

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra**

“Análisis del Sistema Existente y Diseños de Optimización del Sistema  
Matriz de Agua Potable de la ESPOL”

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniero Civil**

Presentado por:

Joel Isaac López Alaña

Carlos Eduardo Zambrano Figueroa

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2021

## DEDICATORIA

El presente proyecto está dedicado primeramente a Dios, por habernos permitido llegar hasta este punto de nuestras vidas donde finalmente logramos alcanzar una de las muchas metas profesionales futuras. En segundo lugar, a nuestros padres quienes con paciencia y sabiduría han sabido guiarnos y nos han apoyado en todo momento durante nuestra etapa de estudios.

Joel Isaac López Alaña

Carlos Eduardo Zambrano Figueroa

## **AGRADECIMIENTOS**

Nuestro más sincero agradecimiento a nuestros profesores, personal administrativo, consejeros de la ESPOL quienes durante toda la etapa de la carrera nos brindaron su gran apoyo por poder llegar hasta este punto. Agradecemos a nuestra tutora de proyecto quien nos brindó de su conocimiento y de su gran ayuda para la realización de este proyecto. Así como a nuestros compañeros y personal de la ESPOL que nos ayudaron con información valiosa para el desarrollo de esta tesis.

## DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Joel Isaac López Alaña* y *Carlos Eduardo Zambrano Figueroa* y damos nuestro 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”



---

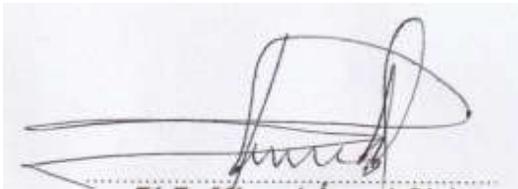
Joel Isaac López  
Alaña



---

Carlos Eduardo Zambrano  
Figueroa

## EVALUADORES

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Miguel Angel Chávez', written over a horizontal dotted line.

**PhD. Miguel Angel Chávez**

PROFESOR DE LA MATERIA

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Bethy Merchán', written over a horizontal dotted line.

**Msc. Bethy Merchán**

PROFESOR TUTOR

# RESUMEN

El agua es imprescindible para la vida y el desarrollo de los seres vivos. Actualmente, solo el 0.007% de agua en el planeta es apta para nuestro consumo, por lo que su uso eficiente es vital. El sistema de agua potable existente en la ESPOL presenta excesivas pérdidas de agua, ubicadas entre el 56% y 70%, lo cual solo se esperaría en grandes ciudades con poco control de su sistema. Estas pérdidas se deben al uso de agua potable para riego de áreas verdes y la falta de mantenimiento de las tuberías. En el siguiente trabajo, se analiza el sistema matriz de la Red Distribución de Agua Potable de la ESPOL, mediante un análisis técnico del sistema existente y se proponen alternativas para la optimización del uso del agua y la disminución del desperdicio del recurso hídrico. La metodología del diseño incluyó: i) La recolección de datos como planos de la red existente, catastro de válvulas y el volumen de riego dentro del campus, ii) La modelación y análisis hidráulico mediante un software de análisis de redes, iii) El apego a los requerimientos de normas como la NEC, CPE INEN 5 y las publicaciones CEPIS. El análisis realizado mediante la modelación del sistema indica que los diámetros de tuberías son muy grandes para los que requiere el sistema, por lo que se propone sustituir las tuberías con diámetros adecuados para mejorar las velocidades y presiones del sistema. Los resultados proyectados para el año 2035 indican que, 1) para la población proyectada de 24699 habitantes, mantener el esquema actual (uso de agua potable para ciertas áreas verdes) implica la construcción de un nuevo tanque elevado de 400 m<sup>3</sup>, con un costo de USD90,845.74. 2) Si se implementa regar las áreas verdes con agua del lago, se tendrían dos opciones: 2.1) una estación de bombeo directa de 90 HP, requiere un costo de obra de USD23,670.26, más USD7421/año en gastos de energía, 2.2) implementar estación de bombeo de 5 HP, más tanque elevado de 350 m<sup>3</sup> y riego por gravedad, requiere un costo de obra de USD90,120.29, más USD288/año en gastos de energía. La primera opción continúa con un gasto de USD210,639/año en promedio. Cualquiera de las dos opciones siguientes utiliza el agua del lago de la ESPOL, y ahorran un valor de USD132,703/año. Por tanto, se deberá determinar cuál opción le conviene desde el punto de vista de la sostenibilidad.

**Palabras Clave:** Agua potable, sistema matriz, uso eficiente del agua, riego de áreas verdes, optimización.

# ABSTRACT

*Water is essential for the life and development of living beings. Currently, only 0.007% of water on the planet is suitable for our consumption, so its efficient use is vital. The existing potable water system in ESPOL presents excessive water losses, located between 56% and 70%, which would only be expected in large cities with little control of their system. These losses are due to the use of drinking water for irrigation of green areas and the lack of maintenance of the pipes. In the following work, the Primary System of the ESPOL Potable Water Distribution Network is analyzed, through a technical analysis of the existing system and alternatives are proposed for optimizing water use and reducing the waste of water resources. The design methodology included: i) Data collection such as plans of the existing network, valve cadastre and the volume of irrigation within the campus, ii) Hydraulic modeling and analysis using network analysis software, iii) Attachment to the requirements of standards such as the NEC, CPE INEN 5 and CEPIS publications. The analysis carried out through the modeling of the system indicates that the pipe diameters are very large for those required by the system, so it is proposed to replace the pipes with adequate diameters to improve the speeds and pressures of the system. The projected results for the year 2035 indicate that, 1) for the projected population of 24,699 inhabitants, maintaining the current scheme (use of drinking water for certain green areas) implies the construction of a new elevated tank of 400 m<sup>3</sup>, at a cost of USD90,845.74. 2) If it is implemented to irrigate the green areas with water from the lake, there would be two options: 2.1) a direct pumping station of 90 HP, requires a work cost of USD23,670.26, plus USD7421/year in energy costs, 2.2) Implementing a 5 HP pump station, plus a 350 m<sup>3</sup> elevated tank and gravity irrigation, requires a work cost of USD90,120.29, plus USD288/year in energy costs. The first option continues with an expense of USD210639/year on average. Either of the following two options uses the water from the lake of La ESPOL and saves a value of USD132703/year. Therefore, you must determine which option is best for you from the point of view of sustainability.*

**Keywords:** *Drinking water, primary system, efficient use of water, irrigation of green areas, optimization.*

# ÍNDICE GENERAL

<b>DECLARACIÓN EXPRESA.....</b>	<b>0</b>
<b>EVALUADORES.....</b>	<b>0</b>
<b>ÍNDICE GENERAL.....</b>	<b>III</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>X</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Localización.....	2
1.3. Información básica.....	3
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. Objetivo General.....	4
1.4.2. Objetivos Específicos.....	5
1.5. Justificación.....	5
1.6. Marco teórico.....	6
<b>2. DESARROLLO DEL PROYECTO.....</b>	<b>11</b>
2.1. Metodología.....	12
2.1.1. Revisión de información existente.....	12
2.1.2. Modelado del sistema de distribución actual.....	15
2.1.2.1. Análisis del sistema con la población actual.....	18
2.1.2.2. Análisis del sistema con la población futura.....	27
2.1.3. Validación de resultados de la modelación.....	31
2.1.4. Análisis de la capacidad del tanque de regularización.....	34
2.1.5. Evaluación y diagnóstico del sistema actual.....	39
2.2. Trabajos de campo y gabinete.....	43
2.2.1. Topografía.....	43
2.2.2. Procesamiento de la información existente.....	43
2.2.3. Modelamiento del sistema.....	43
2.2.4. Mediciones de presiones.....	44
2.2.5. Elaboración de planos.....	47
2.3. Determinación de las restricciones del proyecto.....	47
2.4. Análisis de alternativas.....	48
2.4.1. Consideraciones técnicas.....	48
2.4.2. Consideraciones económicas.....	48

2.4.3.	Consideraciones ambientales.....	49
2.4.4.	Métrica de evaluación.....	49
2.4.5.	Selección de la mejor alternativa.....	51
<b>3.</b>	<b>DISEÑOS Y ESPECIFICACIONES .....</b>	<b>53</b>
3.1.	Diseño del sistema con nuevo tanque elevado.....	54
3.1.1.	Volumen del nuevo tanque.....	54
3.1.2.	Tipo de tanque.....	54
3.1.3.	Ubicación del tanque.....	55
3.1.4.	Dimensiones y cotas tanque.....	56
3.1.5.	Diámetros de tuberías y válvulas conectadas al tanque.....	58
3.1.6.	Conexión de la zona de admisiones y estación eléctrica a la red de distribución. ....	59
3.1.7.	Sectorización de la red actual.....	63
3.1.8.	Reemplazo de tuberías en la red AAPP.....	66
3.2.	Diseño del sistema de riego con agua de lago.....	71
3.2.1.	Diseño mediante tanque elevado.....	71
3.2.2.	Volumen del tanque elevado para agua de riego desde el lago.....	72
3.2.3.	Ubicación del tanque.....	73
3.2.4.	Dimensiones y cotas del tanque.....	73
3.2.5.	Diámetros de tuberías y válvulas conectadas al tanque.....	76
3.2.6.	Reemplazo de tuberías en la red de riego para bomba y tanque.....	77
3.2.7.	Selección del sistema de bombeo.....	77
3.2.8.	Configuración y tiempo de bombeo.....	79
3.2.9.	Potencia de la bomba.....	81
3.2.10.	Resultados del análisis del sistema por tanque.....	82
3.2.11.	Diseño mediante bomba.....	86
3.2.12.	Reemplazo de tuberías en la red de riego para bomba.....	90
3.2.13.	Configuración y tiempo de bombeo.....	90
3.2.14.	Potencia de la bomba.....	91
3.2.15.	Resultados del análisis del sistema por bombeo.....	92
3.2.16.	Comparación de alternativas.....	94
<b>4.</b>	<b>ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL .....</b>	<b>100</b>
4.1.	Objetivos.....	100
4.1.1.	Objetivo General.....	100
4.1.2.	Objetivos Específicos.....	100

