

# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

## **Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción**

"Diseño de un sistema automático de irrigación de áreas verdes usando aguas regeneradas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del Pre-Politécnico"

### **PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

### **INGENIERA MECÁNICA**

Presentado por:

Nicole Michelle Suárez Gómez

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2018

## DEDICATORIA

Por todo el esfuerzo, la dedicación, la paciencia, por su confianza y por todo lo que me ha dado a lo largo de mi carrera y de mi vida, este trabajo va dedicado a mi mamá, Alexandra.

A mi hermana Karen, porque quiero que sea mejor que yo y que llegue lejos en todos los aspectos de su vida.

A mis abuelitos Eugenio y Bertha a quienes les prometí este logro.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al finalizar este trabajo quiero utilizar este espacio para agradecer a todas y cada una de las personas que con su guía y tiempo dedicado, lograron que hoy este proyecto se culmine.

Por todo el apoyo profesional a mis tutores: Ing. Zabala e Ing. Paz, quienes con paciencia encausaron mi trabajo con sus conocimientos.

A mis amigos Marlon, César, Fernando, Diego, y colegas de la carrera que supieron despejar mis dudas y me dieron su apoyo incondicional.

## EVALUADORES



**M.Sc. Rodolfo Ezequiel Paz Mora**

PROFESOR DE LA MATERIA



**Ing. Gonzalo Rodolfo Zabala Ortiz**

PROFESOR TUTOR

## DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



---

Nicole Michelle Suárez Gómez

## RESUMEN

El presente proyecto tiene la finalidad de diseñar un sistema de irrigación automático utilizando como medio hídrico las aguas tratadas provenientes de la planta de tratamiento “Pre-Politécnico” de ESPOL. La reutilización de este recurso implica un beneficio económico y ambiental para la institución.

Se analizaron varias alternativas para el diseño conceptual del sistema; se compararon los diferentes métodos de selección y al final se escogió la solución más cercana a cumplir los requerimientos establecidos de acuerdo a seguridad, alta eficiencia, fácil instalación, y tiempos cortos de irrigación. Por lo tanto, se diseña un sistema de riego comprendido por una bomba centrífuga, microaspersores y que será controlado de acuerdo al volumen de agua existente.

Para la realización de los cálculos que aquí se exponen se acudió a datos meteorológicos proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) que intervienen en la aproximación de las necesidades hídricas del cultivo de acuerdo a clima, tipo de planta, y caudal disponible.

Para el diseño agronómico, se calculó la evapotranspiración máxima del cultivo, dosis y rutinas de riego. El diseño hidráulico determinó el dimensionamiento de las tuberías, válvulas, accesorios y características del equipo de bombeo.

El sistema de irrigación propuesto cubrirá una extensión de 1350 m<sup>2</sup>, comprendido por césped, pequeños arbustos y ornamentos. La distribución de riego tendrá un alcance de humedecimiento de 3m de diámetro por cada microaspersor. El control automático se llevará a cabo por medio de un sensor de ultrasonido colocado en el reservorio que otorgará la señal a los equipos para iniciar o detener el proceso de irrigación.

**Palabras Clave:** Irrigación, aguas tratadas, evapotranspiración, microaspersores, control automático, ultrasonido.

## **ABSTRACT**

*The present project has the purpose of designing an automatic irrigation system using treated water from the "Pre-Politécnico" treatment plant of ESPOL as a hydric medium. The reuse of this resource imply an economic and environmental benefit for the institution.*

*Several alternatives were analyzed for the conceptual design of the system; the different selection methods were compared and in the end the closest solution was chosen to meet the established requirements according to safety, high efficiency, easy installation, and short irrigation times. Therefore, an irrigation system is designed comprising a centrifugal pump, micro-sprinklers and that will be controlled according to the existing volume of water.*

*To carry out the calculations presented here, we used meteorological data provided by the National Institute of Meteorology and Hydrology (INAMHI) that intervene in the approximation of the water needs of the crop according to climate, type of plant, and flow available.*

*For the agronomic design, the maximum evapotranspiration of the crop, doses and irrigation routines were calculated. The hydraulic design determined the dimensioning of the pipes, valves, accessories and characteristics of the pumping equipment.*

*The proposed irrigation system will cover an area of 1350 m<sup>2</sup>, comprised of grass, small shrubs and ornaments. The distribution of irrigation will have a wetting range of 3m in diameter for each micro-sprinkler. The automatic control will be carried out by means of an ultrasound sensor placed in the reservoir that will give the signal to the equipment to start or stop the irrigation process.*

**Keywords:** *Irrigation, treated water, evapotranspiration, micro-sprinklers, automatic control, ultrasound.*

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT .....	II
ÍNDICE GENERAL .....	III
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA .....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
ÍNDICE DE PLANOS.....	X
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción .....	1
1.1 Descripción del problema .....	1
1.2 Justificación del proyecto .....	2
1.3 Objetivos .....	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos .....	3
1.4 Marco Teórico .....	4
1.4.1 Localización y Ubicación de la PTAR del Pre-Politécnico .....	4
1.4.2 Componentes Eléctricos y Mecánicos de la Planta de Tratamiento .....	4
1.4.3 Normatividad.....	5
1.4.4 Sistema de Riego Automático .....	5
1.4.5 Programación de la automatización del Riego: .....	8
CAPÍTULO 2.....	9
2. Metodología .....	9
2.1 Diseño Conceptual .....	11
2.1.1 Objetivos y Funciones .....	11
2.1.2 Ponderación de criterios .....	12
2.1.3 Tabla Morfológica .....	14
2.1.4 Matriz de Decisión .....	15
2.2 Diseño Preliminar .....	16
2.2.1 Diseño Agronómico .....	18



2.2.2	Diseño Hidráulico.....	28
CAPÍTULO 3.....		37
3.	Resultados y análisis .....	37
3.1	Diagrama de Bloques .....	37
3.2	Lógica de Control .....	38
3.3	Análisis de Costos .....	40
3.3.1	Irrigación usando agua potable.....	40
3.3.2	Irrigación usando agua tratada .....	41
3.3.3	Estimación de recuperación de Inversión .....	42
CAPÍTULO 4.....		43
4.	Conclusiones y recomendaciones .....	43
4.1	Conclusiones .....	43
4.2	Recomendaciones.....	44
BIBLIOGRAFÍA		
APÉNDICES		

## **ABREVIATURAS**

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
FAD	Flotación por Aire Disuelto
FAO	Organización para la Agricultura y Alimentos de las Naciones Unidas.
PVC	Policloruro de vinilo
TULSMA	Texto Unificado de Legislación Secundaria Medio Ambiental
INAHMI	Instituto Nacional de Hidrología y Meteorología
CEM	Contribución Especial de mejoras
IVA	Impuesto al valor agregado

## SIMBOLOGÍA

m	Metro
m <sup>2</sup>	Metro cuadrado
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
kPa	Kilo pascales
ET	Evapotranspiración
ET <sub>o</sub>	Evapotranspiración de Referencia
Kc	Coeficiente de Cultivo
K	Grados Kelvin
°C	Grados Celsius
kPa	Kilo Pascales
$e_a$	Presión de vapor saturante
$e_d$	Presión de vapor actual
VPD	Déficit de presión de vapor
$\Delta$	Pendiente de presión de vapor saturado
$\tilde{a}$	Constante psicrométrica
W	Función de peso
F	Fuerza del viento
Rn	Radiación Nocturna
Rd	Radiación Diurna
U	Velocidad del viento
m/s	Metros sobre segundo
l/h	Litros por hora
Q	Caudal
v	Velocidad
A	Área
$\mu$	Viscosidad cinemática
Re	Número de Reynolds
$\varepsilon$	Coeficiente de rugosidad absoluta
$f$	Factor de fricción
$h_L$	Pérdidas totales
$h_f$	Pérdidas lineales

$h_s$	Pérdidas singulares
$h_{acc}$	Pérdidas por accesorios de tubería
$L$	Longitud de tubería
$h_{geo}$	Altura geodésica
$h_b$	Altura dinámica total
RPM	Revoluciones por minuto
HP	Caballos de fuerza
NPSH	Cabezal neto de succión
$g$	gravedad
$\rho$	Densidad del agua
$\text{kg/m}^3$	Kilogramos por metro cúbico
$\eta_b$	Eficiencia teórica de la bomba
$P_{real}$	Potencia real
$N_{op}$	Nivel de agua de operación
V	Voltios
gal	Galones
D.Q.O	Demanda química de oxígeno
D.B.O <sub>5</sub>	Demanda biológica de oxígeno
Na	Sodio
P	Fósforo
Zn	Zinc
N	Nitrógeno
pH	Potencial de Hidrogeno
meq/L	Mili equivalente por litro
nmp	Número más probable
m.c.a	Metros de columna de agua
$\text{W/m}^2$	Watts por metro cuadrado

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Objetivos de Desarrollo Sostenible.....	2
Figura 1.2 Objetivos de Desarrollo Sostenible alineados .....	2
Figura 1.3 Ubicación de PTAR Pre-Politécnico .....	4
Figura 2.1 Metodología de diseño a seguir .....	10
Figura 2.2 Distribución de riego por microaspersores .....	17
Figura 2.3 Esquema de Diseño de Forma.....	17
Figura 2.4 Zona de Riego.....	18
Figura 2.5 Factores que afectan la evapotranspiración.....	19
Figura 2.6 Distribución de microaspersores .....	26
Figura 2.7 Selección de microaspersores .....	27
Figura 2.8 Valores típicos de coeficientes de rugosidad .....	30
Figura 2.9 Valores de K para accesorios de riego.....	33
Figura 2.10 Curvas de Elevación de terreno de riego .....	34
Figura 3.1 Diagrama de bloques del Sistema.....	37
Figura 3.2 Lógica del Sistema de control de riego.....	38
Figura 3.3 Esquema del sistema de control de riego y sus componentes.....	39
Figura 3.4 Esquema del componentes del controlador .....	39
Figura A.1 Esquema de PTAR Pre-Politécnico tipo DAF .....	55

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Planteamiento del problema .....	11
Tabla 2.2 Comparación por pares de criterios.....	13
Tabla 2.3 Importancia relativa de cada criterio de selección. ....	14
Tabla 2.4 Tabla Morfológica .....	14
Tabla 2.5 Posibles Alternativas de Solución.....	15
Tabla 2.6 Matriz de Decisión .....	16
Tabla 2.7 Datos de tensión de vapor saturante en ciudad de Guayaquil .....	20
Tabla 2.8 Valores de Evapotranspiración para día y noche en Guayaquil .....	23
Tabla 2.9 Coeficientes de Cultivo $K_c$ para Forrajes .....	24
Tabla 2.10 Propuesta de Rutina de Riego.....	26
Tabla 2.11 Diámetros nominales para tuberías de PVC.....	29
Tabla 2.12 Coeficientes de accesorios del sistema de riego.....	33
Tabla 3.1 Rubros de facturación respecto al consumo de agua potable .....	40
Tabla 3.2 Costos de Implementación del sistema propuesto .....	41
Tabla 3.3 Costos de Implementación del sistema real de riego .....	42
Tabla 3.4 Análisis de Tiempo de Recuperación de Inversión.....	42
Tabla A.1 Requerimientos y características para el diseño .....	50
Tabla A.2 Componentes existentes en la PTAR “Pre-Politécnico” .....	50
Tabla A.3 Criterios admisibles de calidad.....	51
Tabla B.1 Anuario Meteorológico 2013 para la ciudad de Guayaquil .....	56
Tabla B.2 Valores de Evapotranspiración 2013 en la ciudad de Guayaquil .....	57

# ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1 Esquema de la Planta de Tratamiento Pre Politécnico

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

Se estima que 80% del total de las aguas residuales industriales y municipales se descargan al medio ambiente sin tratamiento previo, lo cual ocasiona un deterioro creciente de la calidad de las fuentes de agua causando impactos perjudiciales en la salud humana y los ecosistemas (WWAP, 2017).

Alrededor del mundo, 2.100 millones de personas no cuentan con acceso a servicios de agua potable administrados de manera segura y 4.500 millones carecen de servicios de saneamiento (Banco Mundial, 2018). Es por esto que el tratamiento de aguas residuales constituye una medida de remisión que contribuye a disminuir y controlar la contaminación de los cuerpos de agua.

El interés por el aprovechamiento de las aguas residuales urbanas que han recibido tratamientos avanzados de depuración ha ido en aumento. Las posibilidades de reutilizar las aguas residuales tratadas son numerosas, ya que además de ayudar a mitigar los problemas de escasez, se resuelve un problema medioambiental (Orón y col., 1999). Entre los diversos destinos que pueden darse a las aguas regeneradas destacan las aplicaciones a riego agrícola o de jardines.

### 1.1 Descripción del problema

Dentro de la Institución (ESPOL) existe una planta de tratamiento de aguas residuales que recibe los influentes de los edificios *Pre-Politécnico* y de *Educación Continua* respectivamente. Esta planta opera ocho horas al día durante el lunes y jueves, por lo que produce agua regenerada con un caudal de descarga de 10 m<sup>3</sup>/h.

Anteriormente, el personal de jardinería reutilizaba esta agua en césped de la zona antes mencionada. La irrigación se hacía de forma manual usando tanqueros y mangueras. Debido a que esta actividad ya no se realiza, el agua tratada se desecha.



## 1.2 Justificación del proyecto

Desde el pasado 06 de febrero del 2018, la ESPOL se sumó a la agenda “Ecuador 2030, Productivo y Sostenible”. Este programa busca implementar un plan estratégico a largo plazo para el desarrollo sostenible y la prosperidad de acuerdo a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Figura 1.1).



