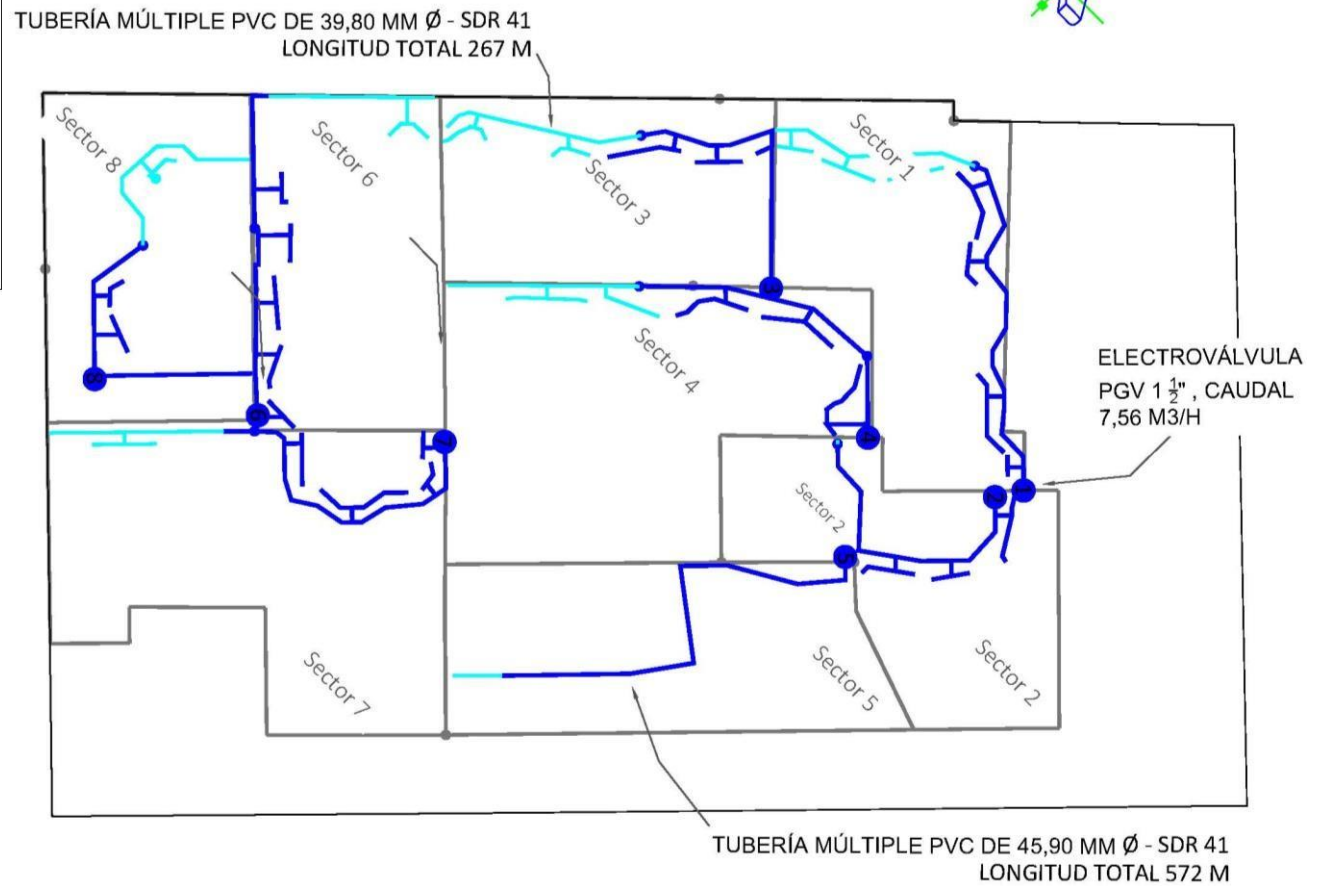


Figura 8. Distribución de tubería múltiple en diseño con cinta de goteo.

#### 5.2.2.4 Trazo de tubería principal

Para la distribución de la tubería principal se buscó llegar a cada sector de riego de la forma más sencilla. El primer valor que se consideró fue el caudal de la principal, el cual corresponde al caudal de un sector de riego, ya que todos los sectores dispondrán del mismo caudal de 7,56 m<sup>3</sup>/h. Posteriormente se asignó una velocidad permisible de 1,60 m/s para obtener un diámetro de tubería principal, con este valor y el Anexo 4, se definió un diámetro comercial de 45,90 mm, para posteriormente recalcular la velocidad del flujo, la cual según el Cuadro 24, es de 1,27 m/s, indicando que no habrá problemas de un exceso de turbulencia del flujo ni deposición de sedimentos por baja velocidad.

Posteriormente se calcularon las pérdidas generadas por fricción en la tubería principal, las cuales se consideraron con las pérdidas por fricción secundarias y las generadas por componentes como las válvulas, la diferencia de altura y los filtros de anillos, para así obtener la carga dinámica total (CDT) que debe vencer la bomba seleccionada, en este caso es necesaria una bomba de 1,00 HP (Anexo 7).

Cuadro 24. Cálculos registrados para la tubería principal.

<b>Dato</b>	<b>Valor</b>
Caudal de principal (m <sup>3</sup> /h)	7,56
Velocidad permisible (m/s)	1,60
Diámetro de Principal (mm)	40,89
Diámetro comercial (mm)	45,90
Velocidad del flujo en tubería principal (m/s)	1,27
Longitud de tubería principal (m)	186,00
Hf en tubería principal (mca)	6,66
Hf secundarias (mca)	0,68
Hf en la válvula (mca)	2,04
$\Delta z$ (m)	2,00
Hf en los filtros de anillos (mca)	1,22
CDT	19,58
HP	1

Por su parte, la figura 9 muestra la distribución de la tubería principal, esta no presentó cambios con respecto a la distribución de la tubería realizada para el diseño 1, ya que dicha distribución busca optimizar los costos por tubería. También cabe mencionar, que para este diseño el caudal de  $7,56 \text{ m}^3/\text{h}$  es menor que el presentado en el diseño 1, debido a que el gotero de la cinta de goteo tiene un caudal de  $1,1 \text{ L/h}$  siendo menor al caudal de la manguera autocompensada de  $1,2 \text{ L/h}$  del diseño 1, y se sabe que todos los sectores de riego tendrán la misma cantidad de goteros independientemente del diseño que sea porque todos los sectores de riego tienen las mismas dimensiones, generando un cambio entre los tiempos de riego de los diseños.

TUBERÍA PVC PRINCIPAL DE 45,90 MM Ø - SDR 41,  
LONGITUD TOTAL 186 METROS.



SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
	LINDERO DEL TERRENO
	SECTOR DE RIEGO
	TUBERÍA PRINCIPAL
	ELECTROVÁLVULAS

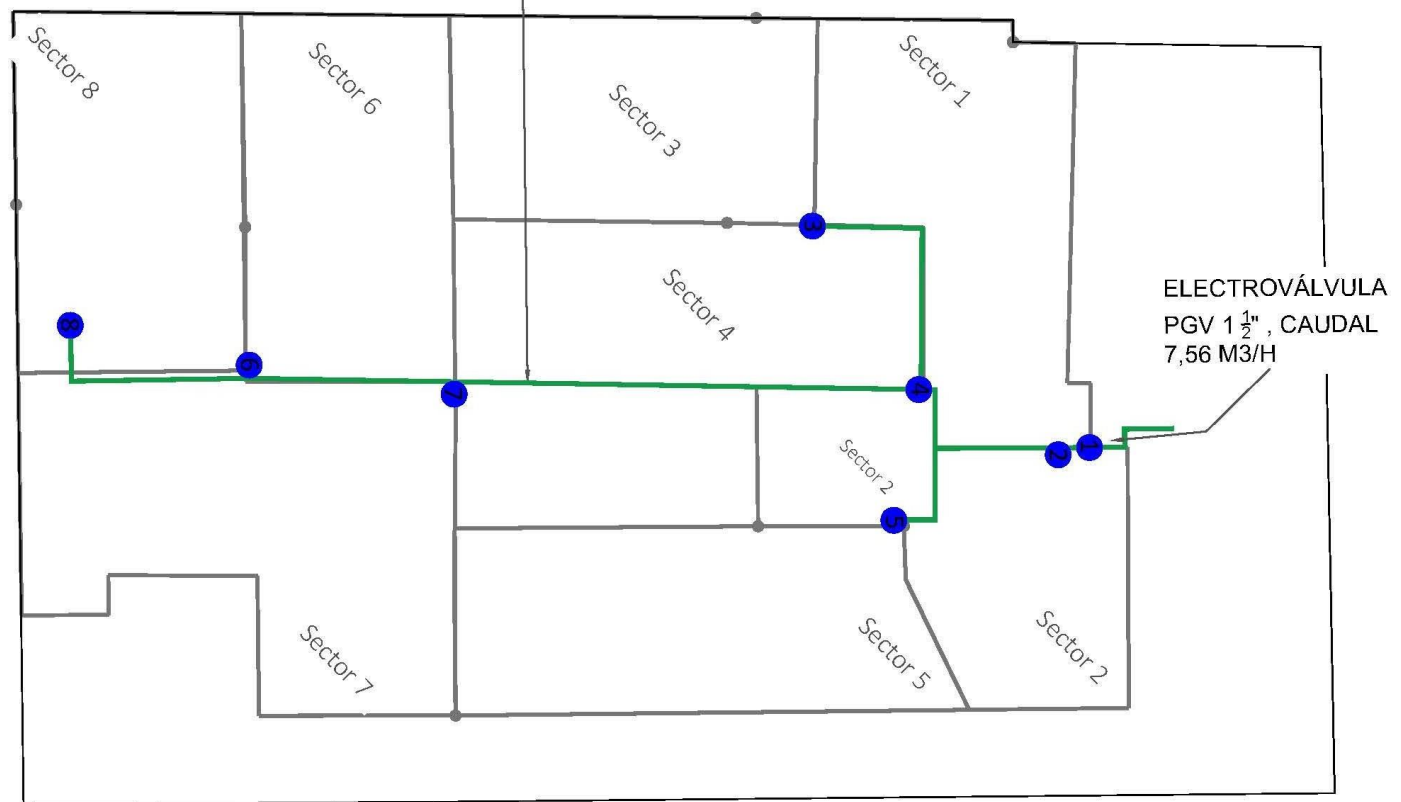


Figura 9. Distribución tubería principal en diseño con cinta de goteo.

Finalmente, el Cuadro 25 muestra que cada sector de riego contará con 6875 goteros, para un caudal de 7,56 m<sup>3</sup>/h, que corresponde a un volumen de 5,57 m<sup>3</sup> de agua por sector.

Cuadro 25. Verificación de volumen aplicado de agua tratada por día.

<b>Datos de verificación</b>	
Número de goteros por sector	6875
Área total cubierta con riego (m <sup>2</sup> )	5000
Caudal por sector de riego (L/h)	7563
Caudal por sector de riego (m <sup>3</sup> /h)	7,56
Volumen de agua aplicado por sector (m <sup>3</sup> )	5,57
Volumen de agua total aplicado (m <sup>3</sup> )	45

### 5.2.2.5 Ciclo del sistema de riego

El Cuadro 26, muestra la distribución del riego, donde de forma aleatoria se designó que el primer sector que se regará será el 8, con un caudal de 7563 L/h al igual que los demás sectores, ya que como lo muestra el cuadro, todos los sectores cuentan con la misma área y por ende la misma cantidad de goteros.

Cuadro 26. Distribución del riego con cinta de goteo en los sectores.