4.2.	Descripción del proyecto.....	100
4.2.1.	Tipo de Estudio.....	100
4.2.2.	Ubicación del proyecto .....	101
4.3.	Línea base ambiental.....	102
4.3.1.	Medio físico .....	102
4.3.2.	Medio biótico .....	106
4.3.3.	Población.....	107
4.4.	Actividades del proyecto .....	108
4.5.	Identificación de impactos ambientales.....	110
4.6.	Valoración de impactos ambientales.....	112
4.7.	Medidas de prevención/mitigación .....	115
4.8.	Conclusiones y recomendaciones.....	116
<b>5.</b>	<b>PRESUPUESTO.....</b>	<b>118</b>
5.1.	Descripción de rubros .....	118
5.1.1.	Descripción de rubros de la alternativa 1.....	118
5.1.2.	Descripción de rubros de la alternativa 2.....	119
5.1.3.	Descripción de rubros de la alternativa 3.....	120
5.2.	Análisis de costos unitarios .....	122
5.3.	Descripción de cantidades de obra.....	138
5.4.	Valoración integral del costo del proyecto incluyendo las medidas de prevención y mitigación del impacto ambiental.....	138
5.5.	Cronograma valorado .....	139
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>140</b>
6.1.	Conclusiones.....	140
6.2.	Recomendaciones .....	142
<b>7.</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>146</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Mapa de ubicación del campus Prosperina de la ESPOL [López & Zambrano, 2021].	2
Figura 1.2. Área de estudio del proyecto y red actual de agua potable [López & Zambrano, 2021].	3
Figura 1.3. Curvas de nivel en la zona de estudio [López & Zambrano, 2021].	4
Figura 1.4. Red de mayor a menor diámetro. [Obtenido de: (López Cualla, 1995)]	8
Figura 1.5. Red en árbol. [Obtenido de: (Government of National Unity (GONU), 2009)]	8
Figura 1.6. Red en parrilla. [Obtenido de: (Government of National Unity (GONU), 2009)]	9
Figura 1.7. Red en mallas. [Obtenido de: (López Cualla, 1995)]	9
Figura 1.8. Red en círculo o anillo. [Obtenido de: (Government of National Unity (GONU), 2009)]	10
Figura 1.9. Red radial. [Obtenido de: (Government of National Unity (GONU), 2009)]	10
Figura 2.1. Diagrama de flujo de la metodología del proyecto [López & Zambrano, 2021].	11
Figura 2.2. Catastro de una cámara de inspección de la red AAPP de la ESPOL. [Obtenido de: GIF ESPOL, 2021]	12
Figura 2.3. Nube de puntos tomados con dron. [Obtenido de: GIF ESPOL]	13
Figura 2.4. Mapa de Ortofotos. [Obtenido de: GIF ESPOL]	13
Figura 2.5. Placa de una de las bombas del sistema de agua potable de la ESPOL. [Obtenido de: GIF ESPOL]	15
Figura 2.6. Ubicación de los nodos para el modelado del sistema de distribución [López & Zambrano, 2021].	15
Figura 2.7. Polígonos de Thiessen en la línea matriz de agua potable [López & Zambrano, 2021].	20
Figura 2.8. Ubicación de los nodos de la red AAPP [López & Zambrano, 2021].	24
Figura 2.9. Modelo con los resultados de velocidades (Población actual) [López & Zambrano, 2021].	27
Figura 2.10. Modelo con los resultados de velocidades (Población futura) [López & Zambrano, 2021].	31

Figura 2.11. Uso de manómetro para medir presiones en edificaciones de la ESPOL [López & Zambrano, 2021].	32
Figura 2.12. Resultados de mediciones de presiones y valores obtenidos en el modelado de la red [López & Zambrano, 2021].	33
Figura 2.13. Cámara de inspección cubierta de sedimentos. [Obtenido de: Catastro red AAPP ESPOL].	39
Figura 2.14. Falta de mantenimiento en válvulas. [Obtenido de: Catastro red AAPP ESPOL]	40
Figura 2.15. Válvula cubierta con agua. [Obtenido de: Catastro red AAPP ESPOL]	40
Figura 2.16. Válvula desviada con presencia de sedimentos. [Obtenido de: Catastro red AAPP ESPOL].	41
Figura 2.17. Modelado de la red de distribución de agua potable de la ESPOL [López & Zambrano, 2021].	44
Figura 2.18. Toma de presión a las afueras del edificio de UBEP [López & Zambrano, 2021].	45
Figura 2.19. Toma de presión en el edificio de matemáticas y estadística [López & Zambrano, 2021].	45
Figura 2.20. Toma de presión a las afueras de los laboratorios de FIEC [López & Zambrano, 2021].	46
Figura 2.21. Toma de presión en el edificio de STA de la ESPOL [López & Zambrano, 2021].	46
Figura 2.22. Plano de la condición actual de la red de agua potable de la ESPOL [López & Zambrano, 2021].	47
Figura 3.1. Ubicación del nuevo tanque elevado [López & Zambrano, 2021].	56
Figura 3.2. Vista en elevación del nuevo tanque elevado [López & Zambrano, 2021].	57
Figura 3.3. Vista en planta del nuevo tanque elevado [López & Zambrano, 2021].	58
Figura 3.4. Velocidad en la tubería de conexión entre tanques elevados [López & Zambrano, 2021].	58
Figura 3.5. Juego de válvulas de corte en tubería de tanques elevados [López & Zambrano, 2021].	59
Figura 3.6. Nuevo trazado de tubería hacia la zona de admisiones y estación eléctrica [López & Zambrano, 2021].	60

Figura 3.7. Tubería AAPP hacia la estación eléctrica de la ESPOL [López & Zambrano, 2021].	62
Figura 3.8. Resultados de velocidad y presiones en la tubería de la zona de la estación eléctrica de la ESPOL [López & Zambrano, 2021].	62
Figura 3.9. Reemplazo y colocación de nueva válvula de corte en la zona 5 de la ESPOL [López & Zambrano, 2021].	63
Figura 3.10. Colocación de nueva válvula de corte en la zona 5 de la ESPOL [López & Zambrano, 2021].	64
Figura 3.11. Colocación de nueva válvula en la zona 1 de la ESPOL [López & Zambrano, 2021].	64
Figura 3.12. Reemplazo de válvula de corte en la zona 3 de la ESPOL [López & Zambrano, 2021].	65
Figura 3.13. Reemplazo de válvula de corte en la zona 6 de la ESPOL [López & Zambrano, 2021].	65
Figura 3.14. Reemplazo de válvula en mal estado en la zona 5 en la facultad de Marítima [López & Zambrano, 2021].	66
Figura 3.15. Resultados de presiones y velocidades en las tuberías en la zona del coliseo nuevo [López & Zambrano, 2021].	67
Figura 3.16. Resultados de presiones y velocidades con tubería de 32 mm en la zona del coliseo nuevo [López & Zambrano, 2021].	67
Figura 3.17. Velocidades en el sistema con las nuevas tuberías [López & Zambrano, 2021].	68
Figura 3.18. Ubicación de nodos en la red [López & Zambrano, 2021].	71
Figura 3.19. Vista en elevación del tanque elevado para riego [López & Zambrano, 2021].	75
Figura 3.20. Vista en planta del tanque elevado para riego [López & Zambrano, 2021].	75
Figura 3.21. Velocidad de la tubería conectada al tanque elevado para riego [López & Zambrano, 2021].	76
Figura 3.22. Velocidad de la tubería conectada al tanque elevado para riego [López & Zambrano, 2021].	76
Figura 3.23. Curva del sistema (azul) y curva de la bomba (rojo) para el riego con tanque elevado [López & Zambrano, 2021].	79

Figura 3.24. Rangos de velocidad en tuberías y mangueras [Obtenido de: (Carrazón, 2007)].	83
Figura 3.25. Presiones en nodos para el sistema de riego por tanque elevado [López & Zambrano, 2021].	84
Figura 3.26. Velocidades en tuberías para el sistema de riego por tanque elevado [López & Zambrano, 2021].	85
Figura 3.27. Curva de la bomba (azul) y curva resistente (naranja) [López & Zambrano, 2021].	88
Figura 3.28. Curva del sistema (azul) y curva de la bomba (rojo) para riego por estación de bombeo [López & Zambrano, 2021].	89
Figura 3.29. Curvas del sistema de bombeo [López & Zambrano, 2021].	89
Figura 3.30. Presiones en nodos para el sistema de riego por estación de bombeo [López & Zambrano, 2021].	93
Figura 3.31. Velocidades en tuberías para el sistema de riego por estación de bombeo [López & Zambrano, 2021].	94
Figura 3.32. Cálculo de la demanda a partir del caudal de la bomba para riego existente [Jaramillo, 2021].	95
Figura 4.1. Consulta de Actividades Ambientales [López & Zambrano, 2021].	101
Figura 4.2. Mapa de ubicación geográfica de los trabajos a realizar para la optimización del sistema actual [López & Zambrano, 2021].	102
Figura 4.3. Hoja topográfica e información geomorfológica, hoja NV_01 [Obtenido de: Geoportal SIGTIERRAS].	104
Figura 4.4. Hoja NV_01, acercamiento al campus Gustavo Galindo [Obtenido de: Geoportal SIGTIERRAS].	104
Figura 4.5. Mapa de órdenes de suelos del Ecuador [Obtenido de: MAG-SIGTIERRAS].	106

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Población de la ESPOL del año 2014 al 2020. [Obtenido de: (Cruz & Hidalgo, 2021)].....	14
Tabla 2.2. Diámetros, espesores y presión de trabajo de tuberías PVC. [Obtenido de: Plastigama] .....	16
Tabla 2.3. Dotaciones para edificaciones de uso específico. [Obtenido de: (NEC, 2011)].....	17
Tabla 2.4. Nodos con áreas y consumo de riego con agua potable [López & Zambrano, 2021]......	21
Tabla 2.5. Elevación y demanda agua en cada nodo de la red AAPP (Población actual) [López & Zambrano, 2021].....	22
Tabla 2.6. Resultados de las presiones en los nodos (Población actual) [López & Zambrano, 2021]......	24
Tabla 2.7. Consumos y presiones en los nodos del modelado con la población futura [López & Zambrano, 2021].....	29
Tabla 2.8. Comparación de mediciones de presiones con los resultados obtenidos en el modelado de la red [López & Zambrano, 2021]. .....	33
Tabla 2.9. Tabla resumen de los volúmenes requeridos del tanque elevado para la población actual y futura [López & Zambrano, 2021]. .....	38
Tabla 2.10. Pérdidas en el sistema de distribución de agua potable de la ESPOL entre el año 2017 y 2020. [Obtenido de: (Cruz & Hidalgo, 2021)].....	42
Tabla 2.11. Modelo de evaluación de alternativas usando la matriz de Likert [López & Zambrano, 2021].....	49
Tabla 2.12. Evaluación de la alternativa 1 [López & Zambrano, 2021]. .....	50
Tabla 2.13. Evaluación de la alternativa 2 [López & Zambrano, 2021]. .....	50
Tabla 2.14. Evaluación de la alternativa 3 [López & Zambrano, 2021]. .....	51
Tabla 2.15. Cuadro comparativo de los resultados de la evaluación de alternativas [López & Zambrano, 2021].....	51
Tabla 3.1. Diámetros adecuados para mejorar las velocidades del sistema de distribución de agua potable [López & Zambrano, 2021]. .....	69
Tabla 3.2. Área y demanda total estimada por riego [López & Zambrano, 2021]. ...	72