**Figura 1.1 Objetivos de Desarrollo Sostenible del Programa de Naciones Unidas.**

Fuente: ONU para el Desarrollo Sostenible

Este proyecto de titulación se relaciona con tres de los diecisiete objetivos mencionados, los cuales son:

- Agua limpia y saneamiento
- Ciudades y comunidades sostenibles
- Acción por el clima.



**Figura 1.2 Objetivos de Desarrollo Sostenible alineados a la reutilización de aguas residuales**

Fuente: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)

Con las aguas residuales que llegan a la planta, se calcula que pueden tratarse hasta **160 m<sup>3</sup>** de agua a la semana. Por medio de la adaptación de este sistema autónomo, se buscará reutilizar el agua tratada en las áreas verdes del camino hacia el pre-politécnico.

El riego se distribuirá en un área aproximada de **1350 m<sup>2</sup>** durante tres veces a la semana de acuerdo a la necesidad del cultivo (césped). Mayor detalle se observa en la **Tabla A.1, Anexo A**.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Diseñar un sistema de riego automático que reutilice el **18% de la producción total de aguas tratadas** de la Planta de Tratamiento de Admisiones sobre las áreas verdes de la zona de “Pre-Politécnico”

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Evaluar las propiedades físico-químicas y microbiológicas del agua que produce la planta de tratamiento de aguas residuales.
- Analizar el tipo de sistema de riego que cumpla con las necesidades y condiciones establecidas.
- Desarrollar las especificaciones técnicas para lograr la implementación del sistema.
- Determinar el costo de implementación del sistema de riego y evaluar el beneficio con respecto al sistema actual.

## 1.4 Marco Teórico

### 1.4.1 Localización y Ubicación de la PTAR del Pre-Politécnico

La ESPOL cuenta con tres plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) ubicadas cerca de los distintos establecimientos con mayor afluencia de personal educativo y administrativo.

El análisis sobre el cual se basa este proyecto es la planta tipo DAF (por Flotación de Aire Disuelto *en español*) ubicada detrás del edificio de Admisiones. Esta planta receipta las aguas residuales de los edificios *Pre-Politécnico* y *Educación Continua*. **(Figura 1.3)**

Teniendo como coordenadas:

- S (Latitud): 2°08' 59.9"
- W (Longitud): 79° 56' 55.6"



**Figura 1.3 Ubicación de PTAR Pre-Politécnico**  
Fuente: Google Maps

### 1.4.2 Componentes Eléctricos y Mecánicos de la Planta de Tratamiento

El conjunto de componentes mecánicos y eléctricos que permiten el funcionamiento de la planta de tratamiento se presentan en la **Tabla A.2, Anexo A.**

### 1.4.3 Normatividad

Las normas ambientales en Ecuador se rigen bajo el Texto Unificado de Legislación Secundaria Medio Ambiental (TULSMA). Dentro de este, se establecen las políticas ambientales básicas en el Ecuador. En el LIBRO VI (de la Calidad Ambiental) de este texto se proporcionan los límites permisibles de descarga de las aguas residuales. (**Tabla A.3 y A.4, Anexo A**)

Estos parámetros se compararon con los resultados de los análisis físico-químicos realizados a las aguas tratadas de la PTAR del Pre-Politécnico. Estos se muestran en la **Tabla A.5, Anexo A**.

### 1.4.4 Sistema de Riego Automático

El riego es una actividad que permite distribuir el agua de forma eficiente y uniforme sobre la superficie del suelo. Para un mejor aprovechamiento de este recurso hídrico, actualmente se aplican métodos artificiales automatizados que facilitan la irrigación.

Los elementos principales que componen el riego automático son los siguientes:

- Programador
- Actuador
- Sensores y/o transductores
- Instrumentación
- Emisores de Riego
- Filtros de agua

Según la forma de distribución del agua, los principales sistemas de riego pueden ser:

- **Riego por Aspersión:**

El agua se aplica sobre la superficie del suelo en forma de lluvia fina. Se utiliza una red de riego que conduce el agua a una presión adecuada hasta los aspersores que son los encargados de distribuirla. (Rafael Fernández Gómez et al.)

**Ventajas del Sistema de Riego por Aspersión:**

- Permite el uso eficiente del agua.
- Cubre grandes distancias de terreno.
- La vida útil de estos sistemas es alta.

**Inconvenientes del Sistema de Riego por Aspersión:**

- La inversión y mano de obra puede ser elevada.
- La instalación de estos sistemas es más compleja.
- Puede propiciar el crecimiento de maleza.

- **Riego por Goteo:**

El sistema de riego por goteo permite conducir el agua mediante una red de tuberías. Se aplica a los cultivos a través de emisores que entregan periódicamente pequeños volúmenes de agua. (Mario Liotta et.al.)

Por este método, el agua no se evapora al llegar a las raíces.

**Ventajas del Riego por Goteo**

- Aplica el agua en forma localizada, continua y eficiente.
- La eficiencia de riego es de 90 - 95 % respecto al consumo de agua, ya que la evaporación disminuye.
- El agua se aplica en la zona radicular del cultivo y así se evita desperdicios. *No afectan los vientos fuertes.*
- Requiere de baja presión de agua en comparación con el riego por aspersión.

- Se adapta a condiciones topográficas diversas y diferentes tipos de suelo.
- Reduce el crecimiento de malezas en el suelo.
- Si aumenta la frecuencia de riego, el suelo se puede mantener humedecido con pequeñas cantidades de agua.

### **Inconvenientes del Sistema de Riego por Goteo**

- Requiere de una inversión inicial elevada.
- Necesita de una fuente de abastecimiento de agua en forma regular.
- Se requiere de electricidad para operar los equipos.
- Se emplea en cultivos de frutales, hortalizas y flores.
- Los goteros necesitan de un mantenimiento periódico para que no se taponen.

#### ▪ **Riego por Microaspersión:**

Los microaspersores están destinados a suministrar el riego mediante gotas muy finas.

Poseen un deflector giratorio, denominado rotor o bailarina. Llegan a cubrir un mayor diámetro de área, una menor tasa de precipitación que los difusores, un mayor tamaño de gota, y una mejor distribución del agua (sobre todo en uniformidad de distribución).

Los microaspersores son ideales para riegos de bajo volumen en cultivos hortícolas, fruticultura, flores, invernaderos, viveros y riego de jardines.

#### **Ventajas del Sistema de Riego por Microaspersión:**

- Su aplicación supone un ahorro de agua en comparación con el riego por aspersión tradicional o sistemas de riego convencional

- Es uniforme y menos probable que se obstruyan los emisores debido a la velocidad del agua.
- Es más cómodo y requiere menos esfuerzo físico de instalación.
- Excluye las sales perjudiciales de las raíces de la planta ayudando a una buena lixiviación del suelo.

#### **Inconvenientes del Sistema de Riego por microaspersión:**

- Alto costo inicial
- Los componentes son propensos a averiarse debido a que se encuentran fijos al suelo y expuestos a la intemperie.
- Las boquillas y reguladores se pueden obstruir cuando el sistema está inactivo por mucho tiempo.

En la **Tabla A.5, Anexo A**, se presentan los factores que influyen en la selección del riego considerando que el recurso hídrico con el cual se trabajará es agua tratada. El método de riego que se seleccione para el sistema dependerá de los resultados que se muestren en la matriz de decisión del **Capítulo 2**.

#### **1.4.5 Programación de la automatización del Riego:**

La automatización del riego puede programarse según el criterio del diseñador de la siguiente forma:

- Programación por tiempos.
- Programación por volúmenes medidos de un medidor de caudal o detectores de nivel.
- Programación en base a sensores del estado hídrico del suelo y de la planta.
- Programación basada en datos meteorológicos proporcionados por una estación meteorológica.

# CAPÍTULO 2

## 2. METODOLOGÍA

La implementación del sistema de riego automático abarca dos tipologías de diseño:

Un *diseño por selección* que consiste en elegir los componentes que determinen el buen desenvolvimiento del sistema.

Un *diseño adaptativo* en el cual los parámetros del diseño o dispositivo de ingeniería existentes se modifican ligeramente para mejorar la calidad o para adaptarse a una nueva tendencia.

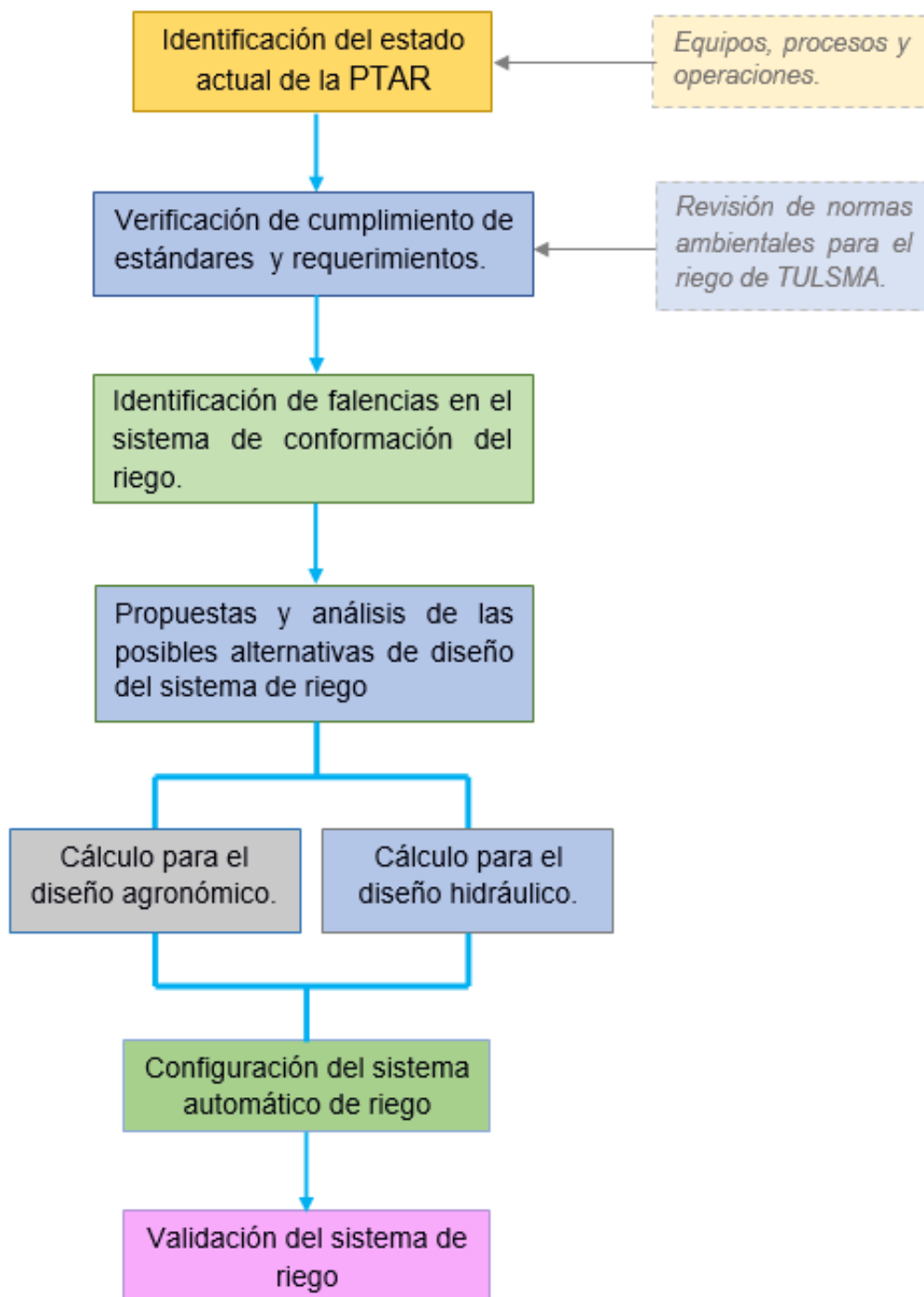
Para llevar a cabo este trabajo de titulación, se desarrolló la metodología que se presenta en la **Figura 2.1**. *En la primera etapa, se verifica el estado de la planta de tratamiento que produce el agua para el riego.*

La segunda etapa se conoce como conceptual. Se estudia el problema y se analizan las posibles alternativas de solución a partir de los requerimientos y especificaciones. Se elige la mejor alternativa por medio de comparación de pares, tabla morfológica y matriz de decisión.

La tercera etapa es del diseño preliminar dónde se eligen los componentes del sistema de riego a partir de cálculos agronómicos (suelo) e hidráulicos.

Finalmente, se afinan los resultados y se presenta la conformación de los componentes seleccionados para el funcionamiento del sistema de riego.





**Figura 2.1 Metodología de diseño a seguir**  
 Fuente: Suárez, Nicole

## 2.1 Diseño Conceptual

### 2.1.1 Objetivos y Funciones

En la **Tabla 2.1** se plantean las funciones que debe cumplir el sistema de riego de acuerdo a los objetivos del proyecto. A su vez, se despliegan los criterios para la selección de la alternativa que se alinee con las especificaciones y restricciones del cliente.