<b>N° aleatorio</b>	<b>N° sector</b>	<b>Área final (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Longitud de múltiple en Autocad (m)</b>	<b>N° goteros</b>	<b>Caudal (L/h)</b>
0,1068834	8	625	115	6875	7563
0,3333498	6	625	112	6875	7563
0,4317895	3	625	114,5	6875	7563
0,492686	4	625	123	6875	7563
0,7454922	1	625	124,5	6875	7563
0,7463707	2	625	655	6875	7563
0,8278341	5	625	75	6875	7563
0,8432886	7	625	111	6875	7563
	<b>Total</b>	<b>5000</b>			



El Cuadro 27, registra el tiempo de recarga que deberá tener el tanque de almacenamiento del agua tratada para riego, ya que este tanque tiene un volumen de 10 m<sup>3</sup> de capacidad. Conociendo el volumen de agua de 5,57 m<sup>3</sup> que se debe aplicar a cada sector y su tiempo de riego de 0,74 horas (44 minutos), nos permite estimar que el tiempo de recarga es de 2,58 horas entre riegos, esto para que todos los sectores se puedan regar en un mismo día. Cabe mencionar, que al igual que el diseño 1, esto es difícil que se cumpla, porque dependemos del volumen de las aguas residuales generadas por el hotel. Por ende, es importante realizar este cálculo una vez que entre en funcionamiento el hotel, para poder estimar los volúmenes generados en diferentes temporadas de visitantes.

La diferencia que se presenta en los tiempos de recarga entre los dos diseños, se debe a al tiempo de riego por sector obtenido en cada diseño, esto porque en el diseño 1, el tiempo es menor que en el diseño 2, debido a que el caudal de la manguera de goteo es mayor que el caudal de la cinta de goteo utilizada en este diseño 2, esto hace que a pesar de tener la misma cantidad de goteros por sector en ambos diseños, el caudal aplicado en cada diseño es distinto, por ende los tiempos de recarga son distintos entre diseños.

Cuadro 27. Ciclo del sistema de riego con cinta de goteo en horas.

Sector	Hora de inicio (h)	Hora final (h)	T recarga (h)
8	0	0,74	2,58
6	3,32	4,05	2,58
3	6,63	7,37	2,58
4	9,95	10,69	2,58
1	13,27	14,00	2,58
2	16,58	17,32	2,58
5	19,90	20,63	2,58
7	23,21	<b>23,95</b>	
Tiempo de riego de 0,74 horas = 44 minutos			

La Figura 10, muestra el diseño del sistema de riego con cinta de goteo, en el cual se destaca el uso de la combinación de diámetros en la tubería múltiple, con el fin de disminuir costos y optimizar el sistema. Al igual que la Figura 7, registra las longitudes de las tuberías necesarias para su diseño.

### **5.2.3 Mantenimiento de los sistemas de riego**

El mantenimiento del sistema de riego es importante para su buen funcionamiento, por ende, es necesario verificar que la succión de la bomba este trabajando de manera adecuada, es decir que no presente taponamientos de ningún tipo, posteriormente es importante verificar todas las conexiones del cabezal, para evitar fugas o rupturas en la tubería e interconexiones, además de verificar que el sistema esté trabajando a la presión adecuada. Otro aspecto a considerar, es verificar que no haya empozamiento de aguas en el recorrido de la tubería principal y múltiple, porque podría ser señal de ruptura de alguna tubería. Estas verificaciones permitirán que el sistema trabaje de manera óptima, evitando a su vez, las obstrucciones de los laterales.

SIMBOLOGÍA DE SISTEMA DE RIEGO		
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
	TUBERÍA PRINCIPAL	TUBERÍA PVC DE 45,9mm Ø - SDR 41
	TUBERÍA MÚLTIPLE	TUBERÍA PVC DE 45,9mm Ø - SDR 41 / TUBERÍA PVC DE 39,8mm Ø - SDR 41
	SECTORES DE RIEGO	OCHO SECTORES DE RIEGO
	ELECTROVÁLVULAS	OCHO ELECTROVÁLVULAS Raid Bird serie DV Caudal de 9,08 m3/h, presión de 1 hasta 10,4 bares
CINTA DE GOTEO, ESPACIADAS @30cm, MARCA NETAFIN MODELO STREAMLINE PLUS TM16060, ESPESOR 0,15mm. ESPACIAMIENTO ENTRE GOTEROS @30cm		

LONGITUDES DE TUBERÍAS	
DESCRIPCIÓN	LONGITUD
TUBERÍA PRINCIPAL	186 m
TUBERÍA MÚLTIPLE DE 39,8mm	267 m
TUBERÍA MÚLTIPLE DE 45,9mm	572 m
CINTA DE GOTEO	18333 m

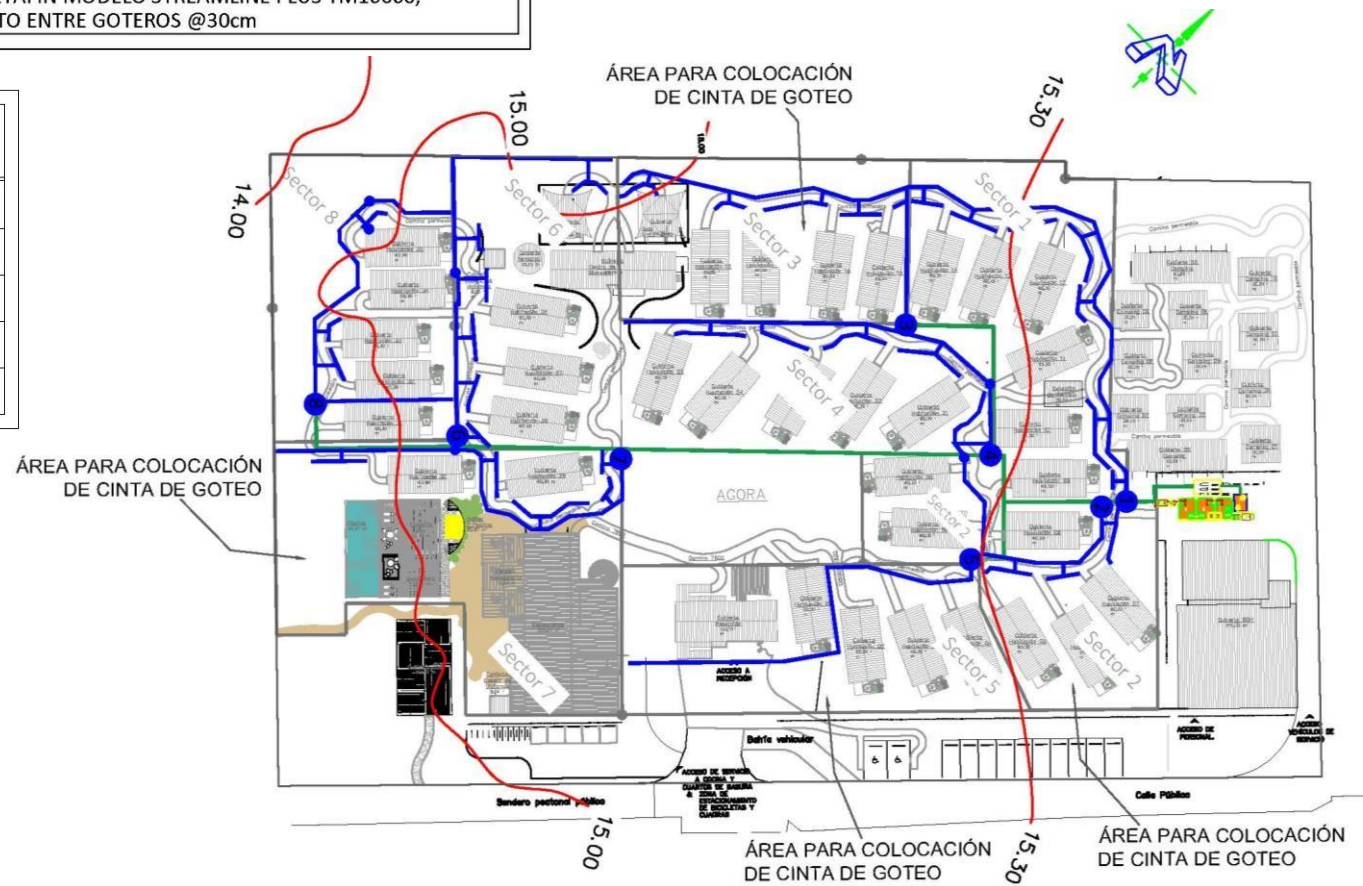


Figura 10. Diseño del sistema de riego por goteo utilizando cinta de goteo.

## 5.3 Objetivo Específico 2: Evaluación de las aguas residuales tratadas como fuente de fertilización de las zonas verdes del complejo hotelero, para su nutrición óptima.

### 5.3.1 Requerimientos nutricionales

Al no contar con un análisis químico de suelo del sitio en estudio, se procedió a obtener los Kg/ha mínimos y máximos de los nutrientes considerados importantes en la nutrición del zacate bermuda, lo que permitió obtener un promedio de los Kg/ha de cada nutriente, como se muestra en el Cuadro 28, el nutriente principal es el Potasio con una necesidad promedio anual de 458 Kg/ha, esto se debe, a que ayuda a que los cultivos tengan un equilibrio hídrico, además está involucrado en la producción y transporte de azúcares y síntesis de proteínas. Por su parte, el Nitrógeno, no se requiere en grandes cantidades, esto porque al tratarse de césped, no se busca una división celular que permita la elongación del césped, sino más que se mantenga a una altura deseada, esto se demuestra con el valor de 37 Kg/ha anuales de Nitrógeno requeridos por el cultivo. Finalmente, se registra un promedio anual de 113 Kg/ha de Fósforo. Cabe recordar que el Fósforo es importante en las etapas tempranas del cultivo, ya que aporta al crecimiento radicular. En este caso, al tratarse de un cultivo transplantado, el cual ya cuenta con un crecimiento radicular importante, se decidió aplicar el nutriente en las mismas cantidades mensualmente.

Estos valores se consideraron para realizar el plan de fertilización, tomando en cuenta que el suelo no va realizar ningún aporte nutricional y que se realizará una fertilización mensual. Esta aplicación mensual, se múltiplo por 0,5 ha, que corresponde a la aplicación mensual para los 5000 m<sup>2</sup> de área en estudio.

Cuadro 28. Requerimientos nutricionales para zacate bermuda.

Requerimientos nutricionales (Kg/ha)			Promedio Anual (Kg/ha)	Aplicación mensual (Kg/ha)	Aplicación mensual en Kg para 5000m <sup>2</sup>
Componente	Mínimo Anual	Máximo Anual			
Nitrógeno (Kg/ha)	24	50	37	3	1,5
Fósforo (Kg/ha)	90	135	113	9	4,7
Potasio (Kg/ha)	356	560	458	38	19,1

El zacate al encontrarse siempre en estado vegetativo, se decidió que el plan de fertilización, será el mismo para cada mes del año. El Cuadro 29 muestra cuantos Kg/ha de cada nutriente se necesitarán por mes:

Cuadro 29. Distribución de los nutrientes (Kg/ha) durante el ciclo anual del cultivo.