Tabla 3.3. Área y demanda estimada por riego abastecida por agua potable [López & Zambrano, 2021].	72
Tabla 3.4. Diámetros adecuados para optimizar las condiciones del sistema de distribución de agua de riego para bomba y tanque [López & Zambrano, 2021].	77
Tabla 3.4. Presiones en los nodos de consumo para el sistema de riego por tanque elevado [López & Zambrano, 2021].	83
Tabla 3.6. Velocidades en tuberías para el sistema de riego por tanque elevado [López & Zambrano, 2021].	84
Tabla 3.7. Diámetros adecuados para optimizar las condiciones del sistema de distribución de agua de riego para bomba [López & Zambrano, 2021].	90
Tabla 3.6. Presiones en los nodos de consumo para el sistema de riego por estación de bombeo [López & Zambrano, 2021].	92
Tabla 3.7. Velocidades en tuberías para el sistema de riego por estación de bombeo [López & Zambrano, 2021].	93
Tabla 3.8. Comparación entre el equipo de bombeo existente y propuesto [López & Zambrano, 2021].	97
Tabla 3.9. Comparación costo energético de opción con tanque y por bombeo [López & Zambrano, 2021].	99
Tabla 4.1. Coordenadas geográficas de la zona de estudio (UTM WGS84-17S) [López & Zambrano, 2021].	101
Tabla 4.2. Grupo genético de poligénicas con sus respectivos subgrupos [Obtenido de: (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca; Consorcio TRACASA/NIPSA, 2015)].	105
Tabla 4.3. Datos de población futura del campus Gustavo Galindo [Obtenido de: (Cruz & Hidalgo, 2021)].	107
Tabla 4.4. Etapas, actividades, materiales, insumos y equipos [López & Zambrano, 2021].	110
Tabla 4.5. Identificación de impactos ambientales para las actividades del proyecto [López & Zambrano, 2021].	111
Tabla 4.6. Matriz de valoración de impactos ambientales para las actividades del proyecto [López & Zambrano, 2021].	114
Tabla 5.1. Resumen de costos para las principales fases de la alternativa 1 [López & Zambrano, 2021].	122

Tabla 5.2. Presupuesto referencial para la alternativa 1 [López & Zambrano, 2021]. .....	123
Tabla 5.3. Tabla resumen del presupuesto para el Plan de Manejo Ambiental [López & Zambrano, 2021].....	124
Tabla 5.4. Presupuesto total de la alternativa 1 [López & Zambrano, 2021]. .....	125
Tabla 5.5. Resumen de costos indirectos para la alternativa 1 [López & Zambrano, 2021]. .....	125
Tabla 5.6. Resumen de costos para las principales fases de la alternativa 2 [López & Zambrano, 2021]. .....	125
Tabla 5.7. Presupuesto referencial para la alternativa 2 [López & Zambrano, 2021]. .....	127
Tabla 5.8. Resumen de costos indirectos para la alternativa 2 [López & Zambrano, 2021]. .....	129
Tabla 5.9. Resumen de costos para las principales fases de la alternativa 3 [López & Zambrano, 2021]. .....	129
Tabla 5.10. Presupuesto referencial para la alternativa 3 [López & Zambrano, 2021]. .....	130
Tabla 5.11. Resumen de costos indirectos para la alternativa 2 [López & Zambrano, 2021]. .....	133
Tabla 5.12. Gasto económico en los siguientes quince años con la alternativa 1 [López & Zambrano, 2021].....	135
Tabla 5.13. Gasto económico en los siguientes quince años implementando la alternativa 2 [López & Zambrano, 2021]. .....	136
Tabla 5.14. Gasto económico en los próximos quince años al implementar la alternativa 3 [López & Zambrano, 2021]. .....	137
Tabla 5.15. Comparación del gasto económico anual entre escenarios hasta el año 2035 [López & Zambrano, 2021]. .....	137
Tabla 5.16. Costos de alternativas considerando el manejo ambiental [López & Zambrano, 2021]. .....	138

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Antecedentes

El agua es el recurso de mayor importancia del planeta tierra, teniendo un papel fundamental en el desarrollo socioeconómico, energético, alimenticio y en la supervivencia de los seres humanos. Además, en la actualidad el agua potable, o apta para el consumo humano, es considerada como un derecho indispensable para poder tener una vida digna, satisfaciendo las necesidades de las personas, y de esta manera cumplir con el Objetivo de Desarrollo Sostenible número 6 de la ONU, el cual hace referencia al Agua Limpia y Saneamiento.

Actualmente se calcula que solo el 2.5% del agua en la tierra es dulce, y de este porcentaje, aproximadamente un 0.025% es potable, resultando en un 0.007% global de agua potable disponible en el planeta (Fundación Aquae, 2021; Fundación Aquae, 2021), por lo que reducir su desperdicio es un reto muy importante.

A medida que la población va creciendo, se produce la necesidad de desarrollar sistemas de abastecimiento o distribución de agua potable, que aseguren un buen servicio a la población, con las presiones y caudales adecuados, y al mismo tiempo tratando de evitar grandes desperdicios del recurso hídrico.

En muchas ocasiones el desperdicio del agua potable es causado por el mal uso que se le da por parte de los usuarios, un ejemplo de esto es la utilización de agua potable para el riego de las plantas en zonas con gran cantidad de áreas verdes, como parques grandes y zonas de cultivos. En estos casos lo más recomendable es utilizar agua proveniente de otras fuentes como: lagunas, lagos, ríos o aguas residuales previamente tratadas, cumpliendo con los parámetros y requisitos establecidos por las normas vigentes en cada país. Sin embargo, en muchos lugares con gran cantidad de áreas verdes se sigue usando el agua potable para riego, debido a que no cuentan un sistema que les permita utilizar otro tipo de agua.

El campus Gustavo Galindo de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), cuenta con un área verde bastante extensa, y en la actualidad se usa agua potable para el riego de las plantas, lo cual genera un gran consumo del recurso hídrico,

además de que no se le está dando un uso adecuado. Por esta razón, el presente proyecto consiste en realizar un análisis del sistema existente de la red de Distribución de agua Potable de la ESPOL, y diseñar la mejor alternativa para la optimización de su sistema matriz, de manera que, permita distribuir el agua de forma más efectiva, ajustándose a los requerimientos de la población y al tipo de uso.

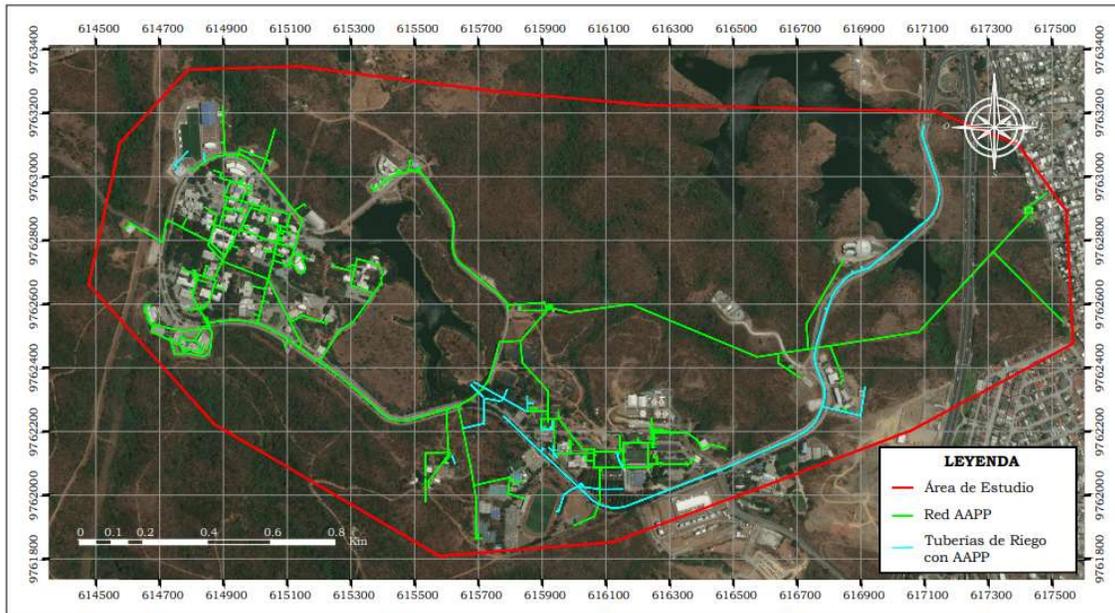
## 1.2. Localización

El Campus Gustavo Galindo de la ESPOL, está situado en medio del Bosque Protector Prosperina el cual es considerado una reserva del tipo de bosque seco tropical; la ESPOL se encuentra ubicada al noroeste de la ciudad de Guayaquil, en el Km. 30.5 de la Vía Perimetral, teniendo un área aproximada de 724 hectáreas.



**Figura 1.1. Mapa de ubicación del campus Prosperina de la ESPOL [López & Zambrano, 2021].**

En la Figura 1.2, se muestra el área de estudio del proyecto, el cual abarca todas las zonas por donde se encuentra la red distribución de agua potable actual.



**Figura 1.2. Área de estudio del proyecto y red actual de agua potable [López & Zambrano, 2021].**

### 1.3. Información básica

Para la optimización y el análisis del sistema existente de distribución de un sistema de agua potable, se necesita contar con cierta información básica tal como:

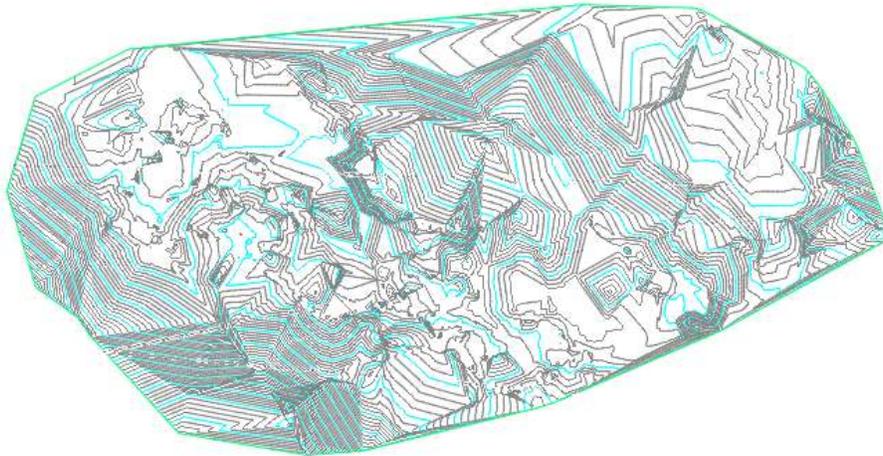
- a) Topografía del lugar
- b) Ubicación, los diámetros y el tipo de material de las tuberías
- c) Datos técnicos de la reserva alta y baja (reservorios, tanque de regulación, etc.)
- d) Sistema de bombeo, equipos y materiales
- e) Accesorios que tiene el sistema, como las válvulas, medidores, etc.