**Tabla 2.1 Planteamiento del problema**

Fuente: Suárez, Nicole

Objetivo	Funciones	Medios	Criterios de Selección	Restricciones
Irigar usando aguas tratadas	Succión de Agua	Bombas de uso agropecuario	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Costo</li> <li>- Seguridad</li> <li>- Potencia</li> <li>- Complejidad de Instalación</li> <li>- Eficiencia de Riego</li> <li>- Tiempo</li> </ul>	Capacidad de Almacenamiento del tanque de agua tratada $\leq 5 \text{ m}^3$
	Riego uniforme	Emisores de riego		Días de operación de la planta de tratamiento
	Controlar el proceso de irrigación	Manual		Demanda de agua para el riego.
		Automático		Área de riego es de $1350 \text{ m}^2$

Los criterios de selección (*o de evaluación*) dependen de los requerimientos del cliente (ESPOL) y de los componentes existentes en la PTAR.

Se espera que la alternativa de diseño ganadora sea de bajo costo, provea de seguridad a quienes la manipulen o estén en contacto y que su instalación sea de baja complejidad. El sistema de riego deberá cubrir la mayor parte de área verde; esto dependerá del tipo de emisor que se

coloque en el suelo, por lo cual se requiere una alta eficiencia. A su vez, la irrigación deberá realizarse en el menor tiempo posible.

### 2.1.2 Ponderación de criterios

El orden de relevancia de cada criterio se determina a partir de la comparación entre cada uno de ellos (comparación por pares). Esta técnica mide la relación entre cada uno de los criterios de acuerdo a una escala establecida.

#### *Requisitos del cliente:*

- Aprovechar el agua tratada de la PTAR
- Diseñar un sistema de riego para las área verdes del Pre-Politécnico

#### *Criterios de Diseño:*

1. Costo: Menor posible
2. Seguridad: Mayor posible
3. Potencia: Más adecuada al sistema
4. Complejidad de Instalación: Más fácil
5. Eficiencia de Riego: Más alta
6. Tiempo: Menor posible

### Comparación por pares

Se comparan entre sí cada uno de los criterios de diseño establecidos anteriormente. En la **Tabla 2.2** se muestra que dichos criterios han sido ordenados en filas y columnas para compararlos de acuerdo a su importancia. Para ello se asignaron los valores de cinco (5), tres (3) y uno (1) para el criterio *más, igual o menos importante*, respectivamente.

Los resultados que se obtienen de esta tabla, mostrarán el orden de relevancia de cada criterio de acuerdo a lo que se busca para el diseño final.

**Tabla 2.2 Comparación por pares de criterios**

Fuente: Suárez, Nicole

Criterios de selección	Costo	Seguridad	Potencia	Complejidad de Instalación	Eficiencia de Riego	Tiempo	Calificación
<b>Costo</b>	-	1	3	5	3	1	13
<b>Seguridad</b>	3	-	1	1	3	3	11
<b>Potencia</b>	5	3	-	5	3	1	17
<b>Complejidad de Instalación</b>	1	3	1	-	3	1	9
<b>Eficiencia de Riego</b>	3	1	3	3	-	3	13
<b>Tiempo</b>	3	5	3	3	3	-	17

En la **Tabla 2.3** se muestra el porcentaje de importancia de cada criterio de selección. Cada uno de ellos se ordena de forma ascendente.

Se puede observar que la *potencia* y el *tiempo* tienen el mayor porcentaje de importancia, por lo que se enfocará el diseño del sistema de riego hacia la selección de una bomba adecuada que cumpla con las necesidades del cultivo.

A su vez, el costo está en tercer lugar de importancia lo que implica que hay que buscar y/o seleccionar componentes económicos pero que contribuyan con la eficiencia esperada.

La seguridad y complejidad de instalación quedaron en quinto y en sexto lugar con un porcentaje de 13% y 11% respectivamente. Estos resultados continúan siendo relevantes para el diseño y ya forman parte implícitamente de los criterios que están en primer lugar en la tabla

**Tabla 2.3 Importancia relativa de cada criterio de selección.**

Fuente: Suárez, Nicole

<b>Criterio</b>	<b>Calificación</b>	<b>Nivel de importancia (%)</b>
Potencia	17	21
Tiempo	17	21
Costo	13	16
Eficiencia de Riego	13	16
Seguridad	11	13
Complejidad de instalación	9	11
<b>Total</b>	<b>80</b>	<b>100</b>

### 2.1.3 Tabla Morfológica

La tabla morfológica muestra una vista del alcance del diseño que permite identificar soluciones potenciales por medio de mezclas de alternativas.

**Tabla 2.4 Tabla Morfológica**

Fuente: Suárez, Nicole

<b>Medios</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Características/ Función</b>				
Transportar agua tratada a través de tuberías	Bomba Centrífuga	Bomba Periférica	-	-
Irrigación continua en áreas verdes	Goteros	Micro aspersores	Aspersores	Difusores
Encendido y apagado del proceso de riego	Por tiempos	Por volúmenes	Por estado hídrico del suelo	Por datos meteorológicos

De la tabla morfológica se proponen seis (6) posibles soluciones que podrían adaptarse al sistema. **Tabla 2.5**

**Tabla 2.5 Posibles Alternativas de Solución**

Fuente: Suárez, Nicole

Solución	Descripción de la alternativa
A	Bomba Periférica, por gotero, controlada por tiempo
B	Bomba Centrífuga, por micro-aspersores, controlada por volúmenes
C	Bomba Centrífuga, por aspersores, controlada por el estado hídrico del suelo
D	Bomba Periférica, por difusores, controlada por datos meteorológicos
E	Bomba Periférica, por difusores, controlada por volúmenes
F	Bomba Centrífuga, por goteo, controlada por el estado hídrico del suelo

#### 2.1.4 Matriz de Decisión

Se elabora esta matriz en donde se encuentran todas las alternativas procedentes de la tabla morfológica. En esta matriz se comparan las opciones contempladas para el diseño de acuerdo al porcentaje de los criterios de la **Tabla 2.3**.

Se asignan valores por medio de la escala de calificación que va desde (10: máxima influencia del criterio) hasta (2: mínima influencia en el criterio).

Estos valores conceden un puntaje final que permiten reconocer la opción o alternativa más conveniente para el diseño del sistema de riego.

En la **Tabla 2.6** se observan los puntajes impuestos para cada solución de acuerdo a la potencia, tiempo, costo, eficiencia de riego, seguridad y complejidad de instalación.

Finalmente, de esta matriz se logró obtener como alternativa de solución a la opción B. La cual consiste en la aplicación de:

- *Bomba Centrífuga, por micro-aspersores, por volúmenes*

**Tabla 2.6 Matriz de Decisión**

Fuente: Suárez, Nicole

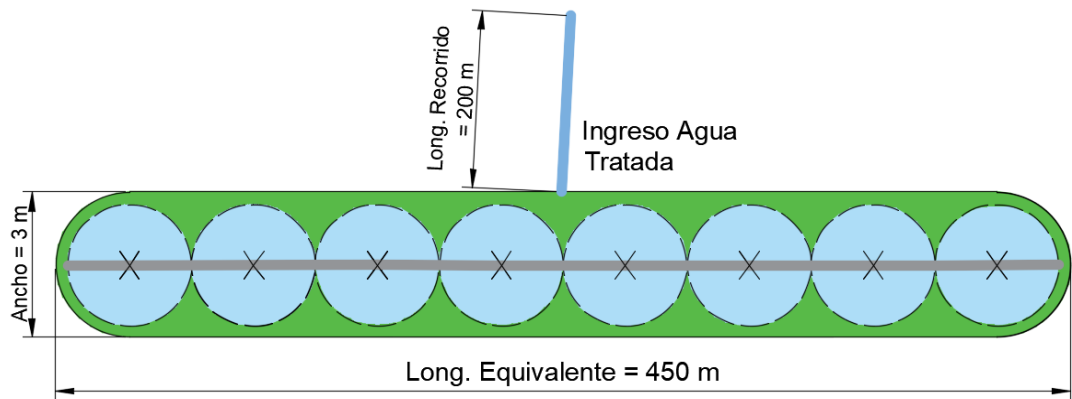
Criterios	Potencia	Tiempo	Costo	Eficiencia de Riego	Seguridad	Complejidad de Instalación	Grado de Satisfacción
Porcentaje de importancia	0,21	0,21	0,16	0,16	0,13	0,11	
Solución	Más baja	Menor posible	Menor posible	Más alta	Mayor posible	Más fácil	
A	1.47 (7)	1.68 (8)	1.12 (7)	1.44 (9)	0.65 (5)	0.77 (7)	7.13
B	1.05 (5)	1.89 (9)	1.12 (7)	1.44 (9)	1.04 (8)	0.88 (8)	<b>7.42</b>
C	1.05 (5)	1.89 (9)	0.64 (4)	0.96 (6)	0.78 (6)	0.66 (6)	5.98
D	1.47 (7)	1.26 (6)	1.12 (7)	1.12 (7)	0.91 (7)	0.88 (8)	6.76
E	1.47 (7)	1.26 (6)	1.12 (7)	1.12 (7)	1.04 (8)	0.55 (5)	6.56
F	1.47 (7)	1.68 (8)	1.12 (7)	1.44 (9)	0.91 (7)	0.66 (6)	7.28

## 2.2 Diseño Preliminar

La irrigación se producirá a lo largo de 450 metros de distancia recubiertos de césped de tipo *Cynodon Dactylon* y el ancho del parterre es 3 metros. Por ende, el área de riego equivale a 1350 m<sup>2</sup>. **(Tabla A.1, Anexo A)**

La distancia de recorrido de la tubería desde la salida de la planta de tratamiento hacia los jardines de césped es de 200 metros. Luego recorrerá 450 metros más donde serán colocados los microaspersores para el riego.

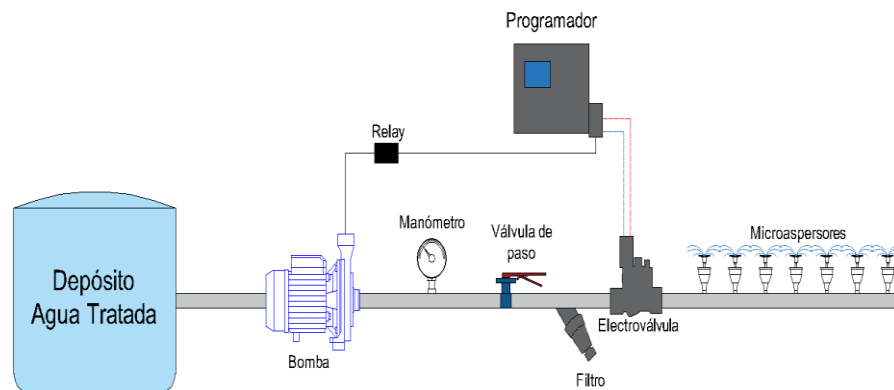
La selección de estos emisores del agua depende de la necesidad hídrica de la planta en m<sup>3</sup> y de la calidad del agua regenerada a la salida de la planta.



**Figura 2.2 Distribución de riego por microaspersores**

Fuente: Suárez, Nicole

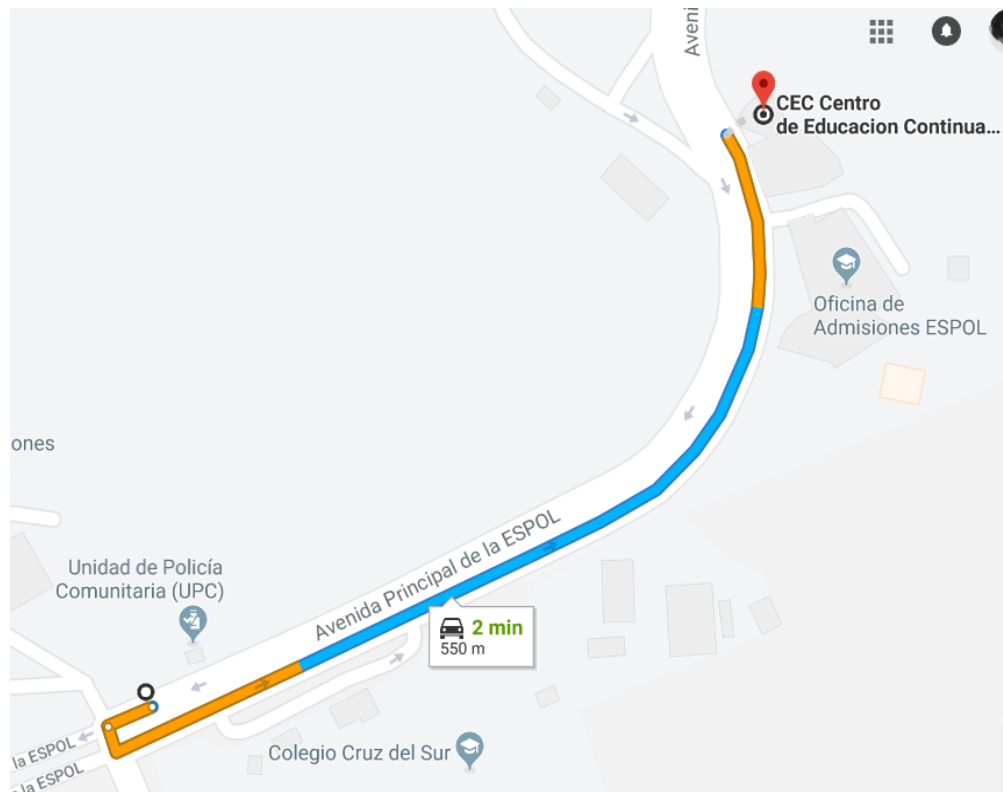
El esquema del diseño de forma está compuesto por el conjunto motor-bomba la cual será accionada por un relay. Contará con electroválvula para permitir el paso del agua regenerada. Los filtros para este sistema serán de tipo malla y serán seleccionados de acuerdo a la cantidad de solidos disueltos existentes en el agua. A su vez, este sistema contará con el programador que será el encargado de operarlo. **(Figura 2.3)**



**Figura 2.3 Esquema de Diseño de Forma**

Fuente: Suárez, Nicole





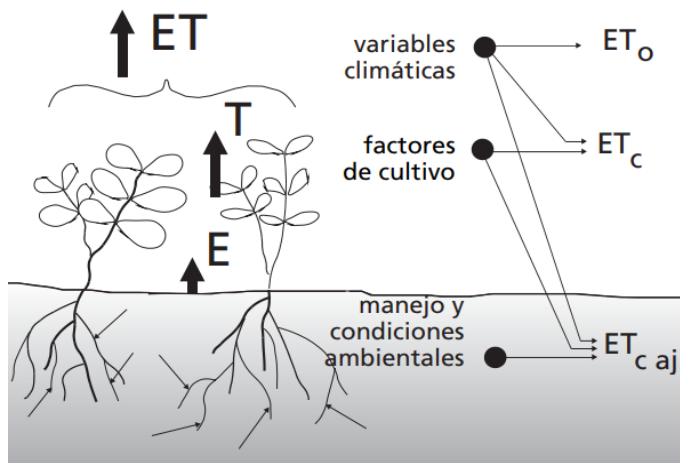
**Figura 2.4 Zona de Riego**  
Fuente: Google Maps

## 2.2.1 Diseño Agronómico

### 2.2.1.1 Evapotranspiración (ET)

Se conoce como evapotranspiración (ET) a los procesos por los cuales el agua se pierde a través de la superficie del suelo: por evaporación y por transpiración del cultivo.