Fase	Días	Nitrógeno N (kg/ha)	Fósforo P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (Kg/ha)	Potasio K <sub>2</sub> O (Kg/ha)	Riegos = sectores
Vegetativo	0-30	1,5	4,7	19	8
Vegetativo	30-60	1,5	4,7	19	8
Vegetativo	60-90	1,5	4,7	19	8
Vegetativo	90-120	1,5	4,7	19	8
Vegetativo	120-150	1,5	4,7	19	8
Vegetativo	150-180	1,5	4,7	19	8
Vegetativo	180-210	1,5	4,7	19	8
Vegetativo	210-240	1,5	4,7	19	8
Vegetativo	240-270	1,5	4,7	19	8
Vegetativo	270-300	1,5	4,7	19	8
Vegetativo	300-330	1,5	4,7	19	8
Vegetativo	330-360	1,5	4,7	19	8
<b>Total</b>		18,5	56,25	229	96

### 5.3.2 Análisis de laboratorio obtenido de Planta de tratamiento de aguas residuales.

El Cuadro 30 es un análisis de laboratorio que se obtuvo de una Planta de tratamiento muy similar a la dispuesta para el proyecto Hotel Habitas. Este análisis permite identificar el valor del parámetro DBO<sub>5</sub>, que se refiere a la cantidad de oxígeno que necesita una población microbiana para oxidar la materia orgánica de una muestra de agua en un lapso de 5 días. Muestra cual es el valor máximo de DBO<sub>5</sub> registrado por el análisis físico-químico, el valor fue considerado inicialmente para aplicar la relación 100:5:1, ya que las eficiencias registradas en el análisis, permiten indicar que hay una buena relación 100:5:1 en el afluente. Esta relación indica que por cada 100 mg/l de DBO<sub>5</sub> a 20°C, debe de haber 5 mg/l de Nitrógeno y 1 mg/l de Fósforo para que haya una buena eliminación biológica de nutrientes (Romero 2005).

Cuadro 30. Análisis de laboratorio de las aguas residuales que salen de una Planta de tratamiento.

<b>Análisis de laboratorio obtenido de Planta de tratamiento de aguas residuales.</b>				
<b>Parámetros (unidades)</b>	<b>Carga contaminante</b>	<b>Decreto 33601</b>	<b>Análisis físico-químico</b>	<b>Eficiencia</b>
DBO <sub>5,20</sub> (mg/L)	400	50	10	97,50%
DQO (mg/L)	800	150	34	95,70%
Sólidos suspendidos (mg/L)	450	50	26	94,20%
Grasas / aceites (mg/L)	100	30	5	95%
pH (adim)	6 a 9	6 a 9	7,5	-
Temperatura (°C)	25 a 40	25 a 40	20	-
Sólidos sedimentables (ml/L)	8	1	0	100%
Sustancias activas al azul metileno (mg/L)	50	5	5	90%

### 5.3.3 Concentración y Kilogramos de nutrientes aportados por las aguas residuales tratadas

La relación 100:5:1 y los resultados del análisis físico-químico, permitieron obtener la solubilidad de los nutrientes Nitrógeno y Fósforo. Por su parte la solubilidad del Potasio fue obtenida según literatura. Posteriormente la solubilidad de los nutrientes se múltiplo por el volumen de la Planta de tratamiento, para obtener los Kg de nutrientes brindados por los 45 m<sup>3</sup>/día, como se muestra en el Cuadro 31:

Cuadro 31. Solubilidad y Kilogramos de nutrientes aportados diariamente por la Planta de tratamiento.

<b>Fuente</b>	<b>Kg de nutrientes</b>	<b>Solubilidad (kg/L a 20 °C)</b>
N de aguas residuales tratadas	2,2275	0,00005
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> de aguas residuales tratadas	0,4455	0,00001
K <sub>2</sub> O en aguas residuales tratadas	1,3365	0,00003

### 5.3.4 Cantidad de días necesarios para suplir la necesidad nutricional del césped

Al obtener los Kilogramos de nutrientes que aportan las aguas residuales tratadas en un día y al conocer los requerimientos mensuales del césped, se pudo definir que la cantidad de días necesarios para cumplir con la nutrición mensual de las zonas verdes del complejo, son inferiores a 30 días, confirmando que no es necesario el uso de fertilizantes extras. Esto porque como lo muestra el Cuadro 32, el Nitrógeno que se necesita mensualmente es aplicado en 1 día, mientras que el Fósforo es aplicado en 11 días y el Potasio en 14 días.

Cuadro 32. Cantidad de Kg de nutrientes necesarios y brindados por las aguas residuales tratadas y cantidad de días necesarios para cumplir con la nutrición del cultivo.

Compuesto	Kg mensuales necesarios de nutrientes para los 5000m <sup>2</sup>	Kg diarios de nutrientes brindados por las Aguas residuales tratadas	Kg mensuales de nutrientes brindados por las aguas residuales tratadas	Cantidad de días necesarios para cumplir con nutrición mensual
Nitrógeno (N)	1,5	2,2275	66,825	1
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	4,7	0,4455	13,365	11
Potasio (K <sub>2</sub> O)	19,1	1,3365	40,095	14

Es importante resaltar que a nivel nutricional el exceso de Nitrógeno puede generar problemas como la quemadura de hojas, crecimiento vegetativo rápido y por ende mayor mantenimiento, también se hace más propenso al ataque de plagas y enfermedades porque acumula una mayor cantidad de agua en sus hojas, siendo más succulenta. El cuadro 29, muestra la aplicación mensual en Kg/ha de Nitrógeno, siendo estos muchos menores a los Kilogramos mensuales de Nitrógeno brindados por las aguas residuales tratadas, lo que puede traer consigo problemas fitosanitarios para el césped. Por su parte, el Fósforo se encuentra por arriba de los Kg mensuales necesarios para el zacate, pero según Christians (1996) el zacate presenta una alta tolerancia al exceso de Fósforo, lo único demostrado es que genera una disminución de Cobre, lo cual no se relaciona con ningún problema fitosanitario. Finalmente, el exceso de Potasio

puede interferir en la absorción de Calcio, que permite la translocación de hidratos de Carbono, y en la absorción de Magnesio que es elemento básico de la molécula de clorofila, encargada de brindar el color verde a las plantas.

**5.4 Objetivo Específico 3: Análisis de las propuestas desde un punto de vista económico, ambiental y social para la posterior elección y aplicación de la más viable de acuerdo con las necesidades del cliente.**

**5.4.1 Análisis de inversión**

El análisis consistió en realizar una oferta económica para el diseño 1 y diseño 2, las cuales se registran en lo Anexos. 9, 10 y 11 donde se presentan todos los materiales en común que ambos diseños necesitan, la manguera de goteo y la cinta de goteo respectivamente. Es importante mencionar que en dichos Anexos no se registran algunas cantidades correctas de algunos componentes, por ende, se trabajó con los precios aportados por los Anexos un Excel para obtener el precio real (Anexos 12 y 13).

Para este proyecto se realizaron dos propuestas donde el diseño 1 tiene un costo total de ¢18.676.739,57 como se muestra en el Cuadro 33. Los elementos que componen los laterales son el principal costo para el diseño 1, con un valor de ¢8.980.199,29 donde se abarcan la manguera de goteo, tapones, gazas, conectores de arranque entre otros elementos.

Cuadro 33. Costo del sistema de riego con manguera autocompensada.

<b>Componentes</b>	<b>Costo ¢</b>
Lateral	¢8.980.199,29
Múltiple	¢2.861.260,92
Principal	¢582.465,89
Parte eléctrica	¢425.961,30
Cabezal	¢1.754.276,17
Mano de obra	¢4.072.576,00
Total	¢18.676.739,57



Por su parte, el diseño 2 registró un costo final de ₡17.267.919,81, como se muestra en el Cuadro 34. Al igual que el diseño 1, el principal costo son elementos que componen los laterales, pero se observó una disminución de este costo, como es de esperar, ya que comercialmente la manguera de goteo tiene un costo mayor que la cinta de goteo, esto por sus propiedades como espesor.

Otras diferencias radican en el equipo de bombeo y la combinación de diámetros en la tubería múltiple utilizada en el diseño 2.

Cuadro 34. Costo del sistema de riego con cinta de goteo.

<b>Componentes</b>	<b>Costo ₡</b>
Lateral	₡7.522.799,85
Múltiple	₡3.095.840,60
Principal	₡582.465,89
Parte eléctrica	₡425.961,30
Cabezal	₡1.568.276,17
Mano de obra	₡4.072.576,00
Total	₡17.267.919,81

El Cuadro 35, muestra que la diferencia económica entre ambos diseños es de ₡1.408.819,76, siendo el diseño 2, el más económico. Es importante destacar que la cinta de goteo del diseño 2 tiene una durabilidad menor que la manguera de goteo en condiciones bajo suelo, esto puede influir en la decisión de cual sistema de riego utilizar.

Cuadro 35. Costos de los sistemas de riego por goteo para el proyecto Habitas, ubicado en Puntarenas.

Costo del sistema de riego por goteo con manguera autocompensada	₡18.676.739,57
Costo del sistema de riego por goteo con cinta de goteo	₡17.267.919,81
Diferencia económica	₡1.408.819,76

El costo de implementar un sistema de riego automático para brindar el aporte hídrico y en este caso el aporte nutricional al césped, genera un ahorro económico al Hotel, además de brindar una mejora a su paisajismo lo que influye en la cantidad de personas interesadas en visitar el complejo, lo que trae consigo un mayor ingreso económico para el Hotel Habitas.

#### **5.4.2 Análisis Ambiental**

En la actualidad el desarrollo de algunas zonas rurales de nuestro país ha sido significativa, por ende, un manejo adecuado de sus recursos naturales es de suma importancia. La zona de Santa Teresa de Cóbano, ha tenido un crecimiento constructivo exponencial en los últimos años, generando contaminación de los ríos, suelos, subsuelos y hasta del mar de la zona debido al mal manejo de las aguas residuales generadas por los proyectos. Esto impulso al Ministerio de Salud en solicitar sin importar el tipo de construcción ya sea habitacional, hotelero o restaurante el uso de Plantas de tratamiento con disposición final de las aguas tratadas para reúso en irrigación de zonas verdes.

Según el Reglamento General sobre los procedimientos de Evaluación de Impacto Ambiental este proyecto se clasifica en la parte de construcción y edificaciones, por esta razón se utilizó el formulario D1 de SETENA, clasificando y estableciendo el procedimiento a seguir, para este proyecto se obtuvo un resultado de 216 puntos (Anexo 8); esto significa que se encuentra en categoría B2, lo que resulta en generar una declaración jurada de compromisos ambientales para la ejecución del proyecto. Para ambos diseños se utilizó el mismo resultado, ya que la única variación entre diseños es el uso de manguera de goteo autocompensada en el primer diseño y en el segundo diseño el uso de cinta de goteo.

El proyecto del sistema de riego genera un impacto ambiental positivo, ya que se van a reutilizar las aguas residuales generadas por el complejo en la irrigación de las zonas verdes disponibles, permitiendo un ahorro hídrico importante y evitando la contaminación por un mal tratamiento de las aguas residuales.

#### **5.4.3 Análisis Social**

El análisis social para este proyecto abarca el desarrollo poblacional, el favorecimiento de centros comerciales de la zona, un aumento del índice de desarrollo social, un cambio de mentalidad en el uso de suelo y de las aguas residuales.

La zona de Santa Teresa al igual que muchas zonas rurales de nuestro país, careció de oportunidades de crecimiento para sus pobladores, por ende, el emprendimiento y el crecimiento

de los locales de la zona no era suficiente para una vida económica y socialmente estable. El desarrollo constructivo trajo consigo muchas oportunidades de empleo, reflejándose en ingresos y una mejor vida para su población. Este desarrollo también trajo consigo un ingreso exponencial de extranjeros que brindan inversión a la zona, lo que permite trabajó constante tanto para personas no profesionales en puestos como camareros, amas de casa, albañiles, así como profesionales, arquitectos e ingenieros como los de construcción, agrícolas, agrónomos, topógrafos, civiles entre otros.