Teniendo en cuenta esta información necesaria para el desarrollo del proyecto, se recibió toda la documentación disponible, la cual fue facilitada por el departamento de Gerencia de Infraestructura Física de la ESPOL, y que se menciona a continuación:

- a) Nubes de puntos tomados con dron.
- b) Mapa de ortofotos.
- c) Plano de la red existente de agua potable.
- d) Catastro de válvulas, tuberías, cuarto de bombas y macromedidor.

e) Datos de población de la ESPOL.

Con la información de los puntos tomados con dron, se obtuvieron las curvas de nivel en la zona de estudio, ya que es importante conocer la forma del terreno en las zonas por donde pasan las tuberías del sistema de distribución existente, además de que es de mucha utilidad para realizar un nuevo trazado en la red, en caso de ser necesario. A continuación, en la Figura 1.3 se muestran las curvas de nivel obtenidas de la información topográfica existente.



**Figura 1.3. Curvas de nivel en la zona de estudio [López & Zambrano, 2021].**

Por otra parte, en base al catastro y a los planos del sistema de red de agua potable, se obtuvo los diámetros externos de las tuberías. Sin embargo, se trató de encontrar la información de los diámetros internos, para posteriormente realizar el modelado del sistema con la ayuda de un software y poder determinar la condición en la que se encuentran, lo cual va a determinar si necesitan ser reemplazadas, o si se debe realizar un nuevo trazado en la red.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo General**

Rediseñar el sistema matriz de la Red Distribución de Agua Potable del campus Gustavo Galindo de la ESPOL, mediante un análisis técnico del sistema existente y

propuesta de alternativas considerando los criterios de sostenibilidad, para la optimización del uso del agua y la disminución del desperdicio del recurso hídrico en ciertas zonas de la universidad.

#### **1.4.2. Objetivos Específicos**

1. Evaluar el sistema existente de distribución de agua potable del campus ESPOL Prosperina, mediante la realización de un modelado en un software de análisis de redes, para la determinación de los datos de presiones y caudales en el sistema.
2. Proponer alternativas, de acuerdo con las condiciones existentes del sistema de distribución de agua potable, sectores o tramos de red donde se esté haciendo un uso inadecuado del agua potable, para la implementación de soluciones que permitan un óptimo uso del recurso hídrico en el campus ESPOL-Prosperina.
3. Diseñar a nivel de pre-factibilidad la mejor alternativa que reduzcan el mal uso o consumo del agua potable en ciertas zonas del campus, y a su vez que sea económicamente viable, tomando en consideración los costos de construcción, operación y mantenimiento (OPEX).
4. Generar planos con la solución propuesta para la optimización del sistema, con su análisis ambiental y presupuesto referencial para su implementación.

#### **1.5. Justificación**

El cuidado del recurso hídrico es preponderante en todas partes del planeta. Garantizar un acceso sostenible al agua potable se relaciona íntimamente con el progreso económico de toda localidad, por eso el manejo de este recurso con el mayor cuidado es impostergable, y los ingenieros especializados en el área de agua potable y saneamiento deben estar en capacidad de identificar problemas, analizar opciones y proveer soluciones técnicas con cumplimiento de normativas que posibiliten las características de operación óptima y mínima inversión.

En la tesis de Plan Maestro de Agua Potable, Alcantarillado Sanitario y Pluvial para la ESPOL realizada por (Cruz & Hidalgo, 2021), mediante el análisis de balance de masas se determinó que, entre el año 2017 al 2020, la ESPOL tuvo pérdidas de agua

potable entre el 56% al 71% cada año en promedio. Esta es una gran cantidad de agua desperdiciada para una población pequeña como la de la ESPOL, ya que este tipo de porcentajes de pérdidas se tiene con frecuencia en ciudades muy grandes.

En el sistema matriz de la red de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, campus Gustavo Galindo, se presentan condiciones de tuberías de agua potable destinadas al riego de plantas y jardines, generándose un uso inadecuado del recurso hídrico, tomando en cuenta que en el Ecuador, el Anexo 1 del Libro IV del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua, en la tabla 3, cuenta con parámetros del criterio de calidad del agua para riego.

Creado en 1991, el campus Gustavo Galindo, de la ESPOL, lleva casi 30 años de funcionamiento, con información catastral de tuberías mayormente de PVC, y en cuanto a lo indicado por la norma CPE INEN 5, inciso 4.1.2.7, tabla 2, el período de diseño sugerido para conducciones de asbesto, cemento o PVC es de 20 a 30 años, con lo cual, el diseño del sistema matriz es un tema que debe considerarse muy seriamente, al estar al límite de su vida útil. Otro aspecto importante es el análisis de las condiciones existentes en la red, pues de llegar a encontrarse condiciones de incumplimiento a las normas técnicas (tales como tuberías expuestas, mal estado de las válvulas o conexiones inadecuadas en las tuberías), se deben además considerar un rediseño, mejora o protección de estos componentes del sistema.

Este trabajo presenta un diseño optimizado del sistema matriz de la red de distribución de agua potable de la ESPOL, que parte de la evaluación del sistema existente, minimiza los desperdicios ocasionados por la indebida utilización del agua potable en riego de grandes superficies de jardines y otros, y que considera, como en todo proyecto de agua, el aumento de la población en un período de diseño, con una dotación de acuerdo con el uso del agua y de los espacios, prestando especial atención a una debida operación y mantenimiento en toda la vida útil del proyecto.

## **1.6. Marco teórico**

Un sistema de abastecimiento de agua potable tiene como objetivo facilitar agua de calidad para satisfacer las necesidades de uso de una población determinada, pudiendo ser estas de uso doméstico, público, comercial, industrial, y dotación para

eventos inesperados como en el caso de incendios. El agua debe ser distribuida de forma constante, a debidas condiciones de calidad, caudal, presión y velocidad.

El período de diseño es aquel año futuro seleccionado en el cual el sistema instalado alcance su plena capacidad de diseño, y una mayor expansión sea necesaria (R. Qasim, 2002). Se realiza en función de la población y de acuerdo con la factibilidad técnica y económica. El caudal de diseño es aquel requerido para satisfacer la demanda al final del período de diseño. El número de habitantes para los cuales se diseña un sistema es un parámetro básico solicitado en la determinación del caudal de diseño. Para la estimación de la población futura, se deben desarrollar estudios sociológicos, culturales y económicos que caracterizan a la población, y hacer predicciones de su expansión en aspectos industriales, comerciales, domésticos, entre otros, basados en métodos de crecimiento poblacional parametrizados.

El agua potable “Es el agua cuyas características, químicas y microbiológicas han sido tratadas para garantizar su aptitud para consumo humano” (Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), 2014), siendo de esta normativa de la cual se recopilan los valores de características físicas, químicas y biológicas que garanticen su inocuidad para consumo humano. De la línea matriz, en una red de distribución de agua potable, se entiende que:

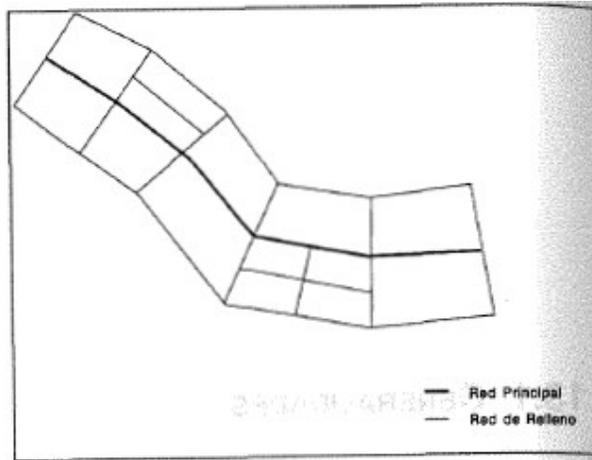
La unión entre el tanque de almacenamiento y la red de distribución se hace mediante una tubería denominada "línea matriz", la cual conduce el agua al punto o a los puntos de entrada a la red de distribución. Su diseño depende de las condiciones de operación de la red de distribución tales como trazado, caudal y presiones de servicio. (López Cualla, 1995, p. 235).

La división de la red de distribución en red primaria o secundaria se puede basar en consideraciones del tamaño de la red y del diámetro de las tuberías utilizadas. La red primaria se constituye por tuberías de mayor diámetro, mientras que la red secundaria se forma con tubos de menor diámetro que engloban a la mayoría de las zonas de un sector. De esta forma, una red puede designarse con una tubería de alimentación como de un conjunto de tubos de gran diámetro distribuidos para toda una localidad (SEMARNAT, CONAGUA, 2016).