Este parámetro varía según las condiciones climáticas (radiación solar, temperatura, humedad, velocidad del viento) y el entorno donde se mida.



**Figura 2.5 Factores que afectan la evapotranspiración con referencia a conceptos relacionados de ET**

Fuente: Estudio FAO de Riego y Drenaje

Mediante la **ecuación 2.1** es posible determinar la evapotranspiración (ET) y de esta forma determinar cuál es la necesidad hídrica de la zona de riego. Se tiene que:

$$ET = (ET_o)(K_c) \quad (2.1)$$

Dónde:

**ET<sub>o</sub>**, es un parámetro relacionado con el clima que expresa el poder evaporante de la atmósfera.

**K<sub>c</sub>**, es el coeficiente de cultivo (adimensional) el cual varía principalmente en función de las características particulares del cultivo, variando solo en una pequeña proporción en función del clima.

En general, la evapotranspiración se expresa en milímetros de altura de agua evapotranspirada cada día (mm/día).

### **Evapotranspiración de Referencia (ET<sub>o</sub>)**

El método FAO Penman - Monteith se recomienda actualmente como el método estándar para la definición y el cálculo de la evapotranspiración de referencia, ET<sub>o</sub>. Para el presente cálculo, se ha utilizado el modelo matemático modificado de **Penman**.

Algunas de las consideraciones para el cálculo dependen de datos locales como los siguientes:

- La radiación solar para la ciudad de Guayaquil se considera como un valor constante de **470 W/m<sup>2</sup>**.
- La presión atmosférica es de **101,3 kPa**.
- Los datos mensuales para *evaporación, humedad relativa, velocidad del viento y temperatura* son proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (**Tabla B.1, Anexo B**)
- La evapotranspiración se calcula para cada mes del año. Se elige el valor más alto en el año como referencia para la necesidad hídrica del cultivo.

Los resultados de los cálculos que se realizan a continuación se muestran en la **Tabla B.2, Anexo B**. Se transforman a Kelvin las temperaturas puesto que las ecuaciones del modelo matemático en adelante necesitarán este valor.

$$T_k = T + 273,16^\circ \quad (2.2)$$

Dónde:

$T_k$ : Temperatura en grados Kelvin

$T$ : Temperatura en grados Celsius

La presión de vapor saturante ( $e_a$ ) es proporcionada para cada mes del año por el *Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología* (INAMHI).

**Tabla 2.7.**

**Tabla 2.7 Datos de tensión de vapor saturante en ciudad de Guayaquil**  
Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI)

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
$e_a$	2,84	2,80	2,91	<b>2,77</b>	2,61	2,50	2,37	2,33	2,40	2,47	2,45	2,43

La presión de vapor actual ( $e_d$ ) se encuentra a partir de la presión de vapor saturante ( $e_a$ ) (**Tabla 2.7**) y la humedad relativa (H) en porcentaje.

$$e_d = e_a \cdot \frac{H}{100} \quad (2.3)$$

$$e_d = 2,77 \times \frac{76}{100}$$

$$e_d = \mathbf{2,105}$$

El déficit de presión de Vapor (VPD) equivale a la resta entre la presión de vapor actual ( $e_d$ ) y la de vapor saturante ( $e_a$ ).

$$VPD = e_d - e_a \quad (2.4)$$

$$VPD = \mathbf{0,665}$$

La pendiente de la presión de vapor saturado ( $\Delta$ ) a la temperatura media horaria depende de:

- $e_a$ : presión de vapor saturante
- $T_k$ : temperatura en grados Kelvin

$$\Delta = \frac{e_a}{T_k} \cdot \left( \frac{6790,5}{T_k} - 5,028 \right) \quad (2.5)$$

$$\Delta = \frac{2,77}{307,46} \cdot \left( \frac{6790,5}{307,46} - 5,028 \right)$$

$$\Delta = \mathbf{0,154}$$

El modelo de *Penman modificado* incluye una constante psicrométrica ( $\gamma$ ) que representa la pendiente de la presión de vapor saturante de la zona de riego a la temperatura media horaria. Esta se calcula de la siguiente forma:

$$\gamma = 0,000646 \cdot (1 + 0,0009465 \cdot T) \cdot P \quad (2.6)$$

$$\tilde{a} = 0,000646 \cdot \left( 1 + (0,0009465 \cdot (34,3)) \right) \cdot (101,3)$$

$$\gamma = \mathbf{0,068}$$

Dónde:

$P$ : Presión atmosférica (101,3kPa)

La función de peso ( $W$ ) depende de la pendiente de presión y la constante psicrométrica ( $\gamma$ ):

$$W = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \quad (2.7)$$

$$W = \frac{0,154}{0,154 + 0,068}$$

$$W = 0,695$$

La fuerza del viento ( $F$ ) tiene una consideración importante que interviene en el desarrollo del cultivo. Las variables que influyen son: la velocidad del viento y la radiación solar (diurna y nocturna).

La radiación para la noche es igual a cero y para el día se usa el promedio de 470 W/m<sup>2</sup>.

En la *noche*, la fuerza del viento se determina a partir de la **ecuación 2.8**

- **Para  $R_n = 0$  (noche)**

$$F_n = 0,125 + 0,0439 \cdot U$$

$$F_n = 0,125 + 0,0439 \cdot (1,08)$$

$$F_n = 0,173$$

(2.8)

En el *día*, la fuerza del viento se determina a partir de la **ecuación 2.9**

- **Para  $R_n = 470$  W/m<sup>2</sup> (día)**

$$F_d = 0,030 + 0,0576 \cdot U$$

$$F_d = 0,030 + 0,0576 \cdot (1,08)$$

$$F_d = 0,092$$

(2.9)

Se convierte la radiación de  $W/m^2$  a milímetros y se la define como NR.

$$NR = \frac{R_n}{694,5 \cdot (1 - 0,000946 \cdot T)} \quad (2.10)$$

$$NR = \frac{470}{694,5 \cdot (1 - (0,000946 \cdot (34,3)))}$$

$$NR = 0,699$$

Para obtener la evapotranspiración (ET<sub>oh</sub>) horaria aproximada en (mm), se aplica la **ecuación 2.11**:

$$ET_{oh} = (W \cdot NR) + ((1 - W)(VPD \cdot F)) \quad (2.11)$$

En el día, la ET<sub>oh</sub> se calcula usando  $F_d$

$$ET_{oh} = ((0,704) \cdot (1,26)) + ((1 - 0,704)((0,553) \cdot (0,092)))$$

$$ET_{oh} = 0,505 \text{ mm}$$

En la noche, la ET<sub>oh</sub> se calcula usando  $F_n$

$$ET_{oh} = ((0,704) \cdot (1,26)) + ((1 - 0,704)((0,553) \cdot (0,173)))$$

$$ET_{oh} = 0,521 \text{ mm}$$

La evapotranspiración de referencia será igual a la suma de las jornadas matutina y nocturna.

**Tabla 2.8 Valores de Evapotranspiración para día y noche en Guayaquil**

Fuente: Suárez, Nicole

ET <sub>oh</sub> día	0,505 mm (12 h)	6,055 mm
ET <sub>oh</sub> noche	0,521 mm (12 h)	6,251 mm
<b>ET<sub>o</sub> (de Referencia)</b>		<b>12,306 mm</b>

Finalmente, se obtiene el valor de evapotranspiración de referencia para el cultivo igual a: **ET<sub>o</sub> = 12,306 mm**

### 2.2.1.2 Coeficiente de Cultivo ( $K_c$ )

Depende del tipo de cultivo y del estado en el que se encuentre. Los factores que influyen sobre el  $K_c$  son:

- Características del cultivo
- Condiciones climáticas
- Frecuencias de lluvias o riegos en la fase inicial

**Tabla 2.9 Coeficientes de Cultivo  $K_c$  para Forrajes**

Fuente: Universidad de la República

Forrajes		$K_c$
Pasturas	Rotación de Pasturas	0,40
	Pasturas Extensivas	0,30
Sudan grass heno	Efecto Promedio de cortes	0,50
	Períodos individuales de corte	0,50
Césped	<b>Estación fresca</b>	<b>0,90</b>
	<b>Estación cálida</b>	<b>0,80</b>

De la **Tabla 2.9** se elige el coeficiente de cultivo para la estación fresca y se compara con la estación cálida. Mediante la **ecuación 2.1** y el valor obtenido para la evapotranspiración de referencia se tiene que:

$$ET = (ET_o)(K_c)$$

- **Para la estación fresca:**

$$ET = (12,306)(0,90) = 11,075 \text{ mm}$$

- **Para la estación cálida:**

$$ET = (12,306)(0,80) = 9,845 \text{ mm}$$

### 2.2.1.3 Necesidad Hídrica de la zona de riego

Promediando entre los dos valores obtenidos al final de la sección anterior, se tiene que la necesidad hídrica para la zona de riego (parterres) es **10,465 mm/día**.

El volumen diario requerido para la zona de riego total, es entonces:

$$(0,01046 \text{ m/día})(1350 \text{ m}^2) = 14,12 \text{ m}^3/\text{día}$$

El requerimiento esperado es irrigar durante tres veces a la semana. Por tanto para cumplirlo, el volumen semanal de agua tratada que debe producir la planta de tratamiento es de **42,36 m<sup>3</sup>/semana**.

### 2.2.1.4 Rutina de Riego

El caudal de salida de agua tratada de la planta de tratamiento es de **10 m<sup>3</sup>/h**. Dado que la planta trabaja 8 horas, puede producir hasta **80 m<sup>3</sup>** diarios. La capacidad de los tanques de almacenamiento es de **5m<sup>3</sup>**. Por ello, el tiempo de llenado de estos tomará alrededor de:

$$\frac{5 \text{ m}^3}{10 \text{ m}^3/\text{h}} = 0,5 \text{ h} = \mathbf{30 \text{ min}}$$

Por seguridad, se dará un tiempo más prolongado de llenado de **45 min** (equivalente a 0,75 h). Para cumplir la necesidad de irrigación de toda la zona, se necesitará entonces:

$$\frac{(0,75 \text{ h})(14,12 \text{ m}^3)}{5 \text{ m}^3} = 2,12 \text{ h}$$

Por lo tanto, la operación de riego tomará alrededor de **2,12 horas** de riego para abastecer al área especificada.



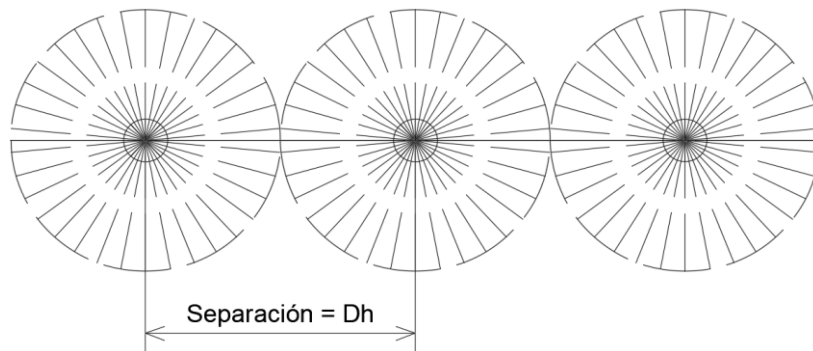
**Tabla 2.10 Propuesta de Rutina de Riego**

Fuente: Suárez, Nicole

	Lunes	Miércoles	Jueves	Viernes
<b>Tratamiento de agua</b>	SI	NO	SI	NO
<b>Volumen Riego</b>	14 m <sup>3</sup>	5 m <sup>3</sup>	14 m <sup>3</sup>	5 m <sup>3</sup>
<b>Reserva</b>	5 m <sup>3</sup>	NO	5 m <sup>3</sup>	NO
<b>Desecho</b>	<b>61 m<sup>3</sup></b>	NO	<b>61 m<sup>3</sup></b>	NO

### 2.2.1.5 Distribución y número de micro aspersores

Dado que se trata de una sola tubería en donde se distribuirán los microaspersores, el espaciamiento efectivo entre ellos puede estar en el rango de (95% - 100%) del diámetro de humedecimiento (**Dh**).