El Cuadro 36 que registra cómo se obtuvo el caudal de diseño de la Planta de tratamiento y también aporta la cantidad de personas que se pueden ver beneficiadas con la construcción de este proyecto, donde 15 personas aledañas a la zona se verán directamente favorecidas con empleo cuando este inicie operaciones, además de todos los comercios cercanos al proyecto que podrán tener influencia de las 132 personas que visitarán las habitaciones o zonas de camping del complejo.

Cuadro 36. Caudal de diseño para Planta de tratamiento.

Sitio / cantidad	Personas / equipo / área	Dotación
Administración / 1	15	100 L/per/día
Restaurante / 1	424 m <sup>2</sup>	50 L/m <sup>2</sup> /día
Lavandería / 1	2 lavadoras industriales	1070 L/lav/día
Camping / 12	2	150 L/per/día x 0.80
Habitaciones / 36	3	200 L/per/día x 0.80
Caudal total		45000 L/diarios
Caudal de diseño		<b>45 m<sup>3</sup>/día</b>

Por otra parte, según el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2021) el Índice de Desarrollo Humano para el cantón de Puntarenas para el 2021 fue de 0,800 considerado alto. El índice está compuesto por tres variables, esperanza de vida, logro educativo y riqueza. Pero también registra un Índice de Desarrollo Humano por Desigualdad de 0,675 considerado medio. Lo que señala que hay una brecha importante en el desarrollo de las personas que conviven en el Cantón. Este proyecto ayudará a disminuir tal brecha.

Otro aspecto importante es la escasez del recurso hídrico, el cual afecta la zona en épocas de sequía, viéndose afectado también por el crecimiento poblacional, además de las malas prácticas de la población en su uso. Por ende, el Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales, (N° 33601-MINAE-S, 2007) avala el reúso de las aguas residuales tratadas mediante un sistema de riego automático y eficiente que permite solucionar y ahorrar el consumo del recurso hídrico.

## **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 6.1 Conclusiones

- Independientemente del diseño que se desee colocar en el proyecto, se obtendrá una mejora en el manejo de las aguas residuales y la irrigación de las zonas verdes del Hotel Habitas, e indirectamente al ser un sistema automatizado también le permite al cliente despreocuparse de su operación.
- El uso de las aguas residuales tratadas, además de brindar las necesidades hídricas para el zacate también le brinda los aportes nutricionales básicos para su crecimiento óptimo, por tal razón no es necesario el uso de un sistema de fertirriego.
- Para el diseño con manguera de riego autocompensada no es necesario la combinación de diámetros de tubería, ya que se trabajó toda la tubería múltiple con el diámetro menor recomendado para evitar fugas en las conexiones entre tubería múltiple y la manguera de goteo y así disminuir costos.
- El impacto ambiental del sistema de riego se puede considerar positivo, ya que permite el reúso de las aguas residuales generadas por el hotel, en la irrigación de las zonas verdes. Con las propuestas se abarcan las dos formas de riego por goteo, es decir con cinta de goteo o manguera de goteo autocompensada. Los factores de durabilidad, paisajismo, poco mantenimiento hacen que el diseño 1 sea el más recomendado para su colocación en el complejo. Mientras que socialmente, el sistema de riego permite cambiar la mentalidad de los pobladores sobre el manejo de las aguas residuales, además de disminuir el impacto negativo en sus vidas cotidianas.

## 6.2 Recomendaciones

- Por la garantía de uniformidad y eficiencia de riego y por los costos relativamente similares se recomienda el uso del sistema de riego autocompensado.
- Se recomienda realizar mediciones del efluente de la Planta de tratamiento cada 3 meses para tener una mejor perspectiva del caudal real durante el tiempo y así calibrar los tiempos de riego que se dispondrán para cada sector a irrigar.
- Una vez puesta en marcha la Planta de tratamiento, se aconseja realizar análisis químicos cada 3 meses que contemplen las concentraciones de Nitrógeno, Fosforo y Potasio, para tener datos más precisos sobre estos nutrientes y su influencia en el desarrollo del césped.
- Al identificar inicialmente que el agua residual tratada aporta las necesidades nutricionales del césped, es necesario un mantenimiento constante de éste, esto considerando la generación por parte del complejo de 45 m<sup>3</sup>/día de aguas residuales.

## **7. BIBLIOGRAFIA**



- Arco, V. (2019). *Válvula de retención: cómo funciona y donde se colocan*. Arco. Recuperado de: <https://blog.valvulararco.com/valvula-de-retencion-como-funcionan-donde-se-colocan>.
- Calvo, L. (2005). *Métodos de riego: Un enfoque práctico para el diseño*. 1era Edición. San José: ACCS. (En físico)
- Charlebois, D. (2021). *Tratamiento de aguas residuales*. Cartago: Grupo MT (En físico).
- Christians, N. (1996). *La importancia del P en la nutrición de los céspedes*. Asociación Argentina de Golf. Recuperado de: <https://www.aag.org.ar/la-importancia-del-p-en-la-nutriciondelocespedes/#:~:text=Sabemos%20que%20el%20N%20puede,de%20factores%20que%20provocar%C3%ADan%20stress>.
- Cisneros, R. (2003). *Apuntes de la materia de riego y drenaje*. San Luis: Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Recuperado de: <https://studylib.es/doc/4527928/riego-y-drenaje---facultad-de-ingenier%C3%ADa>
- Cremona, V., Ferrari, J., & López, S. (2011). *Las cenizas volcánicas y los suelos de la región*. Bariloche: INTA. Recuperado de: <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-cenizasysuelos.pdf>
- Decreto Ejecutivo N 33601-MINAE-S. (2007). *Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales*. (En físico).
- Decreto Ejecutivo N 39887-S-MINAE. (2016). *Reglamento de Aprobación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales*. (En físico).
- Durman. (2021). *Lista de Precios Riego*. (En físico).
- Marcial, F., Méndez, A., Martha, P., Ricardo, C., Pérez, P., & Hernández, C. (2006). *Uso de las aguas residuales para el riego de cultivos agrícolas, en la agricultura urbana*. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 15(3):6. (En físico).
- Ingeniería Global. (2021). *Informe Geotécnico*. (En físico)
- González, O., Ciro, E., & Herrera, H. (2009). *Análisis de los factores que provocan compactación del suelo agrícola*. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias 18(2):57- 63. (En físico).
- Guadarrama, B., & Galván, A. (2015). *Impacto del uso de agua residual en la agricultura*. Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias 4:7. (En físico).

- Paige Irrigation. (2017). *Catálogo y guía de cableado*. (En físico).
- Liota, M., Carrión, R., Ciancaglini, N., & Olguín, A. (2015). *Manual de Capacitación Riego por Goteo*. San Juan: INTA. Recuperado de: [https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta\\_manual\\_riego\\_por\\_goteo.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_manual_riego_por_goteo.pdf).
- Marengo, K. (2016). *Bomba centrifuga definición*. Recuperado de: [https://www.academia.edu/31676038/BOMBA\\_CENTRIFUGA\\_DEFINICION\\_Las\\_Bombas\\_c](https://www.academia.edu/31676038/BOMBA_CENTRIFUGA_DEFINICION_Las_Bombas_c)
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2016). *Manual Descriptivo de la leyenda del Mapa de Capacidad de Uso de la Tierra de Costa Rica*. 1-70. Recuperado de: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/P30-8813.pdf>
- MMAyA. (2018). *Guía Técnica para el reúso de aguas residuales en la Agricultura*. 2da Edición. La Paz: GIZ. Recuperado de: <https://www.bivica.org/file/view/id/5508>.
- Morales, A. (2018). *Diseño de un sistema de riego por aspersión para áreas verdes urbanas, parque zonal Huiracocha San Juan de Lurigancho, Lima*. Lima: Universidad Agraria La Molina. Recuperado de: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3284>
- Murillo, J., Moreno, C., Liquiñano, C., Rubio, J., & Murillo, J. (2000). *Elimination of urban wastewater by soil direct infiltration. Impact on soil solution-groundwater system*. Boletín Geológico y Minero 111(5):47-62. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/289588392\\_Elimination\\_of\\_urban\\_wastewater\\_by\\_soil\\_direct\\_infiltration\\_Impact\\_on\\_soil\\_solution-groundwater\\_system](https://www.researchgate.net/publication/289588392_Elimination_of_urban_wastewater_by_soil_direct_infiltration_Impact_on_soil_solution-groundwater_system)
- Netafim. (2022). *Catálogo de productos*. Recuperado de: <https://www.netafim.com/es-pe/bynder/5987B652-B3CF-41A4-845334C47869F03F-general-product-cataloge---spa.pdf>.
- Novagric. (2020). *Sistemas de riego por goteo*. Recuperado de: <https://www.novagric.com/es/riego/sistemas-de-riego>.
- Pascual, B., & Pascual, N. (2020). *Riegos de gravedad y a presión*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado de: [https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/3b65d1a3-931d-4a49-849f-b6bad05096ee/TOC\\_6641\\_01\\_01.pdf?guest=true](https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/3b65d1a3-931d-4a49-849f-b6bad05096ee/TOC_6641_01_01.pdf?guest=true)
- Pérez, J., & Urrea, M. (2011). *Abastecimiento de Aguas: Tema 8. Filtración*. Cartagena:

- Universidad Politécnica de Cartagena. Recuperado de: [https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6023/mod\\_resource/content/1/Tema\\_08\\_FILTRACION.pdf](https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6023/mod_resource/content/1/Tema_08_FILTRACION.pdf)
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2021). *Atlas de desarrollo humano cantonal 2021*. Recuperado de: <https://www.cr.undp.org/content/costarica/es/home/atlas-de-desarrollo-humano-cantonal.html>
- Ramírez, J. (2007). *Tratamiento de aguas residuales ordinarias y el control de la contaminación ambiental en Costa Rica*. Revista Hidrogénesis 5(1):48-55. Recuperado de: <https://www.binasss.sa.cr/opac-ms/media/digitales/Tratamiento%20de%20aguas%20residuales%20ordinarias%20y%20el%20control%20de%20contaminaci%C3%B3n%20ambiental%20en%20Costa%20Rica.pdf>
- Agrícola Roca. (2021). *Tipos de zacates*. Recuperado de: <http://www.agricolaroca.com/productos.html>.
- Romero, E. (2005). *Capítulo 1 introducción*. (En físico).
- Romero, P., Santamaría, D., & Zafra, C. (2009). *Bioingeniería y suelo: Abundancia microbiana, ph y conductividad eléctrica bajo tres estratos de erosión*. Bogotá: Umbral Científico. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/304/30415144008.pdf>
- Ruiz, F. (2012). *Gestión de las Excretas y Aguas Residuales en Costa Rica*. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. Recuperado de: <https://www.aya.go.cr/centroDocumetacion/catalogoGeneral/Gesti%C3%B3n%20de%20las%20Excretas%20y%20Aguas%20Residuales%20en%20Costa%20Rica%20%20Situac%C3%B3n%20Actual%20y%20Perspectiva.pdf>
- SETENA. (2016). *Manual de instrumentos técnicos para el proceso de evaluación ambiental (manual de EIA)-parte II N° 32712-MINAE*. Recuperado de: <https://www.setena.go.cr/documentos/Normativa/Decreto-32712.pdf>.
- SiAR. (2011). *Coeficientes del cultivo*. Recuperado de: [https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/gestion-sostenible-regadios/Coeficientes de cultivo\\_tcm30-82952.pdf](https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/gestion-sostenible-regadios/Coeficientes%20de%20cultivo_tcm30-82952.pdf).
- STMA. (2013). *Guía de la STMA para la mantención de campos de futbol internacional*.