El trazado de la red de distribución debe considerarse en función de la disposición física de los habitantes dentro del área de estudio, por lo cual, no existe una forma

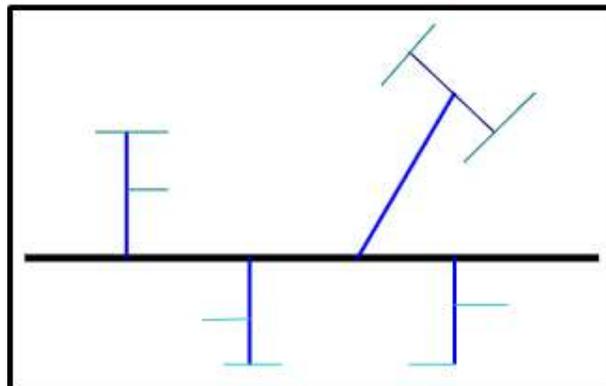
única de efectuarla. Hidráulicamente, existen configuraciones habituales de redes como lo son abiertas, cerradas o mixtas, y en general pueden presentarse los siguientes casos:

- a) De mayor a menor diámetro: Utilizado principalmente para poblaciones pequeñas donde no se encuentra una red principal. Su geometría es larga e irregular, y el sistema se modela como una red abierta. Su representación gráfica se describe en la Figura 1.4:



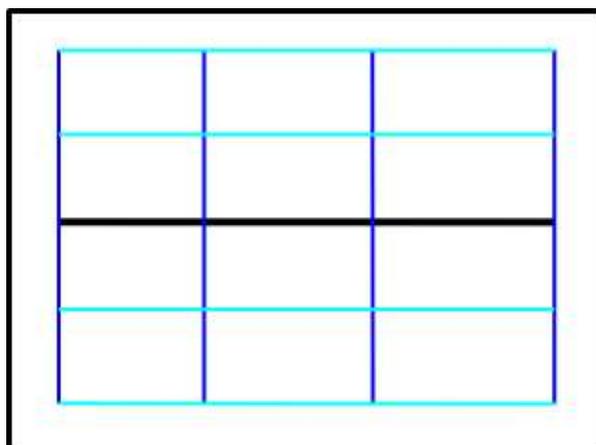
**Figura 1.4. Red de mayor a menor diámetro. [Obtenido de: (López Cualla, 1995)]**

- b) En árbol: El sistema consta de una tubería principal ubicada esencialmente en el centro de la población, de la que se desprenden varias tuberías secundarias. Las conexiones a puntos de demanda se consiguen a través de las diversas ramificaciones. Este sistema se puede representar como una red abierta. Su representación gráfica se describe en la Figura 1.5:



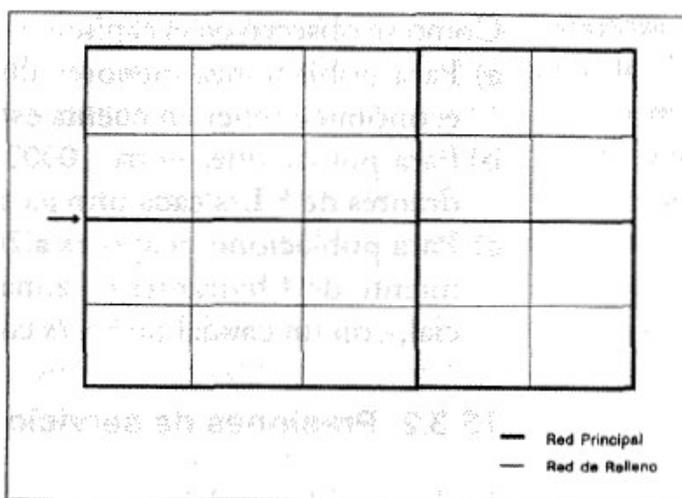
**Figura 1.5. Red en árbol. [Obtenido de: (Government of National Unity (GONU), 2009)]**

- c) En parrilla: La tubería principal se coloca en el centro de la población, con las tuberías secundarias conectadas de forma perpendicular. Se continúa mediante ramificaciones que interconectan a las tuberías secundarias. El sistema se considera mixto. Su representación gráfica se describe en la Figura 1.6:



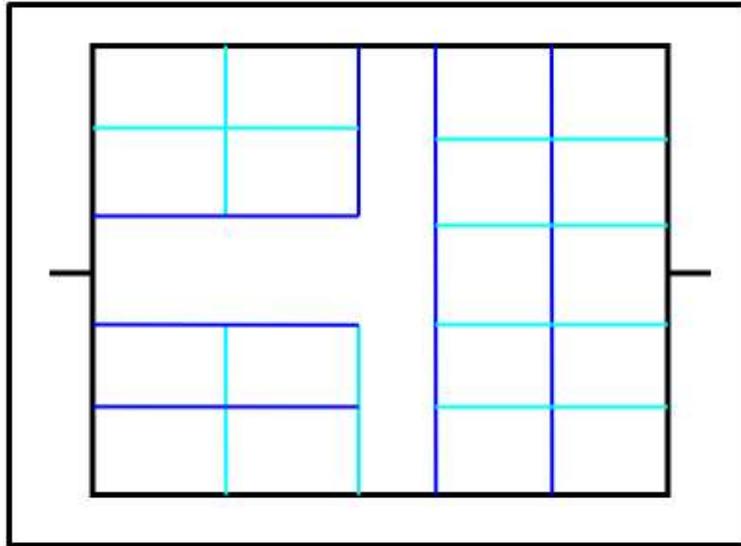
**Figura 1.6. Red en parrilla. [Obtenido de: (Government of National Unity (GONU), 2009)]**

- d) En mallas: Es la forma más utilizada en el planteo de redes de distribución. Se trazan varias redes o mallas a lo largo de la red de relleno, de forma que una malla sea establecida con 4 tramos principales. Su representación gráfica se describe en la Figura 1.7:



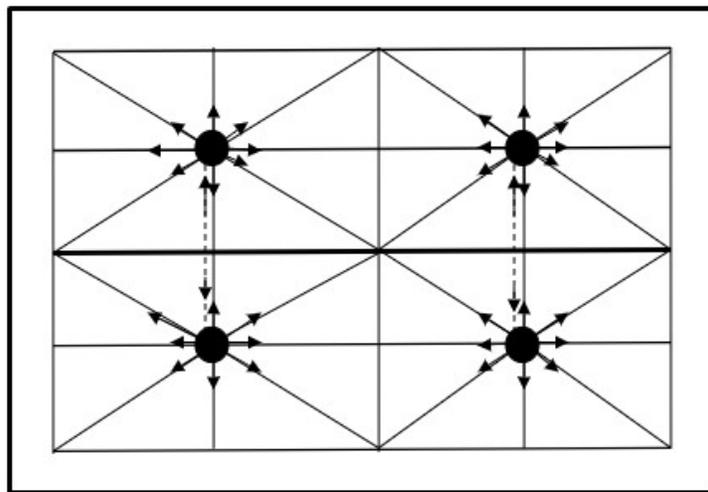
**Figura 1.7. Red en mallas. [Obtenido de: (López Cualla, 1995)]**

- e) En círculo o anillo: El suministro principal recubre al área de distribución abastecida, las ramas están conectadas transversalmente a la red y también entre sí. Su representación gráfica se describe en la Figura 1.8:



**Figura 1.8. Red en círculo o anillo.** [Obtenido de: *(Government of National Unity (GONU), 2009)*]

- f) Red radial: El área total está dividida en distritos para su distribución. Cada distrito posee un tanque elevado de distribución centrado del cual corren las tuberías de distribución de forma radial a las periferias de cada distrito. Su representación gráfica se describe en la Figura 1.9:



**Figura 1.9. Red radial.** [Obtenido de: *(Government of National Unity (GONU), 2009)*]

# CAPÍTULO 2

## 2. DESARROLLO DEL PROYECTO

A continuación, se presenta un diagrama de flujo que describe de manera simplificada los pasos a considerar en el desarrollo del proyecto.

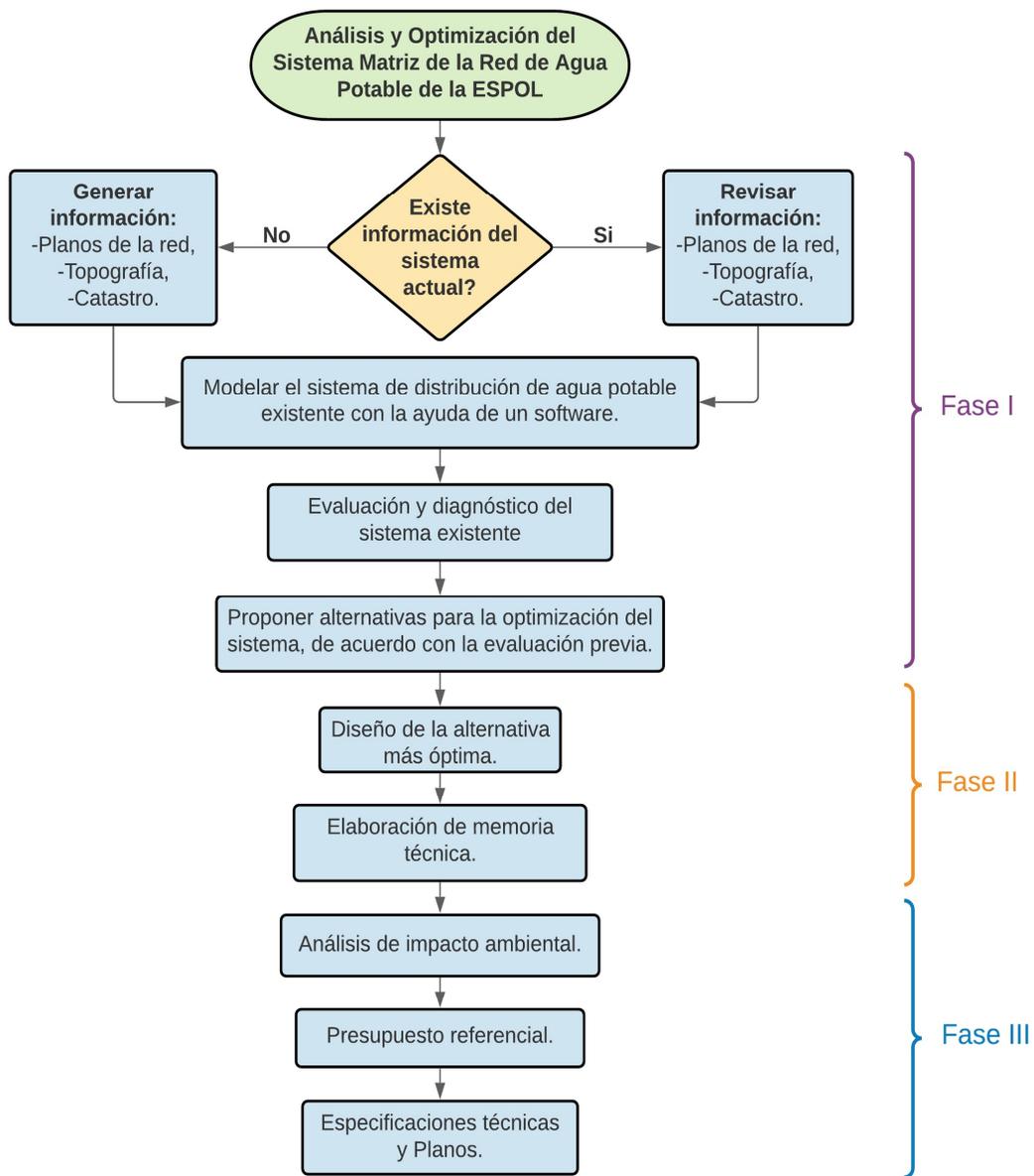
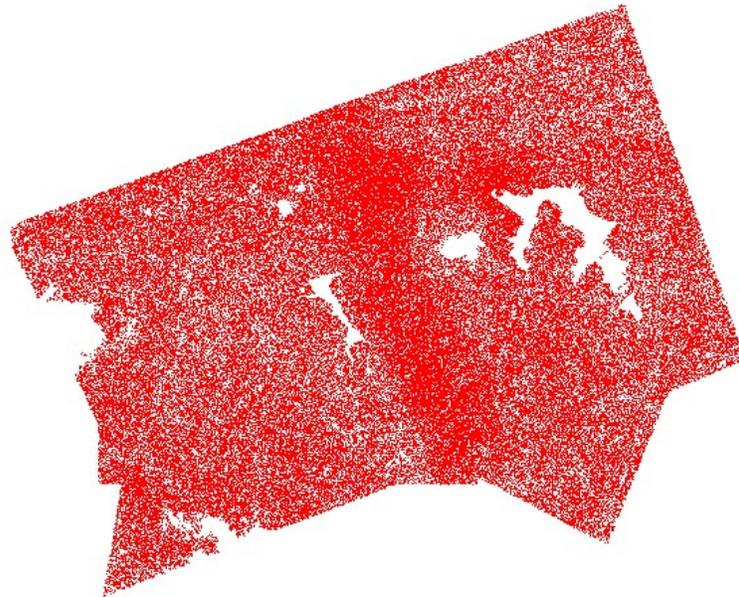