**Figura 2.6 Distribución de microaspersores en zona de riego**

Fuente: Suárez, Nicole

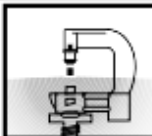
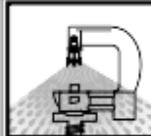
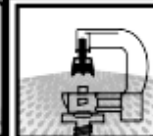
La longitud de la tubería donde se colocarán los microaspersores es de **450 metros** y el diámetro de humedecimiento ideal para la zona de irrigación es de **3 metros**. Al dividir la longitud para el diámetro se obtiene un requerimiento de **150 unidades** de emisores de riego.

Se han seleccionado *microaspersores de presión regulada* de la marca *NAANDANJAIN Irrigation*. Los cuales están diseñados para proporcionar un amplio rango de aspersión y una mayor resistencia a la obturación.

En la **Figura 2.7** se muestra el microaspersor seleccionado con sus características:

- *Modelo:* HADAR 7110
- *Caudal:* 50 l/h (0,05 m<sup>3</sup>/h)
- *Diámetro de humedecimiento:* 3.0 m
- *Color y diámetro de boquilla:* Violeta, 1 mm

**DIÁMETRO DE HUMEDECIMIENTO (M) A 2.0 BAR**

Boquilla Ø (mm)	Color Boquilla	Caudal (l/h)			
			Nebulizador	Rociador pequeño	Rociador largo alcance Anti Insecto
0.8	Negro	33	2.0	2.2	
0.9	Gris	41	2.1	2.3	2.4
1.0	Violeta	50	2.3	2.4	3.0
1.1	Rojo	61	2.4	2.6	3.2
1.2	Naranja	75	2.6	2.8	3.6
1.3	Verde	87	3.0	2.9	3.6
1.4	Azul	103	3.3	3.1	3.6
1.6	Amarillo	128	3.6	3.0	3.7
1.8	Verde brillante	166	4.1	3.0	3.8
2.0	Blanca	199	4.4	3.2	3.9
2.3	Marrón	265	5.4		4.2

**Figura 2.7 Selección de microaspersores para el sistema de acuerdo a las necesidades del cultivo**

Fuente: NAANDANJAIN - Irrigation

El caudal total necesario para la red de microaspersores es por lo tanto igual a:

$$Q_{total} = (50 \text{ l/h})(150 \text{ aspersores}) = 7500 \text{ l/h}$$

$$Q_{total} = 7,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

## 2.2.2 Diseño Hidráulico

### 2.2.2.1 Cálculo de Cabezal de Bomba

En esta sección se determinarán las características de la bomba requerida para suplir la necesidad de riego. Para ello, se calculan las pérdidas de carga que ocurren producto de: la circulación de agua a través de las tuberías, la cantidad de accesorios de riego como: filtros, válvulas, codos, té, de los desniveles del terreno y la presión nominal de funcionamiento de los microaspersores.

Las pérdidas de carga se contabilizan en metros de columna de agua (m.c.a) y establecen la altura de elevación (H) que debe entregar la bomba. Por lo tanto, se deben realizar los cálculos hidráulicos como se sigue a continuación:

Para transportar fluidos, es recomendable trabajar con velocidades en el rango de (1 – 2,4 m/s). Para hallar el diámetro de la tubería, se usa la ecuación de continuidad:

$$Q = v \cdot A \quad (2.13)$$

Dónde:

$Q$ : Caudal de entrada (7,5 m<sup>3</sup>/h - 2,08x10<sup>-3</sup> m<sup>3</sup>/s)

$v$ : Velocidad a la que fluye el agua tratada (1 m/s)

$A$ : Área de la tubería

Despejando para hallar el diámetro de tubería, se tiene entonces:

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}} = \sqrt{\frac{4(2,08 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s})}{\pi(1 \text{ m/s})}}$$

$$d = 51,46 \text{ mm}$$

El diámetro ( $d$ ) debe compararse con catálogos de diámetros nominales de tuberías de PVC como se muestra en la **Tabla 2.11**. El valor más cercano al del diámetro obtenido es de 2" (Tipo DN50).

El diámetro interior es de 48,6 mm y será con el que se trabajará en los cálculos.

**Tabla 2.11 Diámetros nominales para tuberías de PVC**  
Fuente: SHRC (PVC – U pipe for soil and waste discharge)

NPS (in)	DN	Diámetro Exterior (mm)	Diámetro Interior (mm)	Espesor de pared (mm)
1 ¼	32	42,2	31,9	4,9
1 ½	40	48,3	37,5	5,1
<b>2</b>	<b>50</b>	<b>60,3</b>	<b>48,6</b>	<b>5,5</b>
2 ½	65	73,0	58,2	7,0
3	80	88,9	72,7	7,6

### Régimen Hidráulico

El número de Reynolds (**Re**) es un parámetro adimensional que expresa la relación entre las fuerzas de inercia y las fuerzas de viscosidad o de fricción en el interior de una corriente, que se expresa para una tubería de sección circular, de la siguiente forma:

$$Re = \frac{vD}{\mu} \quad (2.15)$$

Dónde:

$v$ : Velocidad del fluido (m/s)

$D$ : Diámetro interno de tubería de PVC (m)

$\mu$ : Viscosidad Cinemática (igual a  $1,004 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ )

El valor obtenido determinará el régimen hidráulico. Por lo tanto pueden ser tres tipos:

- Régimen laminar:  $Re < 2000$
- Zona crítica o de transición:  $2000 < Re < 4000$
- Régimen turbulento:  $Re > 4000$

Calculando el número de Reynolds con los datos obtenidos anteriormente, se tiene que:

$$Re = \frac{(1,0 \text{ m/s})(0,048 \text{ m})}{(1,004 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s})} = 47808,76$$

El resultado determina que el régimen del flujo es **turbulento completamente desarrollado**. Por ende, el factor de fricción se calcula por medio del **diagrama de Moody** donde se requiere conocer el valor del coeficiente de rugosidad absoluta ( $\epsilon$ ) del material de la tubería.

Dado que el material de la tubería es *PVC*, según la **Figura 2.8**, el coeficiente es igual a **0,0015 mm**

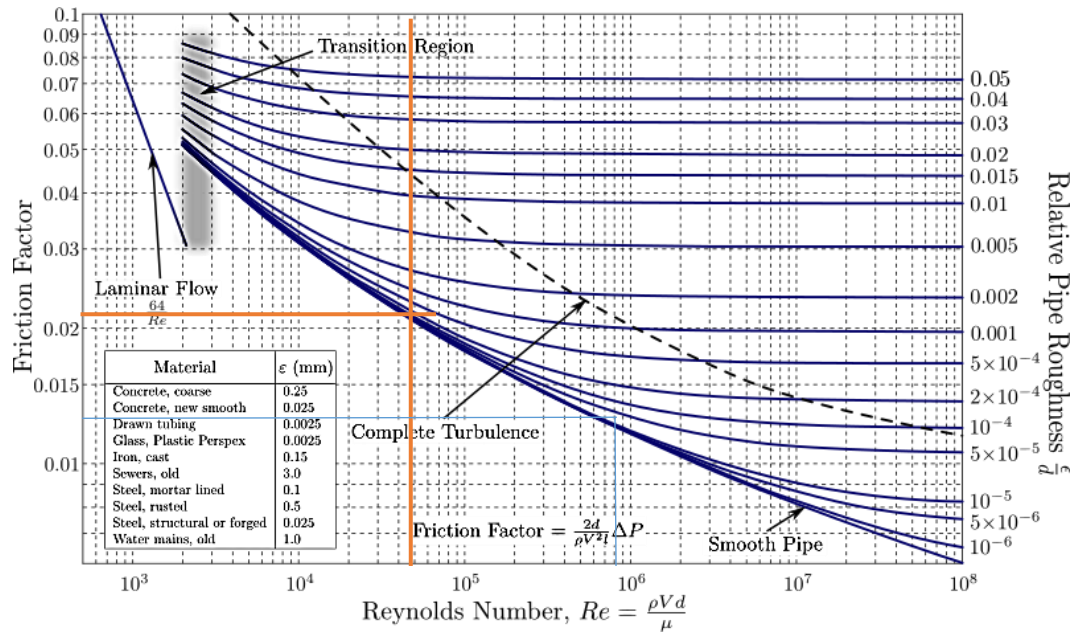
Material	Coficiente de Manning n	Coef. Hazen-Williams $C_H$	Cof. Rugosidad Absoluta $\epsilon$ (mm)
Asbesto cemento	0.011	140	0.0015
Latón	0.011	135	0.0015
Tabique	0.015	100	0.6
Fierro fundido (nuevo)	0.012	130	0.26
Concreto (cimbra metálica)	0.011	140	0.18
Concreto (cimbra madera)	0.015	120	0.6
Concreto simple	0.013	135	0.36
Cobre	0.011	135	0.0015
Acero corrugado	0.022	–	45
Acero galvanizado	0.016	120	0.15
Acero (esmaltado)	0.010	148	0.0048
Acero (nuevo, sin recubrim.)	0.011	145	0.045
Acero (remachado)	0.019	110	0.9
Plomo	0.011	135	0.0015
<b>Plástico (PVC)</b>	<b>0.009</b>	<b>150</b>	<b>0.0015</b>
Madera (duelas)	0.012	120	0.18
Vidrio (laboratorio)	0.011	140	0.0015

**Figura 2.8 Valores típicos de coeficientes de rugosidad**

Fuente: Computer application in hydraulic engineering, 5<sup>th</sup> edition, Haestad Methods.

A partir del diagrama de Moody que se presenta en la **Figura 2.9**. Los valores ubicados en la figura son los siguientes:

$$\frac{\varepsilon}{d} = \frac{0,0015\text{mm}}{48\text{ mm}} = 3,12 \times 10^{-5} \quad \text{vs.} \quad Re = 4,78 \times 10^4$$



**Figura 2.9 Diagrama de Moody**

Fuente: White, 2014

El valor del factor de fricción, de acuerdo al diagrama de Moody, es igual a:  $f = 0,022$

### 2.2.2.2 Pérdidas de carga en tuberías

Las pérdidas totales ( $h_L$ ) dentro de una tubería están dadas por:

$$h_L = \sum h_f + \sum h_s \quad (2.16)$$

Dónde:

$h_f$ : Pérdidas lineales, se producen por el contacto del fluido con las paredes (rugosas) de las tuberías.

$h_s$ : Pérdidas singulares, se deben a los accesorios presentes en el sistema hidráulico. Por ejemplo: válvulas Te, coberturas graduales y súbitas, codos, entre otros.

### **Pérdidas Lineales ( $h_f$ ):**

Se introduce la ecuación de **Darcy Weisbach (2.17)** en función del caudal requerido para los microaspersores.

$$h_f = \frac{16}{\pi^2} \left( \frac{fL}{2g} \right) \frac{Q_{total}^2}{D^5} \quad (2.17)$$

Dónde:

$f$ : Factor de fricción

$L$ : Longitud de la tubería (m)

$D$ : Diámetro interno de la tubería (m)

$$h_f = \frac{16}{\pi^2} \left( \frac{0,022(650)}{2(9,81)} \right) \frac{(2,08 \times 10^{-3})^2}{(0,048)^5} = 20,06 \text{ m}$$

### **Pérdidas Singulares ( $h_{acc}$ ):**

Estas se calculan mediante la **ecuación 2.18** de acuerdo a la cantidad de accesorios que existan en la red de riego.

$$h_{acc} = \frac{16}{\pi^2} \left( \frac{\sum k_L}{2g} \right) \frac{Q_{total}^2}{D^4} \quad (2.18)$$

Dónde:

$k_L$ : Pérdidas por accesorios a lo largo de la tubería

En la **Tabla 2.12** se especifican los accesorios seleccionados para el sistema de irrigación.

Para cada accesorio seleccionado existe un valor de coeficiente **K** que depende del diámetro de la tubería (DN50) como se observa en la **Figura 2.9**.