Recuperado de: [https://www.stma.org/wp-content/uploads/2017/11/International\\_Soccer\\_Bulletin\\_Spanish\\_FINAL.pdf](https://www.stma.org/wp-content/uploads/2017/11/International_Soccer_Bulletin_Spanish_FINAL.pdf)

Toro. (2012). *Válulas De Aire/Vacío*. Recuperado de:

[https://media.toro.com/CatalogDocuments/ProducLiterature/ALT035\\_AirReleaseValve\\_Sp\\_WEB.pdf](https://media.toro.com/CatalogDocuments/ProducLiterature/ALT035_AirReleaseValve_Sp_WEB.pdf).

Úbeda, R., Saturnino, J., & Delgado, Y. (2018). *La infiltración del agua en los suelos y componentes artificiales y materia orgánica que se utilizan en ellos para la agricultura. Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático* 4(7):889-96.

Villalobos, M. (2008). *Fundamentos de riego. 1era Edición*. Cartago: Instituto Tecnológico de Costa Rica. (En físico).

## **8. ANEXOS**

Anexo 1. Datos técnicos de la manguera de goteo.

## Datos técnicos del lateral de goteo VERED

Modelo	Diámetro interno (mm)	Espesor de pared (mm)	Presión operacional mínima (bar)	Presión operacional máxima (bar)	KD
VERED 16	15.2	0.6	0.5	2.5	0.65
	13.8	0.9	0.5	3.5	0.95
VERED 17	15.0	0.9	0.5	3.5	0.7
		1.15		4.3	
VERED 20	17.4	1.0	0.5	3.5	0.45
		1.25		4.3	
VERED 22	21.0	1	0.5	3.5	0.24
VERED 25	24.7	1	0.5	3.5	0.21

### VERED 16

Longitud máxima del lateral (D.I. 15.2 mm, Espesor 0.6 mm, Presión inicial 2.5 Bar)

Caudal Nominal (L/H)	Distancia entre goteros (m)						
	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.75	1.00
1.2	144	202	255	304	350	414	511
1.6	119	167	212	252	290	343	424
2.1	99	140	177	211	243	288	356
3.5	71	100	127	152	175	207	256

## Anexo 2. Datos técnicos de la cinta de goteo.

### INFORMACIÓN TÉCNICA DEL GOTERO

Espesores de pared de la manguera: 0.14, 0.15, 0.18 mm

CAUDAL* (L/H)	PRESIÓN MÁXIMA DE TRABAJO (BAR)**	DIMENSIÓN DE LOS PASOS DE AGUA ANCHO- PROFUNDIDAD- LONGITUD (MM)	ÁREA DE FILTRACIÓN (MM <sup>2</sup> )	CONSTANTE K	EXPONENTE X	FILTRACIÓN RECOMENDADA (MICRONES) / (MESH)
0.80	De 0.9 hasta 1.0	0.59 x 0.33 x 25	12	0.265	0.48	130/120
1.10		0.51 x 0.44 x 13	14	0.392	0.45	130/120
1.60		0.65 x 0.55 x 13	15	0.568	0.45	130/120
2.20		0.72 x 0.68 x 13	15	0.780	0.45	130/120

\*Caudal a 1.0 bar de presión \*\*De acuerdo al diámetro y espesor de la regante.

### INFORMACIÓN TÉCNICA DE LA REGANTE

MODELO	DIÁMETRO INTERNO (MM)	ESPESOR DE PARED (MM)	DIÁMETRO EXTERNO (MM)	MÁXIMA PRESIÓN DE TRABAJO (BAR)	PRESIÓN MÁXIMA DE LAVADO (BAR)	KD
16055	16.20	0.14	16.48	0.9	1.0	0.10
16060	16.20	0.15	16.50	1.0	1.2	0.10
16080	16.20	0.20	16.60	1.2	1.4	0.10
22060	22.20	0.15	22.50	0.8	0.9	0.01
22080	22.20	0.20	22.60	1.0	1.2	0.01

### INFORMACIÓN DEL EMPAQUE DE LA REGANTE

MODELO	ESPESOR DE PARED (MM)	LONGITUD DEL ROLLO	DISTANCIA ENTRE GOTEROS (M)	PESO PROMEDIO* DEL ROLLO (KG)	ROLLOS POR PALET (UNIDADES)	ROLLOS EN UN CONTENEDOR DE 40 PIES (UNIDADES)	TOTAL EN UN CONTENEDOR DE 40 PIES (M)
16055	0.14	3200	0.15 a 0.25	24.5	16	640	2'048,000
		3500	0.30 a 1.00	25.6			2'240,000
16060	0.15	2600	0.15 a 0.25	21.5			1'664,000
		3000	0.30 a 1.00	24.0			1'920,000
16080	0.20	2200	0.15 a 0.25	23.7			1'408,000
		2500	0.30 a 1.00	26.3			1'600,000
22060	0.15	2200	0.15 a 0.25	23.5			1'408,000
		2400	0.30 a 1.00	26.0			1'536,000
22080	0.20	1600	0.15 a 0.25	23.6			1'024,000
		1800	0.30 a 1.00	25.6			1'152,000



#### APLICACIONES

- Para el riego estacional de cultivos en hilera.

#### BENEFICIOS Y CARACTERÍSTICAS

- Materias primas mejoradas que logran mayor presión de operación y resistencia a la tracción para un diseño más fácil y recuperación de los campos.
- Área de filtración que garantiza un óptimo rendimiento.
- El laberinto de Turbonet™ asegura amplios pasajes de agua, una sección profunda y ancha que mejora la resistencia al taponamiento.
- El agua es atraída hacia el gotero desde el centro de la regante, impidiendo la entrada de sedimentos a los goteros.
- Construcción del gotero por inyección, asegurando goteros uniformes y muy bajo CV.
- Dos líneas naranjadas claras y visibles paralelas al gotero que muestran la ubicación hacia arriba del gotero para colocar adecuadamente los laterales.

## PGV DE 1½" AND 2"



Estas válvulas fiables proporcionan un rendimiento duradero para sistemas más grandes.

### VENTAJAS PRINCIPALES

- El purgado manual externo e interno permite una activación rápida y sencilla de la válvula
- El diseño de doble reborde de la junta de diafragma garantiza un funcionamiento sin fugas
- Los tornillos cautivos de la tapa eliminan la posibilidad de perder piezas durante el desmontaje
- El control del caudal maximiza la eficiencia y prolonga la vida útil del sistema
- Los tornillos de la tapa se pueden manipular con tres herramientas: destornillador de punta plana o de estrella y llave de vaso
- Todas las válvulas están disponibles en versión en línea o en ángulo para facilitar su colocación
- El solenoide encapsulado con núcleo cautivo que se utiliza en las válvulas Hunter facilita un mantenimiento sin complicaciones

### OPCIONES INSTALADAS POR EL USUARIO

- Regulador de presión Accu Sync™ en la válvula\*
- Solenoide Latch CC para programadores alimentados por pilas (Ref. 458200)
- Maneta de identificación de agua reciclada (Ref. 607105)

### OPCIONES INSTALADAS DE FÁBRICA

- DC: Solenoide Latch CC para programadores alimentados por pilas
- LS: válvula sin solenoide

### ESPECIFICACIONES DE FUNCIONAMIENTO

### ESPECIFICACIONES DEL SOLENOIDE



**PGV-151**  
Diámetro de entrada: 1½"  
(40 mm)  
Altura: 19 cm  
Longitud: 15 cm  
Anchura: 11 cm

**PGV-201**  
Diámetro de entrada: 2"  
(50 mm)  
Altura: 20 cm  
Longitud: 17 cm  
Anchura: 13 cm

VÁLVULAS

PGV Instalado





- Caudal:
  - PGV-151: de 5 a 27 m<sup>3</sup>/h; de 75 a 450 l/min
  - PGV-201: de 5 a 34 m<sup>3</sup>/h; de 75 a 570 l/min
- Intervalo de presión recomendado: de 1,5 a 10 bares, 150 a 1000 kPa
- Temperatura nominal: 66 °C
- Período de garantía: 2 años
- \* Información del producto Accu-Sync
  - solenoide de 24 V CA
    - 350 mA en arranque, 190 mA operando, 60 Hz
    - 370 mA en arranque, 210 mA operando, 50 Hz

**PGV 1,5" Y 2" - CREADOR DE ESPECIFICACIONES: ORDEN 1 + 2 + 3 + 4**

1	Modelo	2	Características estándar	3	Opciones	4	Opciones instaladas por el usuario
	PGV-151-B = 1½" (40 mm) BSP		Válvula en globo/ángulo con control de caudal		(en blanco) = sin opción		AS-ADJ = AccuSync ajustable
	PGV-201-B = 2" (50 mm) BSP				DC = Solenoide Latch CC para programadores alimentados por pilas		458200 = Solenoide Latch CC para programadores alimentados por pilas
					LS = Válvula sin solenoide		607105 = Manilla de identificación de agua reciclada
							LIT-700 = Etiqueta de identificación de agua reciclada

Ejemplos: PGV-201-B-AS-ADJ = Válvula PGV de globo/ángulo, con rosca BSP de 2" (50 mm), con control de caudal y regulador de presión Accu-Sync instalado por el usuario

**PÉRDIDA DE CARGA DE PGV EN kPa**

Caudal l/min	En línea de 1½" (40 mm)	1½" (40 mm) Ángulo	En línea de 2" (50 mm)	Ángulo de 2" (50 mm)
75	20	22	4	9
95	20	21	5,5	9
115	21	21	7,5	9,5
135	22	21	9	10
150	25	23	12	11
200	27	24	14	12
325	47	41	26	19
400	65	59	33	24
500	96	92	43	32
625			56	45
775			74	64

**PÉRDIDA DE CARGA DE PGV EN BARS**

Caudal m <sup>3</sup> /h	En línea de 1½" (40 mm)	1½" (40 mm) Ángulo	En línea de 2" (50 mm)	Ángulo de 2" (50 mm)
4,5	0,2	0,2	0,1	0,1
5,5	0,2	0,2	0,1	0,1
6,5	0,2	0,2	0,1	0,1
8,0	0,2	0,2	0,1	0,1
9	0,2	0,2	0,1	0,1
11,0	0,3	0,2	0,1	0,1
13,5	0,3	0,3	0,1	0,1
18	0,4	0,4	0,2	0,1
22,5	0,6	0,5	0,3	0,2
27	0,8	0,8	0,4	0,3
30,5			0,6	0,5
34			0,7	0,6

Visite [hunterindustries.com](http://hunterindustries.com)

RIEGO RESIDENCIAL Y COMERCIAL | Built on Innovation®

Anexo 4. Diámetros de tubería comercial.