Figura 2.1. Diagrama de flujo de la metodología del proyecto [López & Zambrano, 2021].



Adicionalmente, para este proyecto se cuenta con un levantamiento topográfico realizado con dron y un mapa de ortofotos, los cuales fueron entregados por parte del personal técnico de la ESPOL, y que sirvieron para determinar las curvas de nivel y tener una idea de los niveles en que se encuentran las tuberías. En las siguientes figuras se muestran la nube de puntos y el mapa de ortofotos realizado con dron.



**Figura 2.3. Nube de puntos tomados con dron. [Obtenido de: GIF ESPOL]**



**Figura 2.4. Mapa de Ortofotos. [Obtenido de: GIF ESPOL]**

Por otra parte, se posee información sobre la población de la ESPOL en los últimos seis años. Estos datos fueron obtenidos del proyecto de Plan Maestro de Agua Potable, Alcantarillado Sanitario y Pluvial para la ESPOL (Cruz & Hidalgo, 2021). Con estos datos se analizó el sistema con la población actual y con la población futura con un período de diseño de 15 años, es decir, hasta el año 2035, con base en el análisis poblacional realizado en la tesis anteriormente mencionada, ya que, al tratarse de una institución educativa, el crecimiento poblacional tiene un comportamiento diferente al de una comunidad, y no se puede hacer uso de los métodos convencionales para la proyección poblacional. A continuación, se presentan los datos de la población en la ESPOL.

**Tabla 2.1. Población de la ESPOL del año 2014 al 2020.**  
 [Obtenido de: (Cruz & Hidalgo, 2021)]

Año	Estudiantes de Ingenierías	Estudiantes de Admisiones	Estudiantes de Posgrados	Trabajadores de ESPOL	Estudiantes de COPOL	Trabajadores de COPOL	Población total de ESPOL
2014	9690	5448	708	1244	1221	226	<b>18537</b>
2015	11463	5869	1255	1345	1486	228	<b>21646</b>
2016	11093	6091	1465	1494	1471	219	<b>21833</b>
2017	10803	5589	1520	1366	1381	217	<b>20876</b>
2018	10287	5301	1662	1417	1191	188	<b>20046</b>
2019	10254	4769	1345	1408	1061	195	<b>19032</b>
2020	10322	4333	1273	1264	823	192	<b>18207</b>

Finalmente, dentro de la información entregada por el departamento GIF de la ESPOL, está lo siguiente:

1. Cinco tanques bajos con una capacidad de 200 m<sup>3</sup> cada uno.
2. Datos de las dos bombas hidráulicas ubicadas en la zona de tanques bajos.
3. Tanque elevado con una capacidad aproximada de 1000 m<sup>3</sup>, y con una altura de 27 m.

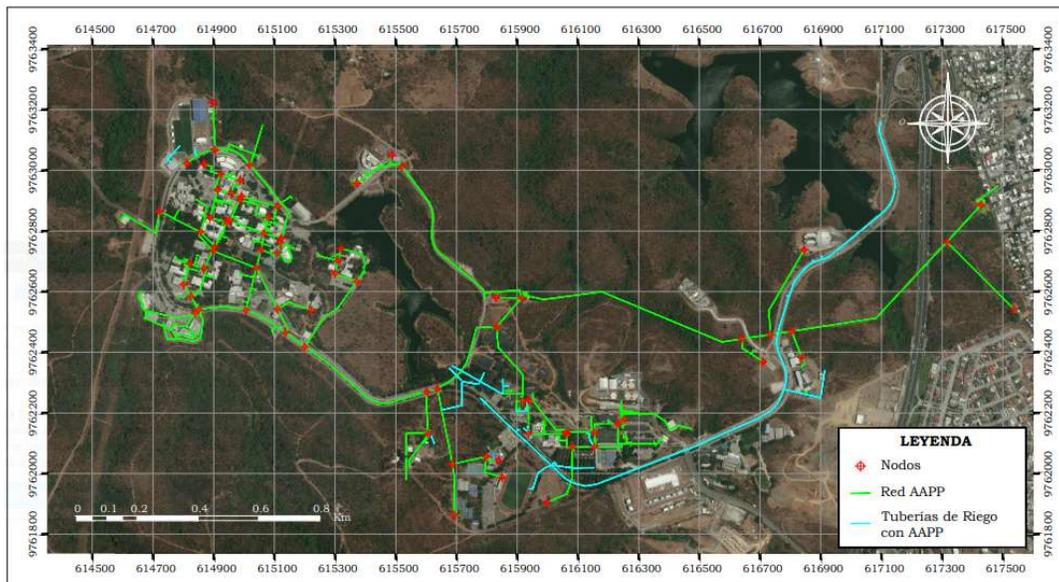
A continuación, se presenta una imagen de la placa de las bombas, la misma que sirvió para determinar la curva característica en los catálogos del proveedor.



**Figura 2.5. Placa de una de las bombas del sistema de agua potable de la ESPOL.**  
[Obtenido de: GIF ESPOL]

### 2.1.2. Modelado del sistema de distribución actual

Mediante el uso de la información adquirida, se realizó el modelado del sistema de distribución de agua potable con la ayuda de un software de análisis de redes. Inicialmente, se colocaron las tuberías, los nodos, las válvulas, las 2 bombas, los tanques bajos y el tanque de regularización. Los nodos pueden ser puntos de consumo o intersecciones de tuberías, y es donde se obtienen las presiones en el sistema. Estos nodos fueron colocados a lo largo de toda la red, como se muestra en la Figura 2.6.



**Figura 2.6. Ubicación de los nodos para el modelado del sistema de distribución**  
[López & Zambrano, 2021].

Adicionalmente, con base en la información facilitada por la ESPOL, solo se conocen los diámetros externos de las tuberías, y para realizar un buen modelado del sistema existente, es necesario colocar y trabajar con los diámetros internos, por tanto, se hace referencia al mayor productor en esa época, Plastigama, para el suministro de tuberías. Se buscó del catálogo del proveedor mencionado donde se usan diámetros comerciales, para encontrar la información de los diámetros internos.

Debido a que las tuberías del catálogo tienen diferentes presiones de trabajo, tomando en consideración el tiempo que ha transcurrido, se eligió los datos para las tuberías con menor presión de trabajo, asumiendo que es la situación más desfavorable para el análisis del modelado. A continuación, en la Tabla 2.2 se muestran los diámetros internos considerados para el modelado del sistema de distribución de agua potable de la ESPOL.

**Tabla 2.2. Diámetros, espesores y presión de trabajo de tuberías PVC.  
[Obtenido de: Plastigama]**

Diámetros externos [mm]	Espesor nominal [mm]	Diámetro interior [mm]	Presión de trabajo	
			[MPa]	[PSI]
400	7.9	384.2	0.50	73
355	7	341.0	0.50	73
315	6.3	302.4	0.50	73
200	3.9	192.2	0.50	73
160	3.2	153.6	0.50	73
110	2.2	105.6	0.50	73
90	1.8	86.4	0.50	73
63	1.6	59.8	0.63	91
50	1.3	47.4	0.63	91
40	1.1	37.8	0.63	91
25	1.1	22.8	1.00	145

Para determinar las demandas o caudales de consumo en cada uno de los nodos, se usó una dotación de 50 L/persona/día, la cual fue tomada de los datos de la Tabla 2.3, que se obtuvo del capítulo 16 de la norma ecuatoriana de la construcción (NEC, 2011), y que tiene como título “Norma Hidrosanitaria NHE Agua”, donde se coloca a las universidades.

**Tabla 2.3. Dotaciones para edificaciones de uso específico.**  
**[Obtenido de: (NEC, 2011)]**

Tipo de edificación	Unidad	Dotación
Bloques de viviendas	L/habitante/día	200 a 350
Bares, cafeterías y restaurantes	L/m <sup>2</sup> área útil/día	40 a 60
Camales y planta de faenamiento	L/cabeza	150 a 300
Cementerios y mausoleos	L/visitante/día	3 a 5
Centro comercial	L/m <sup>2</sup> área útil/día	15 a 25
Cines, templos y auditorios	L/concurrente/día	5 a 10
Consultorios médicos y clínicas con hospitalización	L/ocupante/día	500 a 1000
Cuarteles	L/persona/día	150 a 350
Escuelas y colegios	L/estudiante/día	20 a 50
Hospitales	L/cama/día	800 a 1300
Hoteles hasta 3 estrellas	L/ocupante/día	150 a 400
Hoteles de 4 estrellas en adelante	L/ocupante/día	350 a 800
Internados, hogar de ancianos y niños	L/ocupante/día	200 a 300
Jardines y ornamentación con recirculación	L/m <sup>2</sup> /día	2 a 8
Lavanderías y tintorerías	L/kg de ropa	30 a 50
Mercados	L/puesto/día	100 a 500
Oficinas	L/persona/día	50 a 90
Piscinas	L/m <sup>2</sup> área útil/día	15 a 30
Prisiones	L/persona/día	350 a 600
Salas de fiesta y casinos	L/m <sup>2</sup> área útil/día	20 a 40
Servicios sanitarios públicos	L/mueble/sanitario/día	300
Talleres, industrias y agencias	L/trabajador/jornada	80 a 120
Terminales de autobuses	L/pasajero/día	10 a 15
Universidades	L/estudiante/día	40 a 60
Zonas industriales agropecuarias y fábricas	L/s/Ha	1 a 2

Por otra parte, en la zona de los tanques bajos existe una pequeña vivienda en la cual vive un guardián con su familia, por lo tanto, se consideró una dotación de 150 L/hab-día, de acuerdo con (Metcalf & Eddy, 2004), tomando el dato de 3.78 hab/familia conforme con los datos del Censo en la provincia del Guayas realizado por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC).