Accesorios	L/D	Diámetro nominal (en pulgadas)												
		1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2-3	4	6	8-10	12-16	18-24	
Válv.de compuerta(abierta)	8	0.22	0.2	0.18	0.18	0.15	0.15	0.14	0.14	0.12	0.11	0.1	0.1	
Válv.de globo(abierta)	340	9.2	8.5	7.8	7.5	7.1	6.5	6.1	5.8	5.1	4.8	4.4	4.1	
Válv.de retención horizontal(check)	100	2.7	2.5	2.3	2.2	2.1	1.9	1.8	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	
Válv.de retención horizontal oscilatoria(check)	50	1.4	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0	0.9	0.9	0.75	0.7	0.65	0.6	
Válv.de pie de disco(de huso)con colador	420	11.3	10.5	9.7	9.3	8.8	8.0	7.6	7.1	6.3	5.9	5.5	5.0	
Válv.de pie de disco con bisagra	75	2	1.9	1.7	1.7	1.7	1.4	1.4	1.3	1.1	1.1	1.0	0.9	
Codos estándar	90°	30	0.81	0.75	0.69	0.66	0.63	0.57	0.54	0.51	0.45	0.42	0.39	0.36
	45°	16	0.43	0.4	0.37	0.35	0.34	0.3	0.29	0.27	0.24	0.22	0.21	0.19
	90° radio largo	16	0.43	0.4	0.37	0.35	0.34	0.3	0.29	0.27	0.24	0.22	0.21	0.19
	180°	50	1.35	1.25	1.15	1.10	1.05	0.95	0.9	0.85	0.75	0.7	0.65	0.6
Curvas de 90°	20	0.54	0.5	0.46	0.44	0.42	0.38	0.36	0.34	0.3	0.28	0.26	0.24	
T en línea (con derivación en la línea principal y lateral cerrada)	20	0.54	0.5	0.46	0.44	0.42	0.38	0.36	0.34	0.3	0.28	0.26	0.24	
T en línea (con circulación por derivación)	60	1.62	1.5	1.38	1.32	1.26	1.14	1.08	1.02	0.9	0.84	0.78	0.72	

**Figura 2.9 Valores de K para accesorios de riego**  
Suárez, Nicole: Cameron Hydraulic Data

**Tabla 2.12 Coeficientes de accesorios del sistema de riego**  
Fuente: Suárez, Nicole

Accesorio	Cantidad	K	Producto
Codos 90° (2 ")	6	0,63	3,78
Tés (2 ")	2	0,42	0,84
Filtro de Malla	2	2,50	5,00
Válvulas de Bola con Universal (2 ")	8	0,15	1,20
Uniones	5	0,08	0,40
Microaspersores	150	0,07	7,5
<b>Total</b>			<b>18,72</b>

Al reemplazar los valores de pérdidas por los accesorios, caudal y diámetro interno de tubería, se tiene entonces:

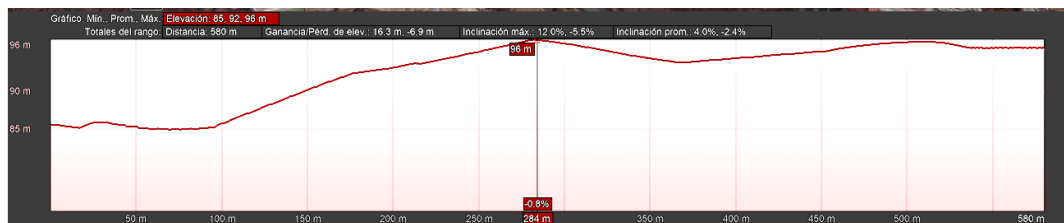
$$h_{acc} = \frac{16}{\pi^2} \left( \frac{18,72}{2(9,81)} \right) \frac{(2,08 \times 10^{-3})^2}{(0,048)^4}$$

$$h_{acc} = 1,26 \text{ m}$$



### 2.2.2.3 Altura Dinámica total

Este valor esencial para la selección de la bomba depende de las pérdidas de la tubería y de los accesorios, además de una altura geodésica ( $h_{geo}$ ) que es el punto más alto del terreno que la bomba debe vencer. Este dato se obtuvo a partir de curvas de elevación. **(Figura 2.10)**



**Figura 2.10 Curvas de Elevación de terreno de riego**  
Fuente: Google Earth, 2019

Por lo tanto, la altura dinámica del sistema es igual a:

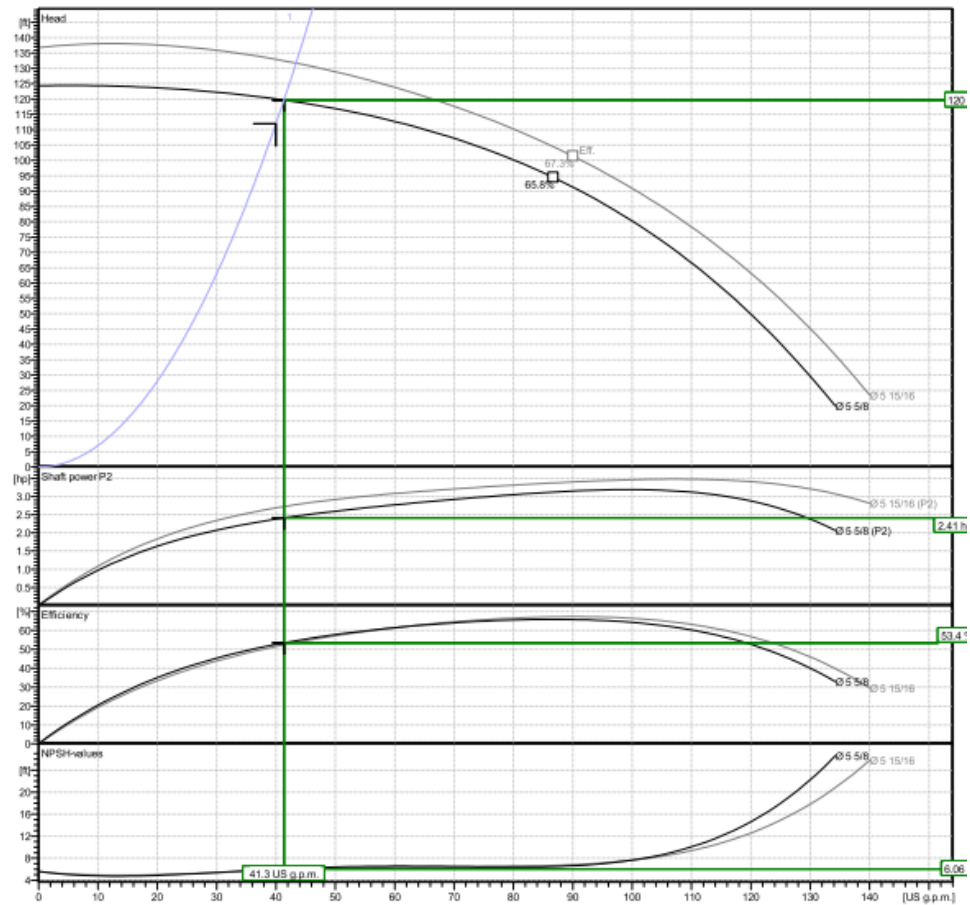
$$h_b = hf + h_{acc} + h_{geo} \quad (2.18)$$

$$h_b = 20,06 + 1,26 + 11$$

$$h_b = 32,32 \text{ m}$$

La bomba se elige de acuerdo al caudal y la altura dinámica total obtenida, como se muestra en la **Figura 2.11**

Power data referred to:  
 Water [100%] ; 39.2°F; 62.4lb/ft<sup>3</sup>; 1.69E-5ft<sup>2</sup>/s  
 Performance according to ISO 9906 - Annex A



**Figura 2.11 Selección de bomba de acuerdo a requerimientos de diseño**  
 Fuente: Goulds Water Technology

Finalmente, las características de la bomba seleccionada son los siguientes:

- *Marca:* Goulds Water Technology
- *Modelo:* 3656 - S
- *Potencia del eje:* 2,4 HP
- *Máxima Potencia:* 3,2 HP
- *NPSH:* 1,85 m
- *Eficiencia:* 53,4%.
- *Velocidad:* 3600 RPM

#### 2.2.2.4 Potencia real de la bomba

$$P = \frac{\rho \cdot g \cdot Q_t \cdot h_b}{745,7 \cdot \eta_b} [HP]$$

Dónde:

$\rho$ : Densidad del agua (1000 kg/m<sup>3</sup>)

$g$ : Gravedad (9,81 m/s<sup>2</sup>)

$Q_t$ : Caudal a suministrar en (m<sup>3</sup>/s)

$h_b$ : Altura dinámica total (m)

$\eta_b$ : Eficiencia teórica de la bomba (56,4%)

El caudal  $Q_t$  es el total del riego determinado por el número total de microaspersores regando simultáneamente. ( $Q_{Total} = 7,5 \text{ m}^3/\text{h}$ )

$$P_{real} = \frac{\left(1000 \frac{kg}{m^3}\right) \cdot \left(9,81 \frac{m}{s^2}\right) \cdot \left(2,08 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}\right) \cdot (32,28 \text{ m})}{745,7 \cdot (0,534)} [HP]$$

$$P_{real} = 1,65 [HP]$$

# CAPÍTULO 3

## 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

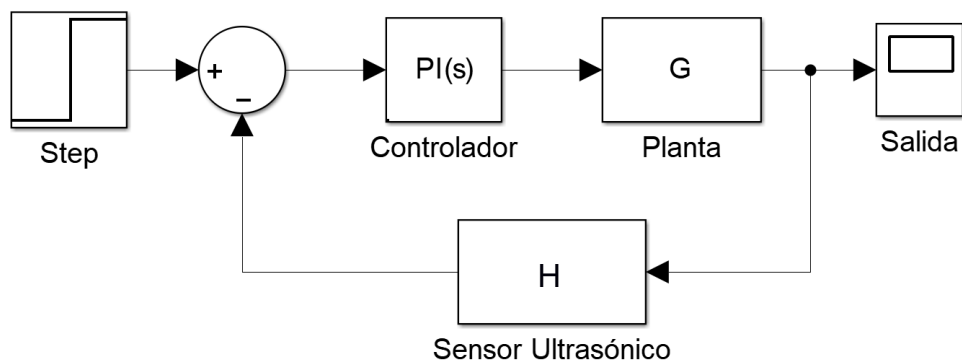
Una vez seleccionados los componentes hidráulicos que permitirán llevar a cabo la irrigación. Se procede a la parte final de este proyecto que consiste en lo siguiente:

- Esquema del sistema de control
- Lógica de control que operará el sistema de riego de forma autónoma.
- Diagrama de Bloques
- Componentes del controlador y retroalimentación

### 3.1 Diagrama de Bloques

Intrínsecamente, el sistema automático se comporta como se muestra en la **figura 3.1**.

- Controlador: Consiste en un arduino y dos relés.
- Planta: es el conjunto motor-bomba
- Sensor Ultrasónico: Otorga la retroalimentación al sistema para encender o apagar la bomba.



**Figura 3.1 Diagrama de bloques del Sistema de control de riego**  
Fuente: Suárez, Nicole

### 3.2 Lógica de Control

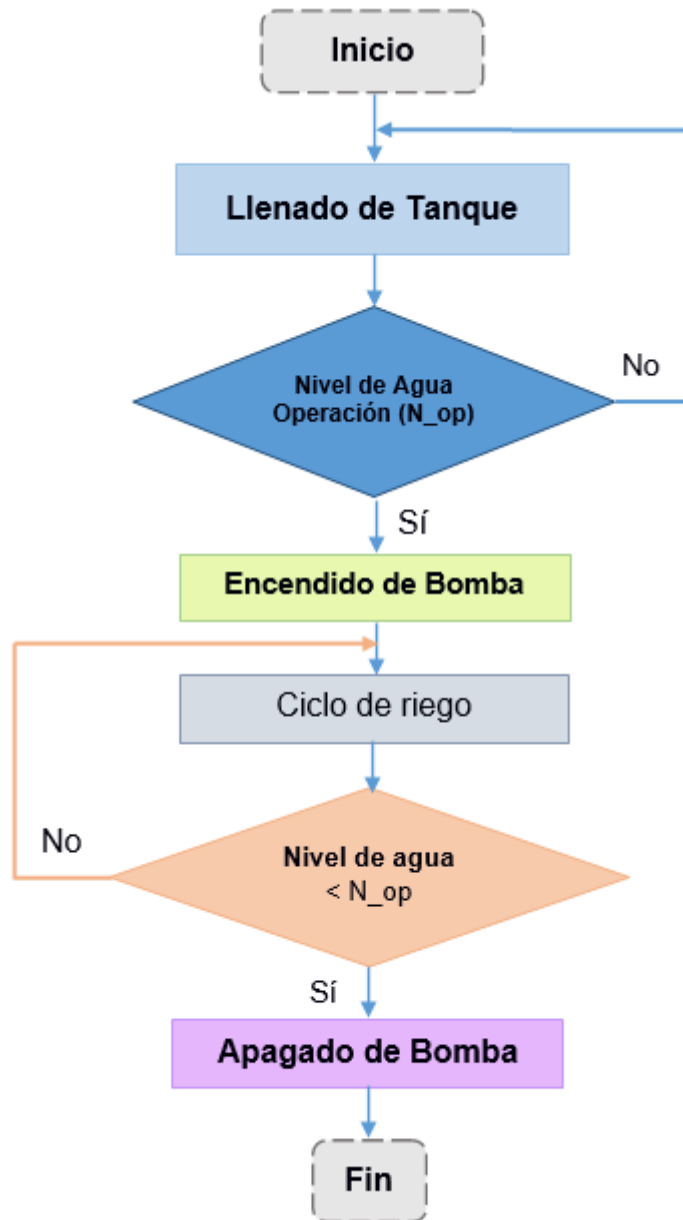
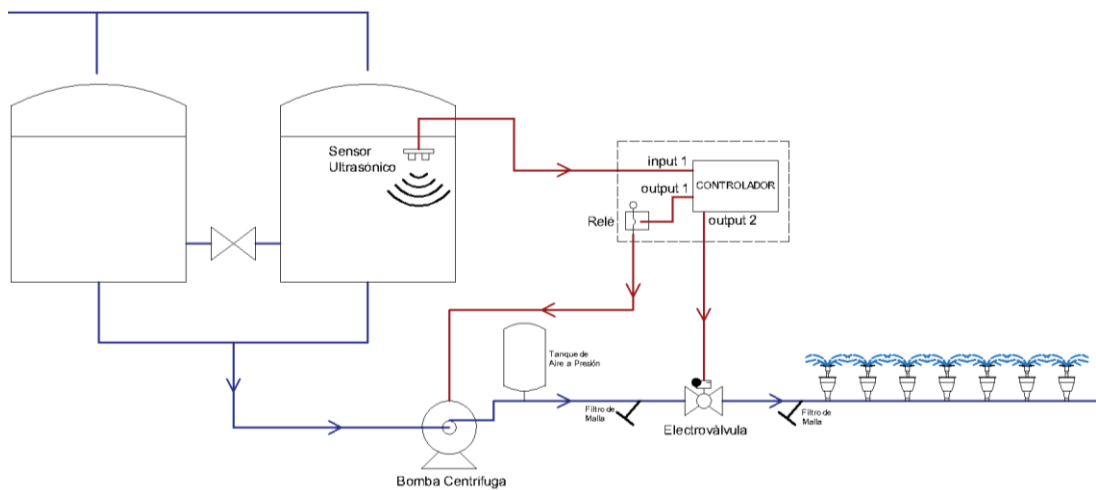


Figura 3.2 Lógica del Sistema de control de riego  
Fuente: Suárez, Nicole

El sensor ultrasónico enviará la señal de entrada al controlador la altura de agua en los reservorios sea igual a  $N_{op} = 1,5 \text{ m}$ .