TABLA DIÁMETROS INTERNOS/EXTERNOS (mm)										
Pulg	mm	SDR 13.5 (315 psi) (ASTM2241)	SDR 17 (250 psi) (ASTM2241)	SDR 26 (160 psi) (ASTM 2241)	SDR 32.5 (125 psi) (ASTM2241)	SDR 41 (drenaje)	SDR 50 (drenaje)	*SCH 40 (ASTM1785)	PVC SCH80 ASTM 1785	CPVC FlowGuard Gold NSF SE 8225 CTS SDR 13.5
1/2"	12	18.2/21.3	...	...	...	...	...	15.8/21.3	13.8/21.3	13.1/15.9
3/4"	18	...	23.5/26.7	...	...	...	...	20.9/26.7	18.9/26.7	22.2/18.9
1"	25	...	29.5/33.4	30.4/33.4	...	...	...	26.6/33.4	24.3/33.4	24.4/28.6
1 1/4"	31	...	37.2/42.2	38.9/42.2	39.1/42.2	39.8/42.2	...	35.0/42.2	32.5/42.2	29.7/34.9
1 1/2"	38	...	42.6/48.3	44.6/48.3	45.3/48.3	45.9/48.3	...	40.9/48.3	38.1/48.3	35.2/41.3
2"	50	...	53.2/60.3	55.3/60.3	56.6/60.3	57.4/60.3	57.9/60.3	52.5/60.3	49.2/60.3	46.0/54.0
2 1/2"	62	...	64.4/73.0	67.4/73.0	68.5/73.0	69.5/73.0	...	62.7/73.0	59.0/73.0	
3"	75	...	78.4/88.9	82.0/88.9	83.4/88.9	84.6/88.9	83.3/88.9	77.9/88.9	73.7/88.9	
4"	100	...	100.8/114.3	105.5/114.3	107.3/114.3	108.7/114.3	109.7/114.3	102.3/114.3	97.2/114.3	
6"	150	...	148.5/168.3	155.3/168.3	157.9/168.3	160.1/168.3	...	154.1/168.3	146.4/168.3	
8"	200	...	193.3/219.1	202.2/219.1	205.6/219.1	208.4/219.1	...	...	193.7/219.1	
10"	250	...	240.9/273.1	252.1/273.1	256.2/273.1	259.8/273.0	...	...	243.0/273.1	
12"	300	...	285.8/323.8	299.0/323.8	303.9/323.8	308.1/323.8	...	...	288.9/323.8	
15"	375	...	...	358.7/388.6	364.7/388.6	369.7/388.6	...	...		
18"	450	...	...	422.0/457.2	429.1/457.2	434.9/457.2	...	...		

## Anexo 5. Pérdidas de Carga.

Pérdida por fricción que ocurre en todo el lateral procedimiento según *Christiansen*

Coeficientes F para laterales de aluminio y plástico <sup>2</sup>						
N° Salidas	Plástico (1.760)			Aluminio (1.852)		
	F <sub>1</sub> <sup>a</sup>	F <sub>2</sub> <sup>b</sup>	F <sub>3</sub> <sup>c</sup>	F <sub>1</sub> <sup>a</sup>	F <sub>2</sub> <sup>b</sup>	F <sub>3</sub> <sup>c</sup>
5	0.469	0.337	0.410	0.457	0.321	0.396
10	0.415	0.350	0.384	0.402	0.336	0.371
12	0.406	0.352	0.381	0.393	0.338	0.367
15	0.398	0.355	0.377	0.385	0.341	0.363
20	0.389	0.357	0.373	0.376	0.343	0.360
25	0.384	0.358	0.371	0.371	0.345	0.358
30	0.381	0.359	0.370	0.368	0.346	0.357
40	0.376	0.360	0.368	0.363	0.347	0.355
50	0.374	0.361	0.367	0.361	0.348	0.354
100	0.369	0.362	0.366	0.356	0.349	0.352
200	0.366	0.363	0.365	0.53	0.350	0.352

$$h_f = H_f * F$$

Donde:

h<sub>f</sub> : Pérdida en tubo con salida.

H<sub>f</sub> : Pérdida en tubo sin salida.

F: Factor según el número de salidas.

(a): Cuando la distancia desde la entrada del lateral a la primera salida es EA .

(b): Cuando la primera salida está cerca de la entrada del lateral.

(c): Cuando la distancia desde la entrada del lateral a la primera salida es EA/2.

Anexo 6. Ficha técnica de la bomba utilizada en el diseño 1.



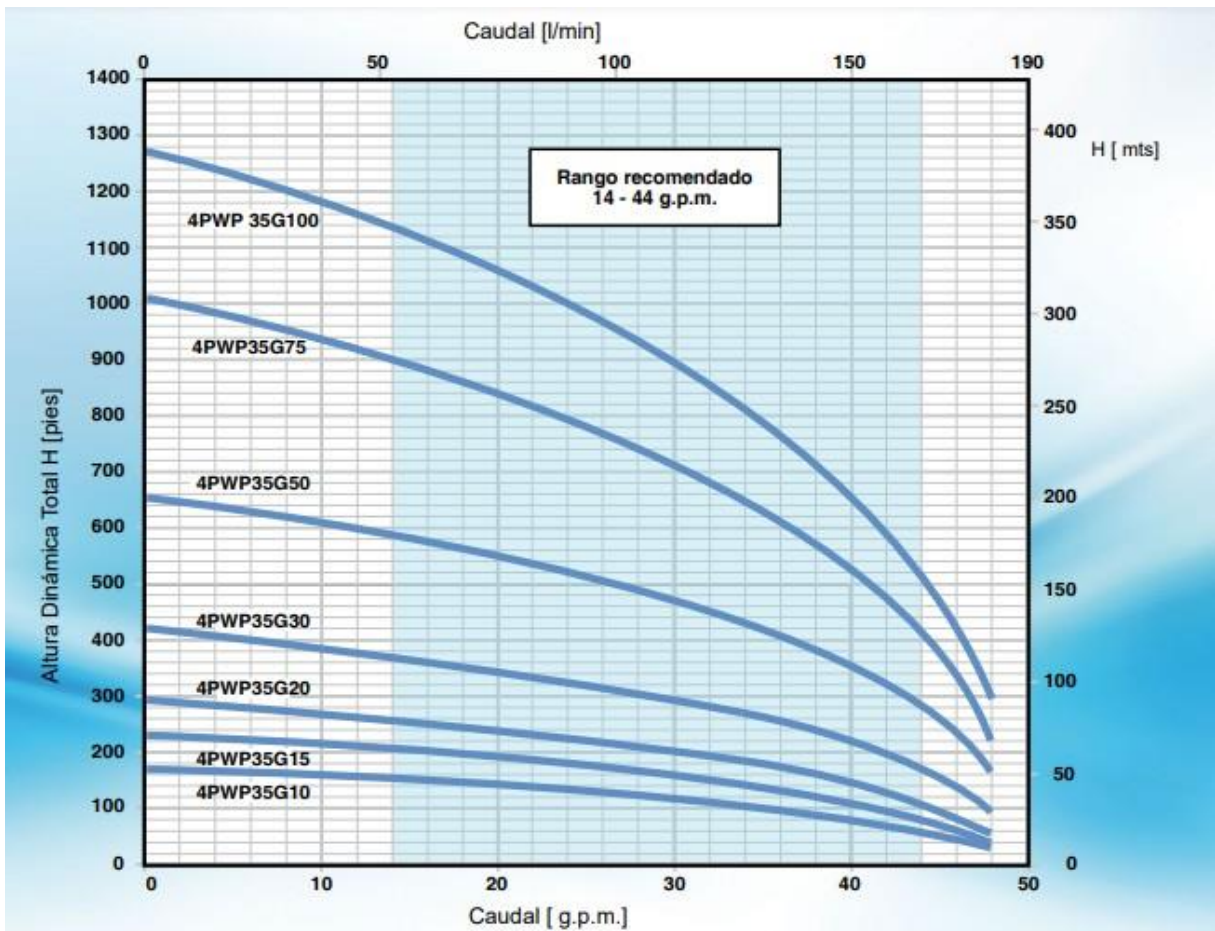


Tabla de Selección

MODELO	ETAPAS	MOTOR	Q = CAUDAL																		HIDRAULICA												
			H = ALTURA DINAMICA TOTAL EN METROS / PIES																		ALTURA	PESO											
			l/min		35		40		50		60		70		80		90		100				120		140		160		180				
			gpm		9.3		10.6		13.2		15.9		18.5		21.2		23.8		26.5		31.7		37.0		42.3		47.6		mm	in	kgs	lbs	
4PWP35G10	6	0.75	1	52	171	48	157	47	154	46	151	44	144	43	141	42	138	40	131	38	125	33	108	27	89	18	59	9					30
4PWP35G15	8	1.1	1.5	70	230	65	213	63	207	62	203	60	197	58	190	55	180	52	171	50	164	43	141	35	115	24	79	12	39	421	16.6	4.0	8.8
4PWP35G20	10	1.5	2	91	298	81	266	80	262	79	259	77	253	75	246	72	236	69	226	65	213	58	190	48	157	32	105	17	56	483	19.0	4.6	10.2
4PWP35G30	14	2.2	3	128	420	117	384	113	371	111	364	109	358	106	348	102	335	99	325	94	308	83	272	70	230	51	167	29	95	607	23.9	5.7	12.6
4PWP35G50	22	3.7	5	200	656	183	600	180	525	175	574	170	558	165	541	159	522	152	499	147	482	132	433	111	364	84	276	50	164	893	35.2	8.1	17.9
4PWP35G75	34	5.5	7.5	308	1010	282	925	276	905	271	889	263	863	255	836	246	807	236	774	225	738	200	656	167	548	122	400	69	226	1257	49.5	11.6	25.6
4PWP35G100	43	7.5	10	394	1292	362	1187	355	1164	349	1145	339	1112	328	1076	317	1040	305	1000	292	958	261	856	220	722	167	548	90	295	1318	51.9	14.2	31.4



4400-Tri-Seal

## Bombas Sumergibles de 4"

FPS

La bomba sumergible FPS 4400 estándar de 4" se distingue por su nuevo sistema de etapa flotante TRI-SEAL. A la larga, éste nuevo sistema de etapa mejora la eficiencia y protege contra desgaste cuando se bombean abrasivos (arena). Todas las bombas FPS 4400 tienen una garantía incondicional por un año contra bloque por arena en condiciones abrasivas del pozo.



### Características:

- El sello de eje serie 300 en acero inoxidable, flota con el impulsor manteniendo un sellado positivo
- La arandela fenólica protege contra empuje descendente
- El impulsor de material Celcon®\* proporciona un rendimiento de alta eficiencia y resistencia a la abrasión



### Sello 2

Sello del eje de acero inoxidable capturado pero no estacionario, permanece flotando junto con el impulsor para lograr un sellado máximo

### Sello 1

La arandela fenólica proporciona sellado axial cuando el impulsor flota en la etapa



- Difusor y disco de Noryl@\*\*, material probado resistente a la abrasión
- El diseño de etapa flotante permite al impulsor flotar de manera independiente
- Válvula check desmontable accionada por resorte
- Temperatura máxima del agua: 120 °F ó 50 °C
- Casquillo del eje en cerámica y buje de descarga de caucho que protege al eje y elimina el desgaste por arena
- Accionada por motores sumergibles Franklin Electric de 4", resistentes a la corrosión

\* Celcon® es una Marca Registrada de Celanese Corporation,  
 \*\* Noryl® es una Marca Registrada de G.E.

Sistema patentado de sello del impulsor que sella de manera radial y axial para evitar la recirculación del fluido, proporcionando alto rendimiento en condiciones difíciles.