Se realizaron dos análisis en el modelado del sistema de distribución, el primero con la población actual, es decir, la del año 2020; y el segundo con la población futura con período de diseño de 15 años. Para el análisis con la población de diseño se usó una

dotación proyectada de 62.5 L/persona/día, que de acuerdo con (Ávalos & Guerrero, 2020) se asume que la dotación incrementará en un 1.5% cada año, en base a la recomendación que da la normativa ecuatoriana.

### **2.1.2.1. Análisis del sistema con la población actual**

Con base en la Tabla 2.1, la ESPOL en el año 2020 tuvo una población total de 18207 personas, entre las cuales se encuentran los estudiantes y los trabajadores de la universidad y del colegio COPOL. Adicionalmente, el sistema de agua potable de la ESPOL está conformado por:

1. La línea de impulsión, la cual transporta el agua desde los tanques bajos hasta el sistema de tanque elevado mediante bombeo. Por lo tanto, la población que se utilizó en el análisis sería de 18207 personas.
2. La línea matriz o de conducción, la cual distribuye el agua hacia la red, desde la reserva alta mediante gravedad. Esta abastece de agua potable a todo el campus, con excepción de la zona del edificio de admisiones. Por lo tanto, la población que se utilizó en esta parte del análisis sería de 13874 personas.

Por el motivo de que, no se cuenta con la información de la cantidad de personas que alberga cada edificio en la zona de ingenierías, fue complicado determinar las demandas o consumos en los nodos en el modelo. Por lo que, se hizo uso del método de los polígonos de Thiessen para repartir el caudal o gasto total por áreas, con la población de 13874 personas, ya que esta es la que el tanque elevado abastece de agua.

La norma ecuatoriana (CPE INEN 5, 1992) establece los caudales de diseño para diferentes elementos del sistema de agua potable. Para el caso de la red de distribución, esta debe ser diseñada con el caudal máximo horario, el cual se determina a continuación para la población de 13874 que corresponde a la línea matriz.

#### **Caudal medio diario**

$$Q_m = \frac{P * D}{86400} \quad (2.1)$$

Donde:

$Q_m$ : caudal medio diario, [L/s].

$P$ : población.

$D$ : dotación, [L/habitante/día].

Por lo tanto, el caudal medio diario para el análisis de la línea matriz es de:

$$Q_m = \frac{(13874 \text{ hab}) * (50 \text{ L/hab/día})}{86400}$$

$$Q_m = 8.03 \text{ L/s}$$

### **Caudal máximo horario**

$$Q_{mh} = Q_m * C_{vh} \quad (2.2)$$

Donde:

$Q_{mh}$ : caudal máximo horario, [L/s].

$Q_m$ : caudal medio diario, [L/s].

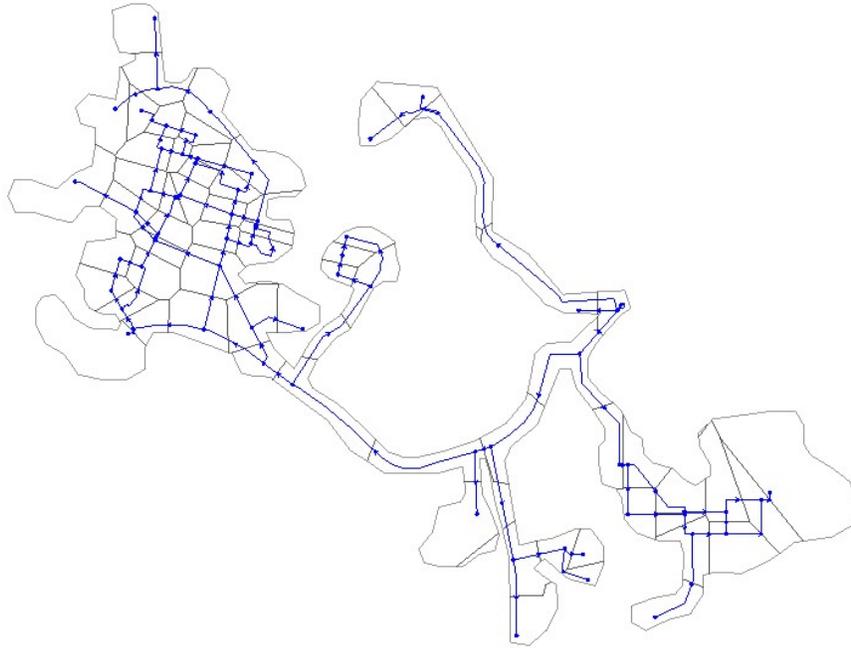
$C_{vh}$ : coeficiente de variación horaria.

La norma (CPE INEN 5, 1992) recomienda valores para el coeficiente de variación horaria entre 2 y 2.3. Por lo tanto, se usó un valor de 2.2 en este proyecto.

$$Q_{mh} = 8.03 \text{ L/s} * (2.2)$$

$$Q_{mh} = 17.66 \text{ L/s}$$

La Figura 2.7 muestra las áreas que se determinaron por medio de los polígonos de Thiessen y que sirven para estimar la demanda de cada nodo en la red, partiendo de la demanda total de 17.66 l/s, y que corresponde a la línea matriz.



**Figura 2.7. Polígonos de Thiessen en la línea matriz de agua potable [López & Zambrano, 2021].**

Obtenida la demanda en los nodos en la línea matriz, se determinó el caudal máximo horario para la población de admisiones la cual es de 4333 personas, siguiendo el mismo procedimiento anterior, con la finalidad de obtener el consumo en los nodos faltantes, los cuales están ubicados en la línea de impulsión.

### **Caudal medio diario**

$$Q_m = \frac{P * D}{86400} \quad (2.1)$$

$$Q_m = \frac{(4333 \text{ hab}) * (50 \text{ L/hab/día})}{86400}$$

$$Q_m = 2.51 \text{ L/s}$$

### **Caudal máximo horario**

$$Q_{mh} = Q_m * C_{vh} \quad (2.2)$$

$$Q_{mh} = 2.51 \text{ L/s} * (2.2)$$

$$Q_{mh} = 5.52 \text{ L/s}$$

Por lo tanto, el gasto máximo horario total es de 23.18 L/s, el cual se encuentra repartido en todo el sistema, considerando la línea de impulsión y la línea matriz. Es importante mencionar que algunos nodos no tienen descarga o demanda de agua, sino que son intersecciones de tuberías. Por lo tanto, no se tomaron en cuenta en la distribución del caudal total.

Adicionalmente, se consideró que las tuberías se encuentran a una profundidad promedio de 1.3 m del terreno natural, en vista de que las profundidades encontradas en el catastro varían entre 0.1 m y 3.71 m. Por otra parte, es importante mencionar que algunos de los nodos tienen consumo de agua que está destinada para riego, por lo tanto, se hizo una estimación del consumo de riego usando una dotación de 5 L/m<sup>2</sup>-día, de acuerdo con la Tabla 2.3.

A continuación, se muestran las áreas consideradas para riego junto con el consumo medio diario, tomando como base el plano entregado por el cliente para la identificación de zonas de riego con agua potable. La ubicación de los nodos se puede observar en la Figura 2.8.

**Tabla 2.4. Nodos con áreas y consumo de riego con agua potable [López & Zambrano, 2021].**

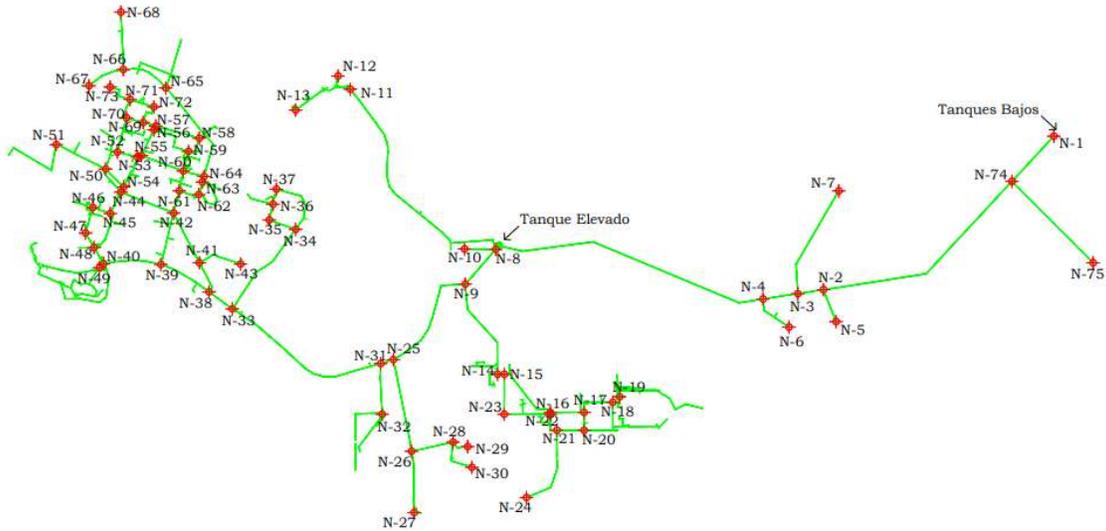
Nodo	Área de riego [m <sup>2</sup> ]	Consumo de riego [L/s]	Ubicación
N-9	21906.21	1.27	Zona 5
N-14	981.44	0.06	Zona 3
N-17	1645.92	0.10	Zona 3
N-20	6627.29	0.38	Zona 3
N-21	33766.02	1.95	Zona 3
N-23	2023.45	0.12	Zona 3
N-31	2231.26	0.13	Zona 5
N-32	858.04	0.05	Zona 4
N-67	6133.07	0.35	Zona 10

El consumo por riego determinado en los nodos de la Tabla 2.4, se suman a la demanda calculada mediante polígonos Thiessen, con lo cual se obtuvo las demandas totales en cada nodo y se presentan a continuación en la Tabla 2.5.