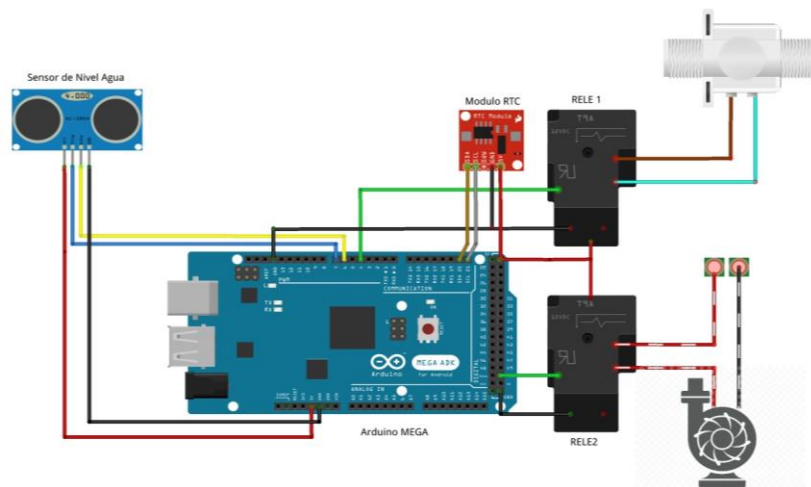
Dicho controlador a su vez envía dos señales simultáneas:

- La primera (*output 1*) va hacia el relé que se encarga de encender la bomba para su operación, y
- La segunda (*output 2*) se dirige a la electroválvula para abrirla (1) o cerrarla (0).



**Figura 3.3 Esquema del sistema de control de riego y sus componentes**

Fuente: Suárez, Nicole



**Figura 3.4 Esquema de los componentes del controlador**

Fuente: Suárez, Nicole

### 3.3 Análisis de Costos

Se realizó una comparación de costos entre el uso de agua potable y agua tratada para el riego. Las áreas verdes requieren de **75 m<sup>3</sup>** semanales para suplir la necesidad de riego, esto es un equivalente de **300 m<sup>3</sup>** mensuales.

#### 3.3.1 Irrigación usando agua potable

Según el registro que lleva el departamento financiero, el cual se encarga de administrar y pagar los servicios básicos, se tienen los siguientes datos para el consumo de agua realizado en el período de diciembre 17 del 2018 hasta enero 17 del 2019.

En la **Tabla 3.1** se muestran los rangos de consumo en m<sup>3</sup> y su costo respectivo. Además se especifica la tasa de cargo fijo de acuerdo al diámetro de guía y un costo adicional por contribución especial de mejoras (CEM).

**Tabla 3.1 Rubros de facturación respecto al consumo de agua potable**

Fuente: Departamento Financiero ESPOL

Riego con Agua Potable	
Lectura Anterior Medidor (m <sup>3</sup> )	5630.03
Lectura Nuevo Medidor (m <sup>3</sup> )	6605.67
Consumo m <sup>3</sup> /mes	975.64
Costo de agua	\$ 570,00
Tasa de Alcantarillado	\$ 456,00
Valor CEM	\$ 16,47
Tasa fija por diámetro de tubería	\$ 60,80
Costo total	\$ <b>1.102,55</b>

El costo total obtenido se divide para el número de m<sup>3</sup> consumidos, por lo que se tiene el costo de agua potable por metro cúbico:

$$Tasa\ agua\ potable = \frac{Costo\ total}{m^3\ consumidos\ por\ mes} = \frac{\$1,102.55}{975.64\ m^3} = \$ 1.13/m^3$$

Si se considera el volumen anual que requiere la zona de riego, se obtiene el costo que se genera por concepto de uso de agua potable por año.

$$\text{Costo agua potable}/_{\text{año}} = (\text{Tasa agua potable})(\text{volumen anual})$$

$$\text{Costo agua potable}/_{\text{año}} = \left(\frac{\$1.13}{m^3}\right)\left(\frac{300 m^3}{mes}\right)\left(\frac{12 meses}{año}\right)$$

$$\text{Costo agua potable}/_{\text{año}} = \$ 4068/\text{año}$$

### 3.3.2 Irrigación usando agua tratada

El proceso de tratamiento de las aguas residuales de la PTAR Pre-Politécnico involucra gastos que anualmente representan un monto de \$2.939,20. Con respecto al ítem de costos de mantenimiento, se estima un valor de \$1.300,00 que corresponde a la reparación de componentes y equipos que forman parte de la planta de tratamiento; los cuales se desglosan en la **Tabla A.2, Anexo A**. Los demás detalles de estos rubros significativos se presentan a continuación en la **Tabla 3.2**.

**Tabla 3.2 Costos de Implementación del sistema propuesto**

Fuente: Suárez, Nicole

ITEMS	VALOR
Costos de mantenimiento	\$ 1.300,00
Facturación por electricidad	\$ 432,00
Adquisición de químicos	\$ 1.207,20
Total a Pagar Anual	<b>\$ 2.939,20</b>

De acuerdo a los componentes y accesorios seleccionados en el capítulo 2, se presentan los costos de adquisición de cada uno de ellos y que serán los que se implementarán dentro de la zona especificada. Los valores se desglosan en la **Tabla 3.3** y se incluye el porcentaje de IVA del 12%.



**Tabla 3.3 Costos de Implementación del sistema real de riego**

Fuente: Suárez, Nicole

<b>Riego con aguas tratadas</b>		
	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo total +IVA</b>
<b>Equipo de bombeo</b>		
Bomba 2,5 HP	\$ 1500,00	\$ 1680,00
Tuberías de Polietileno	\$ 10,98	\$ 1328,14
Accesorios de tuberías	\$ 181,17	\$ 181,17
Microaspersores	\$ 1,42	\$ 302,46
<b>Electrónica</b>		
Arduino	\$ 25,00	\$ 28,00
Sensor Ultrasónico	\$ 15,00	\$ 16,80
Módulos Relés	\$ 20,00	\$ 44,80
Electroválvula	\$ 98,21	\$ 98,21
<b>Total</b>		<b>\$ 3679,58</b>

### 3.3.3 Estimación de recuperación de Inversión

Se muestra en la **Tabla 3.4** la comparación entre el costo del consumo de agua potable (B) y agua regenerada (A) para la irrigación de las áreas verdes. Esta diferencia (C) determina el ahorro anual que se tendría al implementar este nuevo sistema.

Finalmente, se tiene que para recuperar la inversión inicial de este proyecto (D) se necesitarán 3,25 años.

**Tabla 3.4 Análisis de Tiempo de Recuperación de Inversión**

Fuente: Suárez, Nicole

<b>Costos</b>		
<b>B</b>	Costo de agua potable por año	\$ 4,068.00
<b>A</b>	Costo de agua tratada por año	\$ 2,939.20
<b>C = B - A</b>	<b>Ahorro anual por uso de agua tratada</b>	<b>\$ 1,128.80</b>
<b>D</b>	Inversión por proyecto	\$ 3,679.58
<b>E= D/C</b>	Recuperación de Inversión (años)	3.25

# CAPÍTULO 4

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- La importancia de este proyecto radica principalmente en la reutilización del agua tratada en el ámbito de la agricultura y el riego localizado, por medio de tecnologías que permitan su aprovechamiento y uso eficiente. La reutilización de agua tratada reduce el consumo de agua potable y por ende es posible dirigir este recurso hídrico a actividades que sí requieran de una calidad mucho más alta.
- Se evaluaron las propiedades físico-químicas y microbiológicas del agua tratada que será destinada al riego. Se pudo notar que ésta no cumplía con los límites permisibles establecidos por las normas de agua de TULSMA, por lo que se trató de dirigir parte del enfoque de este proyecto hacia el proceso de tratamiento químico en el agua residual. Esto fue notificado a los operadores de la planta de tratamiento y sobretodo se indicó que deben realizarse análisis físico-químicos con mayor frecuencia para llevar un registro del estado de las aguas tratadas y de este modo buscar oportunidades de mejora que permitan potenciar la calidad de éstas.
- Se aplicaron distintos métodos para la selección de la mejor alternativa de diseño, entre ellas: evaluación de criterios, comparación entre pares, tabla morfológica y matriz de decisión. Por medio de estos se determinó el sistema de riego que más se acercó a las necesidades y requerimientos del cliente, en este caso ESPOL.
- Los emisores seleccionados para el riego fueron microaspersores auto compensados debido a que tiene mejor desempeño en aspectos, como: presión, caudal, eficiencia de riego y necesidad hídrica del suelo.

- Para llevar a cabo los cálculos hidráulicos de este proyecto se ha seleccionado una tubería uniforme de diámetro DN50 como referencia, con el fin de evitar pérdidas muy altas de carga por fricción.
- Los primeros 200 metros de tubería están enterrados y su material es de polietileno de alta densidad. Los próximos 450 metros estarán ubicados en las áreas verdes y portarán los microaspersores seleccionados de acuerdo a las necesidades hídricas ya presentadas anteriormente.

## 4.2 Recomendaciones

Las recomendaciones que se pueden dar a este sistema de riego automático de acuerdo al trabajo de investigación realizado, son las siguientes:

- Instalar un tanque de almacenamiento de mayor capacidad puesto que durante los días de operación de la planta de tratamiento se producen hasta 80 m<sup>3</sup> de agua tratada.

Con la implementación de este proyecto, solamente se estarían aprovechando 15 m<sup>3</sup> (un equivalente al 18%) de la producción total de agua tratada. Aumentando la capacidad del depósito a 50 m<sup>3</sup>, se podría reservar más agua y por ende irrigar por más días a la zona seleccionada.

- Crear una red de alcantarillado que conecte los establecimientos educativos: Colegio Politécnico y Edificio de Tecnologías con la Planta de Tratamiento de Admisiones. De esta forma, llegaría un mayor caudal de influentes haciendo que la planta opere continuamente y se aproveche la capacidad de funcionamiento para la cual fue diseñada.

Una de las ventajas de esta propuesta es que se produciría un mayor volumen de agua tratada, lo cual podría usarse en una mayor superficie extensión de área más grande para el riego.

- Realizar mantenimiento preventivo y limpieza con frecuencia, en particular, a los componentes instalados como: filtros de malla, electro válvulas, entre otros.
- Señalizar tuberías y accesorios por donde circule el agua tratada. Designarlos de color violeta (PANTONE 2577U o RAL 4001), por ser el color más consensuado entre los países que ya han implantado el sistema de regeneración de aguas.
- Se debe llevar a cabo un programa de control analítico realizando mediciones de distintos parámetros, con las frecuencias establecidas para cada uno de ellos. Se deben controlar los siguientes parámetros: Nematodos intestinales, escherichia coli, legionella spp (en riego por aspersión), sólidos en suspensión y turbidez.

# BIBLIOGRAFÍA

WWAP, U. (2017). WWAP (United Nations World Water Assessment Program).

World Bank. (2018). Water overview. Recuperado de: <http://www.worldbank.org/en/topic/water/overview>

PÉREZ-PARRA, J. (2003). Depuración y reutilización de aguas residuales para riego. In Mejora de la eficiencia en el uso del agua en cultivos protegidos (pp. 447-470). DGIFA, FIAPA and Cajamar Almería, España.

TULSMA, L. V. Anexo 1. Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua.

Allen, R. G. (2006). Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos (Vol. 56). Food & Agriculture Organization.

Darrera Meteo. (2003). Nota Técnica A003, Cálculo de la evapotranspiración

Torres, S., & Diógenes, A. (2014). Diseño de un sistema automatizado para riego por goteo para palta Hass.

Martin, A., Ávila, R., YRUELA, M., Plaza, R., Navas, A., & Fernández, R. (2004). Manual de riego de jardines. Ediciones Ilustres SL Córdoba. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía, Sevilla.

Mott, R. L. (2006). Mecánica de fluidos. Pearson Education.

INAMHI, (2017). Anuario Meteorológico No. 53 – 2013.

Guerra, M. (2009). Manual de Diseño de Sistemas de Riego a Gravedad y por Aspersión. (Tesis inédita de maestría). Quito: Universidad San Francisco de Quito.

Borja, G. (2018). Diseño de un sistema de riego automatizado para el cultivo de legumbres en un huerto ubicado en el campus de la UCSG

Carrazón, J. (2007). Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego. Programa especial para la seguridad alimentaria (PESA), Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación (FAO), Honduras, 15-104.