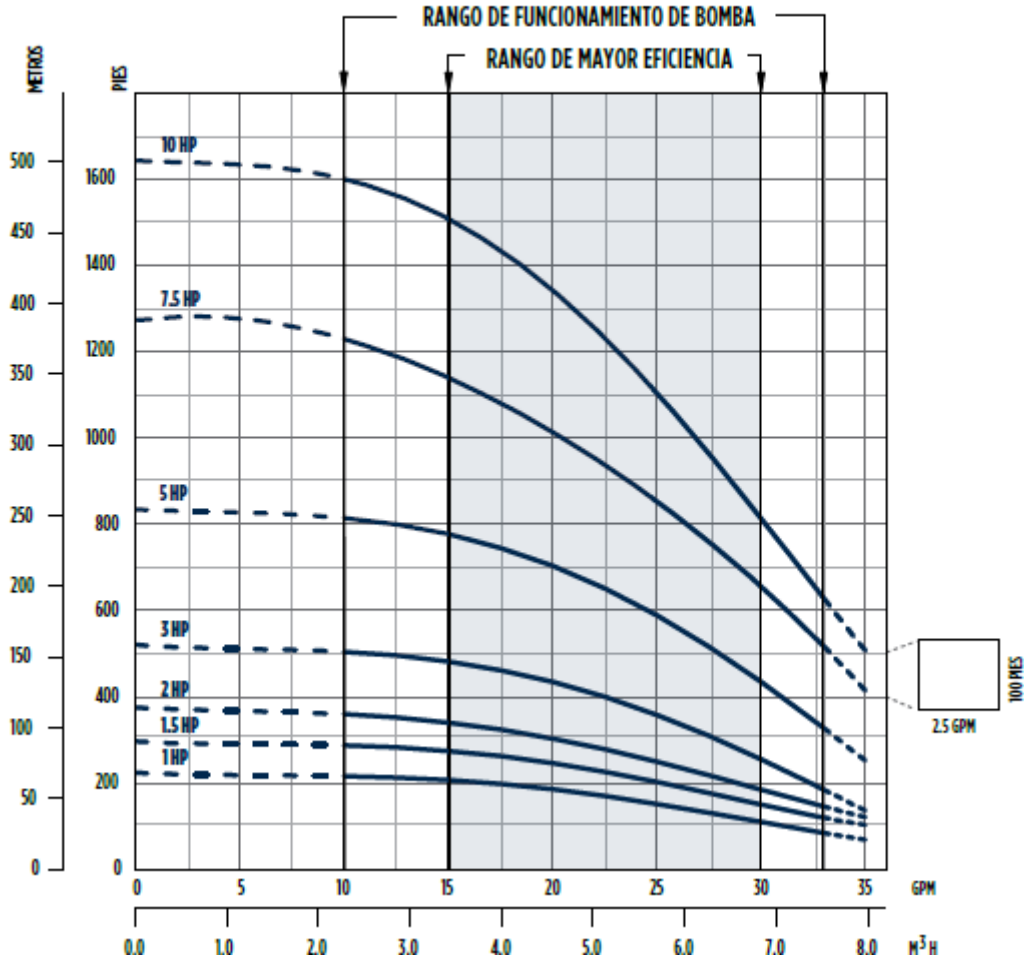
### TRI-SEAL™ Sistema de Etapa Flotante




**Sello 3**  
 Sello de ojo del impulsor de acero inoxidable

## Serie TriSeal - 25 GPM

### RENDIMIENTO HIDRÁULICO



### Anexo 8. Resultados del análisis ambiental.

	
<b>5. CRITERIOS DE PONDERACIÓN</b>	
<p>La nota obtenida (Valor preliminar de SIA) en el formulario adjunto debe ser ponderada con los factores siguientes para obtener la calificación final que servirá de criterio para la clasificación según la Significancia del impacto ambiental (SIA) que se indica en este documento.</p>	

<b>1. Valor preliminar de SIA</b> , es decir la sumatoria de todos los valores individuales ( $\Sigma$ )	<h1 style="margin: 0;">192,00</h1>			
<b>Según las regulaciones aplicables a la operación de la actividad, obra o proyecto</b>				
<b>2.a</b> Con Reglamento específico en materia ambiental que regule la actividad, obra o proyecto ( $\rho$ ). Se multiplica la sumatoria de SIA ( $\Sigma$ ) por un factor de 1 =	1	<b>Decreto Ejecutivo No. _____</b>	<b>3.</b> Sin Reglamento específico en materia ambiental ( $\rho$ ) que regule la operación, se multiplica la sumatoria ( $\Sigma$ ) de SIA por un factor de 2=	2
<b>2.b</b> Con compromiso del desarrollador a adherirse voluntariamente a una <b>norma o guía ambiental</b> de construcción y operación, según corresponda que exista para la actividad, obra o proyecto que se plantea en el D1(p). Dicha norma o guía ambiental será de	0,75			



<p>acatamiento obligatorio para el desarrollador, en lo que corresponda, desde el momento en que la SETENA le otorga la viabilidad ambiental. En este caso se multiplica la sumatoria de SIA (<math>\Sigma</math>) por un factor de 0,75 =</p>				
		(p)	0,75	
<p><b>4. Valor de SIA ajustado por regulaciones (SIA<sub>R</sub>) =</b></p>	<b>144</b>			
<b>Clasificación del área según la zona de ubicación del proyecto (β)</b>				
<p><b>5.</b> Localización autorizada por Plan Regulador u otra planificación ambiental de uso del suelo, aprobados por la SETENA, incluyendo la variable ambiental según la metodología establecida por la SETENA. Se multiplica el valor de <b>SIA<sub>R</sub></b> por un valor de 0,5 =</p>	0,5	<p><b>6.</b> Localización autorizada por Plan Regulador NO aprobado por SETENA. Se multiplica el valor de <b>SIA<sub>R</sub></b> por un valor de 1,0 =</p>	1	

7. Localización en área sin Plan Regulador. Se multiplica el valor de <b>SIAR</b> por un valor de 1,5 =	1,5	8. Localización en área ambientalmente frágil, excepto que este contemplado en el numeral 5. Se multiplica el valor de <b>SIAR</b> por un valor de 2 =	2
<b>Nota: Deberá brindarse la cita correcta del Plan Regulador o del Plan Ambiental de Uso del Suelo a que se refiere.</b>			
	(β)	1,5	
9. Calificación final de la SIA:	<b>216</b>		
<b>10. Clasificación en función de la calificación final y que establece el procedimiento en SETENA, según la ruta de decisión.</b>			
<b>Tipo</b>	<b>Nota</b>	<b>Procedimiento</b>	
<b>A</b>	Mayor que 1000.	Estudio de Impacto Ambiental.	
<b>B<sub>1</sub></b>	Mayor que 300 y menor o igual que 1000.	Pronóstico-Plan de Gestión Ambiental.	
<b>B<sub>2</sub></b>	Menor o igual que 300.	Declaración Jurada de Compromisos Ambientales.	

Anexo 9. Lista de materiales generales necesarios para ambos diseños del sistema de riego.



**Dirección:** Del mercado del mueble de Ipi de Guadalupe 150 sur y 30 este..  
**Teléfono:** +(506) 8421-5706  
**Fax:** +(506) 0  
**Correo:** riegoequipos@gmail.com

**JUAN PABLO ARAYA MARIN**  
**Ident. Física:** 1-1125-0554

Receptor Ecosistemas Sanitarios

**Ident. :**  
**Teléfono:** +(0)0  
**Correo:**

**Proforma N°** 2855  
**Clave Numérica:**

**Fecha de Emisión:** 02/04/2022 9:25 a.m.  
**Fecha de Vencimiento:** 02/04/2022  
**Condición Venta:** Contado

**Dirección:**

**Medio de Pago:** Efectivo

CÓDIGO	CANTIDAD	UNIDAD MEDIDA	DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO/SERVICIO	PRECIO UNITARIO	DESCUENTO	NATURALEZA DEL DESC.	SUBTOTAL	MONTO IMPUESTOS
21623	2673.00	Unidad	MANGUERAS, GOTEOS Y ACCESORIOS TAPÓN FINAL 16	110.00	0.00		294.030,00	38,223.90
410199	8.00	Unidad	ACCESORIOS SCH 40 TE LISA 38mm	4,517.54	12,649.11	Descuento	23.491,21	3.053.86

Autorizado mediante la resolución DGT-R-033-2019 del veinte de junio de dos mil diecinueve de la Dirección General de Tributación.  
 Generada por GTI , [www.facturaelectronica.cr](http://www.facturaelectronica.cr)  
 Versión del Documento Electrónico: 4.3



Página 1 de 4

CÓDIGO	CANTIDAD	UNIDAD MEDIDA	DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO/SERVICIO	PRECIO UNITARIO	DESCUENTO	NATURALEZA DEL DESC.	SUBTOTAL	MONTO IMPUESTOS
41014	5.00	Unidad	ACCESORIOS SCH 40 CODO LISO 90° 38 mm	3,488.31	6,104.54	Descuento	11.337,01	1,473.81
410140	8.00	Unidad	ACCESORIOS SCH 40 REDUCCIÓN 38x25	2,152.65	6,027.42	Descuento	11.193,78	1,455.19
41091	10.00	Unidad	ACCESORIOS SCH40 UNION DE TOPE 38mm (11/2")	11,000.00	0.00		110.000,00	14,300.00
41510	60.00	Unidad	TIPO A TUBERÍA Y ACCESORIOS CONDUIT TUBERÍA TIPO A 12mm	3,794.54	79,685.34	Descuento	147.987,06	19,238.32
41520	60.00	Unidad	TIPO A TUBERÍA Y ACCESORIOS CONDUIT UNIÓN 12mm	340.13	7,142.73	Descuento	13.265,07	1,724.46
41530	17.00	Unidad	TIPO A TUBERÍA Y ACCESORIOS CONDUIT CURVA 90°	1,483.69	8,827.96	Descuento	16.394,77	2,131.32

	2673.00	Unidad	GAZA PLASTICA	20.00	0.00		53.460,00	6,949.80	
2	21516	539.00	Unidad	ELÉCTRICOS DE RIEGO METROS CABLE TFF 18 Blanco	290.00	0.00	156.310,00	20,320.30	
2	600	1.00	Unidad	TAPE ELECTRICO Y VULCANIZADO	10,000.00	0.00	10.000,00	1,300.00	
2	41623	2.00	Unidad	TUBO PRESIÓN POTABLE 50mm 2" SDR 26	48,397.90	33,878.53	Descuento	62.917,27	8,179.25
2	41091	2.00	Unidad	ACCESORIOS SCH40 UNION DE TOPE 50mm 2"	14,000.00	0.00	28.000,00	3,640.00	
4'	14210	1.00	Unidad	VÁLVULAS DE RETENCIÓN YORK 25 mm (1")	8,367.54	0.00	8.367,54	1,087.78	
4'	21510	2.00	Unidad	ELÉCTRICOS DE RIEGO FILTRO ANILLOS 38mm	18,000.00	0.00	36.000,00	4,680.00	
4	41444	4.00	Unidad	SCH 80 ACCESORIOS DE PRESIÓN (ASTM D-2467) ADAPTADOR HEMBRA 50mm	9,500.00	0.00	38.000,00	4,940.00	
4'	41054	3.00	Unidad	ACCESORIOS SCH 40 ADAPTADOR MACHO 50 mm	3,070.21	3,223.72	Descuento	5.986,91	778.30
4	410197	5.00	Unidad	ACCESORIOS SCH 40 TE LISA 50mm	6,064.71	10,613.24	Descuento	19.710,31	2,562.34
4	41023	11.00	Unidad	ACCESORIOS SCH 40 CODO LISO 45° 50 mm	4,675.94	18,002.37	Descuento	33.432,97	4,346.29
4	41012	7.00	Unidad	ACCESORIOS SCH 40 CODO LISO 90° 50 mm	5,353.94	13,117.15	Descuento	24.360,43	3,166.86
4	13010	2.00	Unidad	MANÓMETROS SECO 0-100 PSI	4,700.00	0.00	9.400,00	1,222.00	
	41089	2.00	Unidad	ACCESORIOS SCH 40 UNIÓN DE TOPE 25	4,700.00	0.00	9.400,00	1,222.00	
	14018	1.00	Unidad	TANQUES HIDRONEUMÁTICOS Y ACCESORIOS FIBRA DE VIDRIO HORIZONTAL PWN80H 80Litros	212,881.83	0.00	212.881,83	27,674.64	

Autorizado mediante la resolución DGT-R-033-2019 del veinte de junio de dos mil diecinueve de la Dirección General de Tributación.

Generada por GTI , [www.facturaelectronica.cr](http://www.facturaelectronica.cr)  
Versión del Documento Electrónico: 4.3



Página 2 de 4

CÓDIGO	CANTIDAD	UNIDAD MEDIDA	DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO/SERVICIO	PRECIO UNITARIO	DESCUENTO	NATURALEZA DEL DESC.	SUBTOTAL	MONTO IMPUESTOS
12911	1.00	Unidad	INTERRUPTORES PRESIÓN Y FLOTADOR INTERRUPTOR PRESIÓN 30-50 PSI	18,000.00	0.00		18.000,00	2,340.00
21812	8.00	Unidad	VÁLVULAS, CUBRE VÁLVULAS Y REGULADORES CUBRE VÁLVULA DURAPLASTIC 6 pulgadas	6,500.00	0.00		52.000,00	6,760.00
12012	1.00	Unidad	BOMBA SUM 4" 1.5HP PEARL MOTOR SUM	530,450.70	0.00		530.450,70	68,958.59





Anexo 11. Materiales adicionales para el diseño del sistema de riego con cinta de goteo.



**Dirección:** Del mercado del mueble de Ipi de Guadalupe 150 sur y 30 este..

**Teléfono:** +(506) 8421-5706

**Fax:** +(506) 0

**Correo:** riegosequipos@gmail.com

**JUAN PABLO ARAYA MARIN**

**Ident. Física:** 1-1125-0554

Receptor Ecosistemas Sanitarios

**Ident. :**

**Teléfono:** +(0)0

**Correo:**

**Proforma N°** 2858

**Clave Numérica:**

**Fecha de Emisión:** 01/04/2022 1:55 p.m.

**Fecha de Vencimiento:** 01/04/2022

**Condición Venta:** Contado

**Dirección:**

**Medio de Pago:** Efectivo

CÓDIGO	CANTIDAD	UNIDAD MEDIDA	DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO/SERVICIO	PRECIO UNITARIO	DESCUENTO	NATURALEZA DEL DESC.	SUBTOTAL	MONTO IMPUESTOS
21616	18333.00	Metro	MANGUERAS, GOTEO Y ACCESORIOS CINTA DE GOTEO	200.00	0.00		3.666.600,00	476,658.00
21620	2673.00	Unidad	MANGUERAS, GOTEO Y ACCESORIOS ACOPLE PEBR 16X16 (3261/1616)	565.00	0.00		1.510.245,00	196,331.85

**Notas:** OPCION #2 CINTA DE GOTEO SISTEMA DE RIEGO SANTA TERESA COBANO

Subtotal Neto ¢ 5,176,845.00

Total Impuesto ¢672,989.85

**Total Proforma: ¢ 5,849,834.85**

CINCO MILLONES OCHOCIENTOS CUARENTA Y NUEVE MIL OCHOCIENTOS TREINTA Y CUATRO COLONES CON 85/100

Anexo 12. Lista de materiales para sistema de riego con manguera autocompensada.

Material			Total	Costo total
Lateral	Tapón para final de manguera de goteo	unid	5597	€695 707,10
	Manguera de goteo Metzzerplas, modelo VERED de 16 mm, caudal de 1.2 L/h (m)	m	18333	€6 836 375,70
	Gaza plástica	unid	5597	€126 492,20
	Conector de arranque de manguera de goteo con empaque	unid	5597	€1 300 719,29
	Codo Polietileno 16 mm	unid	59	€16 046,00
	Tee Polietileno 16 mm	unid	43	€4 859,00
Múltiple	Tapón de 1 1/4"	unid	75	€88 206,66
	Tee de 1 1/4"	unid	73	€188 249,73
	Semicodo 1 1/4"	unid	62	€135 491,73
	Codo 1 1/4"	unid	12	€26 005,09
	Teflón	unid	24	€14 916,00
	Tubo PVC 1 1/4 SDR 41	unid	141	€1 760 596,50
	Acople rápido 1 1/4 PVC	unid	42	€450 870,00
	Tubo de 1 1/2 PVC SDR 41	unid	13	€196 925,21
Principal	Tubo PVC 1 1/2" SDR 41	unid	31	€418 810,00
	Tee PVC 1 1/2"	unid	8	€26 545,07
	Codo PVC 1 1/2"	unid	5	€12 810,82
	Acople rápido 1 1/2"	unid	10	€124 300,00
Parte eléctrica	Tubo conduit 12 mm	unid	60	€167 225,38
	Unión conduit 12 mm	unid	60	€14 989,53
	Curvas conduit 12 mm	unid	17	€18 526,09
	Cable eléctrico TSJ 3x12 para bomba	m	15	€37 290,00
	Cable eléctrico TFF 18 para electroválvula	m	539	€176 630,30
	Tape	unid	1	€11 300,00
Cabezal	Tubo PVC 50 mm, 6 mts SDR 26	unid	2	€71 096,52
	Unión de tope 50 mm	unid	2	€31 640,00
	Válvula de retención York 25 mm	unid	1	€9 455,32
	Llave de bola PVC 50 mm lisa	unid	1	€14 690,00
	Filtro de anillas 38 mm	unid	2	€42 680,00
	Adaptador macho PVC SCH 40, 50 mm	unid	3	€6 765,21
	Adaptador hembra PVC SCH 80, 50 mm	unid	4	€42 974,00
	Te lisa PVC SCH 40, 50 mm	unid	5	€22 272,65
	Codo liso PVC SCH 40, 50 mm, 45 grados	unid	11	€37 779,26
	Codo Lisos PVC SCH 40, 50 mm, 90 grados	unid	7	€27 527,29
	Manómetro seco 0-100 psi	unid	2	€10 622,00
	Unión de tope lisa PVC presión 25 mm	unid	2	€10 622,00
	Tanque hidroneumático 80 litros	unid	1	€240 556,47
	Interruptor de presión 30-50 psi	unid	1	€20 340,00
	Cubre válvulas (para una electroválvulas)	unid	8	€58 760,00
	Cubre válvulas 10"	unid	2	€27 120,00
	Bomba sumergible para CDT = 31,39 mca y Q = 8,25 m3/h	unid	1	€599 409,29
	Flotador Foras 25 AMP	unid	1	€15 029,00
	Válvula eléctrica PGV 40 mm 1 1/2" Hunter	unid	8	€152 900,00
	Controlador Raid Bird 8 Estaciones	unid	1	€146 900,00
	Arrancador magnético	unid	1	€113 000,00
	Pegamento 1/8	unid	2	€33 900,00
	Reducción SCH 40 50x32 mm	unid	2	€6 485,50
	Reducción SCH 40 50x12 mm	unid	2	€9 860,22
	Tee Lisa PVC 12 mm	unid	1	€287,18
	Adaptador macho PVC 12 mm	unid	1	€234,88
	Bushin reductor 1/2x1/4	unid	2	€1 369,38
Mano de obra	Zanjeo	m	992	€672 576,00
	Mano de obra			€3 400 000,00
			Total	€18 676 739,57



Anexo 13. Lista de materiales para sistema de riego con cinta de goteo.

Material para diseño con Cinta de goteo			Total	Costo total
Lateral	Cinta de Goteo Netafim, modelo Streamline Plus, caudal de 1.1 L/h (m)	m	18333	€4 143 258,00
	Acople PEBR 16x16	unid	5597	€3 358 636,85
	Codo Polietileno 16 mm	unid	59	€16 046,00
	Tee Polietileno 16 mm	unid	43	€4 859,00
Múltiple	Tapón de 1 1/4"	unid	75	€88 206,66
	Tee de 1 1/4"	unid	73	€188 249,73
	Semicodo 1 1/4"	unid	62	€135 491,73
	Codo 1 1/4"	unid	12	€26 005,09
	Teflón	unid	24	€14 916,00
	Tubo PVC 1 1/2 SDR 41	unid	96	€1 454 216,93
	Tubo PVC 1 1/4 SDR 41	unid	45	€561 892,50
	Acople rápido 1 1/2"	unid	29	€311 315,00
	Acople rápido 1 1/4"	unid	13	€118 621,75
	Tubo de 1 1/2 PVC SDR 41	unid	13	€196 925,21
Principal	Tubo PVC 1 1/2" SDR 41	unid	31	€418 810,00
	Tee PVC 1 1/2"	unid	8	€26 545,07
	Codo PVC 1 1/2"	unid	5	€12 810,82
	Acople rápido 1 1/2"	unid	10	€124 300,00
Parte eléctrica	Tubo conduit 12 mm	unid	60	€167 225,38
	Unión conduit 12 mm	unid	60	€14 989,53
	Curvas conduit 12 mm	unid	17	€18 526,09
	Cable eléctrico TSJ 3x12 para bomba	m	15	€37 290,00
	Cable eléctrico TFF 18 para electroválvula	m	539	€176 630,30
	Tape	unid	1	€11 300,00
Cabezal	Tubo PVC 50 mm, 6 mts SDR 26	unid	2	€71 096,52
	Unión de tope 50 mm	unid	2	€31 640,00
	Válvula de retención York 25 mm	unid	1	€9 455,32
	Llave de bola PVC 50 mm lisa	unid	1	€14 690,00
	Filtro de anillas 38 mm	unid	2	€42 680,00
	Adaptador macho PVC SCH 40, 50 mm	unid	3	€6 765,21
	Adaptador hembra PVC SCH 80, 50 mm	unid	4	€42 974,00
	Te lisa PVC SCH 40, 50 mm	unid	5	€22 272,65
	Codo liso PVC SCH 40, 50 mm, 45 grados	unid	11	€37 779,26
	Codo Lisos PVC SCH 40, 50 mm, 90 grados	unid	7	€27 527,29
	Manómetro seco 0-100 psi	unid	2	€10 622,00
	Unión de tope lisa PVC presión 25 mm	unid	2	€10 622,00
	Tanque hidroneumático 80 litros	unid	1	€240 556,47
	Interruptor de presión 30-50 psi	unid	1	€20 340,00
	Cubre válvulas (para una electroválvulas)	unid	8	€58 760,00
	Cubre válvulas 10"	unid	2	€27 120,00
	Bomba sumergible para CDT = 25,40 mca y Q = 7,56 m3/h	unid	1	€413 409,29
	Flotador Foras 25 AMP	unid	1	€15 029,00
	Válvula eléctrica PGV 40 mm 1 1/2" Hunter	unid	8	€152 900,00
	Controlador Raid Bird 8 Estaciones	unid	1	€146 900,00
	Arrancador magnético	unid	1	€113 000,00
	Pegamento 1/8	unid	2	€33 900,00
	Reducción SCH 40 50x32 mm	unid	2	€6 485,50
	Reducción SCH 40 50x12 mm	unid	2	€9 860,22
	Tee Lisa PVC 12 mm	unid	1	€287,18
	Adaptador macho PVC 12 mm	unid	1	€234,88
	Bushin reductor 1/2x1/4	unid	2	€1 369,38
Mano de obra	Zanjeo	m	992	€672 576,00
	Mano de obra			€3 400 000,00
			Total	€17 267 919,81