# APÉNDICES

## APÉNDICE A

**Tabla A.1 Requerimientos y características para el diseño del proyecto**  
Fuente: Suárez, Nicole

<b>Características de la Planta de Tratamiento</b>	Días Activos a la Semana	2 días
	Horas Activas por día	8 horas
	Caudal Promedio de Efluentes (Agua Tratada)	10 m <sup>3</sup> /h
	Capacidad de Reservorio	5 m <sup>3</sup>
<b>Características de la Zona a Irrigar</b>	Ancho	3 m
	Longitud	450 m
	Área destinada al riego	1350 m <sup>2</sup>

**Tabla A.2 Componentes existentes en la PTAR “Pre-Politécnico”**  
Fuente: Suárez, Nicole

Componente	Marca	Aplicación	Cantidad	Potencia	RPM
Bomba sumergible	ABS	Sistema aireación	1	1 HP / 220V-3F	1750
Bomba sumergible	ABS	Elevación	2	1 HP / 220V-3F	1750
Bomba centrífuga	EMERSON	Recirculación	2	2 HP / 220V-3F	3450
Moto reductor	ABB	Preparación de Sulfato	1	0.5 HP / 220V-3F	1615
Moto reductor	ABB	Preparación floculante	1	0.5 HP / 220V-3F	1615
Moto reductor	SIEMENS	Agitador de lodos	1	0.5 HP / 220V-3F	1590
Motor	ABB	Barredora lodos	1	0.5 HP / 220V-3F	1615
Bomba dosificadora	TEKNA EVO	Sulfato	1	110V	-
Bomba dosificadora	IWAKI	Floculante	1	110V	-
Bomba neumática	YAMADA	Traslado lodos	2	Salida 1 1/2	-
Compresor aire	PUMA (C) WEG (M)	100 gal	1	3 HP (C) / 5 HP (M) 220V	1710
Motor multietapa	WEG	Riego	1	5 HP / 220V-3F 8	3500



**Tabla A.3 Criterios admisibles de calidad para aguas para riego**

Fuente: NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA, LIBRO VI, ANEXO 1

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
Materia flotante	Visible		Ausencia
Aceites y Grasas.	Sustancias solubles en hexano	mg/l	<b>0,3</b>
Coliformes Fecales	Nmp/100 ml		Remoción > al 99,9 %
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O <sub>5</sub> .	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	250
Sólidos Sedimentables		ml/l	1,0
Sólidos Suspendidos Totales		mg/l	100
Sólidos totales		mg/l	1 600
Temperatura	° C		< 35

**Tabla A.4 Criterios admisibles de calidad para aguas de uso agrícola**

Fuente: NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA, LIBRO VI, ANEXO 1

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
Materia flotante	Visible		Ausencia
Sólidos disueltos totales		mg/l	3 000,0
Transparencia de las aguas medidas con el disco secchi.			mínimo 2,0 m
Aceites y grasa	Sustancias Solubles en Hexano	mg/l	0,3
Coliformes Totales	nmp/100 ml		1 000
Huevos de parásitos		Huevos por litro	<b>Cero</b>
Zinc	Zn	mg/l	2.0

**Tabla A.5 Resultado de análisis de calidad aguas residuales**

Fuente: Grupo Químico Marcos

<b>Parámetro (Unidades)</b>	<b>Muestreo (16/04/2018)</b>	<b>Muestreo (16/08/2018)</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
Dureza total mgCO <sub>3</sub> Ca/l	77	44	--
Sólidos Suspendidos Totales mg/l	8	49	130
Nitrógeno total meq/l	53	170	5
Fosfatos mg/l	0,56	6,55	10
Sulfatos mg/l	130	132	250
Sodio meq/l	45,69	100,86	3
Potencial de Hidrogeno, in situ	7,05	8,01	6 - 9
Demanda Bioquímica de Oxígeno mgO <sub>2</sub> /l	2,28	37,92	100
Coliformes Totales NMP/100ml	5540	> 241970	1000

**Tabla A.6 Factores influyentes en la selección del método de riego y medidas especiales necesarias para las aplicaciones de agua regenerada**

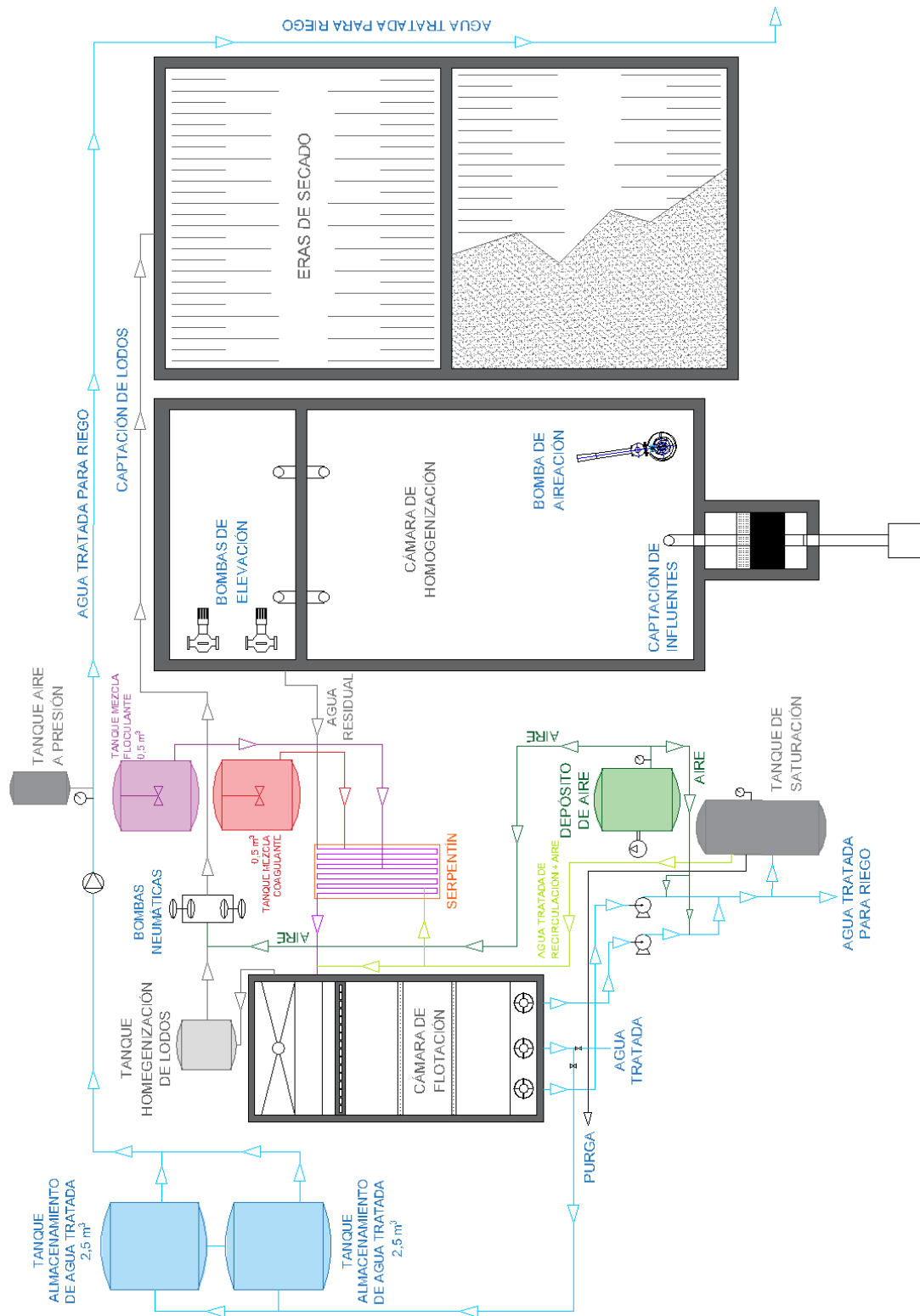
Fuente: Lazarova y Bahri (2005, 2008)

Método de Riego	Factores que influyen en la selección	Medidas especiales para el riego con agua regenerada
Riego por inundación	<p>Es de menor costo                      No se requiere nivelación exacta                      Baja eficiencia del uso del agua                      Bajo nivel de protección sanitaria</p>	<p>Rigurosa protección de los trabajadores en el campo, manipuladores de cultivos y consumidores.</p>
Riego por surcos	<p>Bajo costo                      Se puede necesitar nivelación                      Baja eficiencia del uso del agua                      Nivel medio de protección sanitaria</p>	<p>Protección de los trabajadores en el campo, posiblemente de los manipuladores de cultivos y consumidores.</p>
Riego por aspersión	<p>Costo medio a alto                      Eficiencia media del uso del agua                      No se requiere nivelación                      Bajo nivel de protección sanitaria (debido a los pulverizadores)</p>	<p>Distancia mínima de 50-100 m desde casas y caminos.                      Restricciones de la calidad del agua (eliminación de agentes patógenos)                      No se deben utilizar desechos anaeróbicos, debido a los malos olores.                      Uso de micro aspersores</p>
Riego subterráneo y por goteo	<p>Alto costo                      Alta eficiencia del uso del agua                      Mayores rendimientos                      Mayor nivel de protección sanitaria</p>	<p>No se requieren medidas de protección                      Restricciones de la calidad del agua (filtración) para evitar que los dispositivos se obstruyan.</p>

**Tabla A.7 Valores indicativos de las eficiencias de aplicación para sistemas de riego**

Fuente: Suárez, Nicole

Sistema de Riego	Eficiencia (%)
Riegos por Gravedad <ul style="list-style-type: none"> <li>- Surcos</li> <li>- Fajas</li> <li>- Canteros</li> </ul>	65 – 85 70 – 85 70 – 90
Riegos por Aspersión <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistema estacionario de cobertura total</li> <li>- Sistema estacionario desplazables manualmente</li> <li>- Laterales móviles con pivote central</li> </ul>	65 – 85 70 – 85 65 – 85
Micro riego <ul style="list-style-type: none"> <li>- Goteros = 3 emisores por plantas</li> <li>- <b>Microaspersores y difusores (frutales)</b></li> <li>- Línea continua de emisores gota a gota</li> </ul>	85 – 95 <b>85 – 95</b> 70 – 90



**Figura A.1 Esquema de PTAR Pre-Politécnico tipo DAF**  
Fuente: Suárez, Nicole

## APÉNDICE B

**Tabla B.1 Anuario Meteorológico 2013 para la ciudad de Guayaquil**

Fuente: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI)

Mes	Evaporación (mm)	Humedad Relativa (%)	Velocidad del Viento (m/s)	Temperatura (°C)
Enero	88,4	81	0,69	34,8
Febrero	83,5	79	0,67	33,6
Marzo	83,8	81	0,72	34,8
Abril	129,4	76	1,08	34,3
Mayo	130,9	76	1,25	34,0
Junio	101,8	79	1,58	34,0
Julio	124,7	78	1,61	31,0
Agosto	158,2	76	1,67	32,1
Septiembre	177,3	74	1,72	38,8
Octubre	179,6	76	1,61	34,5
Noviembre	158,8	75	1,64	33,1
Diciembre	185,1	67	1,39	35,8

**Tabla B.2 Valores de Evapotranspiración 2013 en la ciudad de Guayaquil**

Fuente: Suárez, Nicole

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
<i>Humedad Relativa</i>	81	79	81	<b>76</b>	76	79	78	76	74	76	75	67
$T(^{\circ}C)$	34,8	33,6	34,8	<b>34,3</b>	34	34	31	32,1	38,8	34,5	33,1	35,8
$T_k (K)$	307,96	306,76	307,96	<b>307,46</b>	307,16	307,16	304,16	305,26	311,96	307,66	306,26	308,96
$e_a$	2,840	2,800	2,910	<b>2,770</b>	2,610	2,500	2,370	2,330	2,400	2,470	2,450	2,430
$e_d$	2,300	2,212	2,357	<b>2,105</b>	1,984	1,975	1,849	1,771	1,776	1,877	1,838	1,628
$VPD$	0,540	0,588	0,553	<b>0,665</b>	0,626	0,525	0,521	0,559	0,624	0,593	0,613	0,802
$\Delta$	0,157	0,156	0,161	<b>0,154</b>	0,145	0,139	0,135	0,131	0,129	0,137	0,137	0,133
$\ddot{a}$	0,068	0,068	0,068	<b>0,068</b>	0,068	0,068	0,067	0,067	0,068	0,068	0,067	0,068
$W$	0,699	0,698	0,704	<b>0,695</b>	0,682	0,673	0,667	0,661	0,655	0,669	0,670	0,663
$U$	0,69	0,67	0,72	<b>1,08</b>	1,25	1,58	1,61	1,67	1,72	1,61	1,64	1,39
$F_n (Rn = 0)$	0,155	0,154	0,157	<b>0,173</b>	0,180	0,195	0,196	0,198	0,201	0,196	0,197	0,186
$F_d (Rn > 0)$	0,070	0,068	0,072	<b>0,092</b>	0,102	0,121	0,123	0,126	0,129	0,123	0,124	0,110
$NR$	0,700	0,699	0,700	<b>0,699</b>	0,699	0,699	0,697	0,698	0,703	0,700	0,699	0,700
$Et_{oh} \text{ día}$	6,006	6,001	6,053	<b>6,055</b>	5,969	5,897	5,834	5,822	5,855	5,908	5,920	5,932
$Et_{oh} \text{ noche}$	6,173	6,184	6,220	<b>6,251</b>	6,155	6,048	5,986	5,986	6,040	6,080	6,096	6,178
$Et_{oh}$	1,015	1,015	1,023	<b>1,025</b>	1,010	0,995	0,985	0,984	0,991	0,999	1,001	1,009
<b><math>Eto</math></b>	<b>12,179</b>	<b>12,186</b>	<b>12,274</b>	<b>12,306</b>	<b>12,125</b>	<b>11,944</b>	<b>11,821</b>	<b>11,808</b>	<b>11,895</b>	<b>11,988</b>	<b>12,016</b>	<b>12,111</b>