**Tabla 2.5. Elevación y demanda agua en cada nodo de la red AAPP (Población actual) [López & Zambrano, 2021].**

Nodo	Elevación [m]	Área de aportación [m2]	Consumo total [L/s]	Ubicación
N-1	22.70	0.00	0.00	Tanques bajos
N-2	78.18	0.00	0.00	Zona 1
N-3	85.16	0.00	0.00	Zona 1
N-4	94.06	0.00	0.00	Zona 1
N-5	87.42	5300.03	2.84	Zona 2
N-6	94.16	754.28	0.40	Zona 2
N-7	50.61	4140.34	2.22	Zona 1
N-8	110.01	107.00	0.02	Zona 1
N-9	96.68	2229.13	1.62	Zona 5
N-10	106.02	191.34	0.03	Zona 5
N-11	83.22	2554.49	0.40	Zona 14
N-12	85.93	537.86	0.09	Zona 14
N-13	79.80	778.60	0.12	Zona 14
N-14	86.97	476.75	0.13	Zona 3
N-15	86.60	1431.04	0.23	Zona 3
N-16	89.17	0.00	0.00	Zona 3
N-17	86.42	7021.91	1.21	Zona 3
N-18	88.13	1056.76	0.17	Zona 3
N-19	88.94	14768.60	2.34	Zona 3
N-20	86.13	7434.21	1.56	Zona 3
N-21	96.92	1724.74	2.23	Zona 3
N-22	89.37	0.00	0.00	Zona 3
N-23	94.03	1733.50	0.39	Zona 3
N-24	97.17	442.76	0.07	Zona 4
N-25	83.71	0.00	0.00	Zona 5
N-26	104.28	1114.73	0.18	Zona 4
N-27	112.57	429.26	0.07	Zona 4
N-28	97.90	217.60	0.03	Zona 4
N-29	96.74	340.00	0.05	Zona 4
N-30	99.54	580.00	0.09	Zona 4
N-31	87.19	0.00	0.13	Zona 5
N-32	103.77	2331.35	0.42	Zona 4
N-33	95.36	0.00	0.00	Zona 6
N-34	84.60	1595.48	0.25	Zona 5

N-35	86.70	484.09	0.08	Zona 5
N-36	90.68	157.46	0.02	Zona 5
N-37	84.29	1428.38	0.23	Zona 5
N-38	98.70	125.85	0.02	Zona 6
N-39	95.51	4046.33	0.64	Zona 7
N-40	84.08	0.00	0.00	Zona 9
N-41	100.19	3253.60	0.52	Zona 6
N-42	90.49	424.47	0.07	Zona 13
N-43	98.04	575.30	0.09	Zona 6
N-44	76.70	1737.72	0.28	Zona 9
N-45	77.84	1615.32	0.26	Zona 9
N-46	76.63	2418.63	0.38	Zona 9
N-47	78.97	800.89	0.13	Zona 9
N-48	79.83	2115.43	0.34	Zona 9
N-49	83.90	5467.07	0.87	Zona 9
N-50	76.70	3312.31	0.52	Zona 11
N-51	76.35	359.66	0.06	Zona 10
N-52	76.70	5463.01	0.87	Zona 11
N-53	78.80	0.00	0.00	Zona 11
N-54	76.90	1095.84	0.17	Zona 11
N-55	79.38	1934.40	0.31	Zona 11
N-56	77.27	940.51	0.15	Zona 12
N-57	76.98	856.76	0.14	Zona 12
N-58	78.55	314.63	0.05	Zona 12
N-59	81.19	746.42	0.12	Zona 12
N-60	84.38	1229.33	0.19	Zona 13
N-61	88.18	1637.87	0.26	Zona 13
N-62	89.37	2168.95	0.34	Zona 13
N-63	88.01	638.59	0.10	Zona 13
N-64	86.60	3953.45	0.63	Zona 13
N-65	76.86	1156.27	0.18	Zona 10
N-66	76.52	611.16	0.10	Zona 10
N-67	75.27	739.48	0.47	Zona 10
N-68	76.67	3701.26	0.59	Zona 10
N-69	75.43	389.24	0.06	Zona 12
N-70	73.23	1502.58	0.24	Zona 12
N-71	72.41	3127.41	0.50	Zona 12
N-72	75.01	844.90	0.13	Zona 12
N-73	72.32	973.54	0.15	Zona 12
N-74	54.58	0.00	0.00	Tanques bajos
N-75	80.43	100.00	0.05	Tanques bajos



**Figura 2.8. Ubicación de los nodos de la red AAPP [López & Zambrano, 2021].**

Luego de colocar las demandas en cada uno de los nodos del modelo, se colocaron las cotas de operación del tanque elevado y de los tanques bajos, así como la curva característica de las bombas, con base en la información entregada por el departamento de GIF de la ESPOL. Finalmente, terminado el modelado en el programa de análisis de redes, se obtuvo las presiones en todos los nodos del sistema tal como se muestra a continuación en la Tabla 2.6.

**Tabla 2.6. Resultados de las presiones en los nodos (Población actual) [López & Zambrano, 2021].**

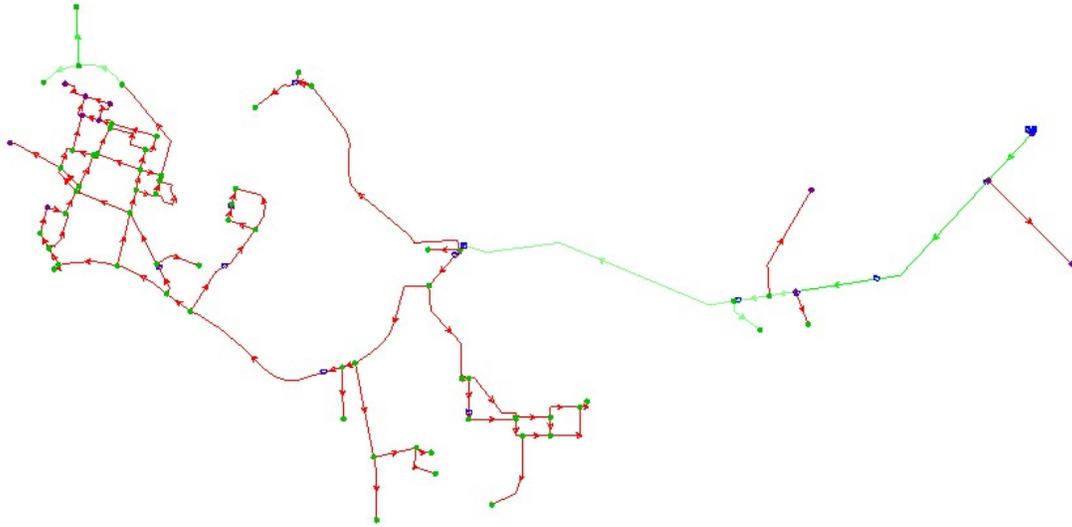
Nodo	Presión		Ubicación
	[m.c.a]	[psi]	
N-1	114	162	Tanques bajos
N-2	53	76	Zona 1
N-3	46	66	Zona 1
N-4	37	52	Zona 1
N-5	44	63	Zona 2
N-6	31	44	Zona 2
N-7	80	114	Zona 1
N-8	17	24	Zona 1
N-9	30	43	Zona 5
N-10	21	30	Zona 5
N-11	44	62	Zona 14
N-12	41	59	Zona 14

N-13	47	67	Zona 14
N-14	40	57	Zona 3
N-15	41	58	Zona 3
N-16	38	54	Zona 3
N-17	41	58	Zona 3
N-18	39	55	Zona 3
N-19	38	54	Zona 3
N-20	41	58	Zona 3
N-21	30	43	Zona 3
N-22	38	54	Zona 3
N-23	33	47	Zona 3
N-24	30	42	Zona 4
N-25	43	62	Zona 5
N-26	22	31	Zona 4
N-27	13	19	Zona 4
N-28	28	40	Zona 4
N-29	29	41	Zona 4
N-30	26	37	Zona 4
N-31	40	57	Zona 5
N-32	23	33	Zona 4
N-33	32	45	Zona 6
N-34	42	60	Zona 5
N-35	40	57	Zona 5
N-36	36	52	Zona 5
N-37	43	61	Zona 5
N-38	28	40	Zona 6
N-39	31	45	Zona 7
N-40	43	61	Zona 9
N-41	27	38	Zona 6
N-42	36	52	Zona 13
N-43	29	41	Zona 6
N-44	50	71	Zona 9
N-45	49	69	Zona 9
N-46	50	71	Zona 9
N-47	48	68	Zona 9
N-48	47	67	Zona 9
N-49	43	61	Zona 9
N-50	50	71	Zona 11
N-51	50	72	Zona 10
N-52	50	71	Zona 11
N-53	48	68	Zona 11
N-54	50	71	Zona 11
N-55	47	67	Zona 11
N-56	49	70	Zona 12
N-57	50	71	Zona 12

N-58	48	68	Zona 12
N-59	45	65	Zona 12
N-60	42	60	Zona 13
N-61	39	55	Zona 13
N-62	37	53	Zona 13
N-63	39	55	Zona 13
N-64	40	57	Zona 13
N-65	49	69	Zona 10
N-66	47	68	Zona 10
N-67	42	59	Zona 10
N-68	31	44	Zona 10
N-69	51	73	Zona 12
N-70	53	76	Zona 12
N-71	54	77	Zona 12
N-72	52	73	Zona 12
N-73	54	77	Zona 12
N-74	81	115	Tanques bajos
N-75	55	78	Tanques bajos

Se tiene como resultado presiones en los nodos entre 13 m.c.a. y 114 m.c.a, con un promedio de 42.2 m.c.a. Es importante recalcar que no todos los nodos son puntos de consumo, y las presiones más grandes se encuentran en los nodos de las tuberías conectadas en la línea de impulsión. Por otro lado, la (NEC, 2011) establece que se deben colocar válvulas reguladoras de presión en nodos de consumo que superen los 50 m.c.a., de acuerdo con los resultados obtenidos del modelo, los nodos de consumo en la red de distribución que superan este valor son: N-1, N-2, N-7, N-69, N-70, N-71, N-72, N-73, N-74, N-75.

Adicionalmente, las velocidades resultantes en las tuberías se encuentran entre 0.003 m/s y 1.44 m/s, teniendo una velocidad promedio de 0.25 m/s en el sistema, lo cual es muy bajo de acuerdo con la norma ecuatoriana, ya que esta establece que las velocidades de agua en las tuberías deben estar entre 0.6 m/s y 2.5 m/s, siendo el valor de 1.2 m/s una velocidad óptima para el diseño de tuberías. Las causas de tener velocidades tan bajas podrían ser que los diámetros de las tuberías son muy grandes, o que ciertos nodos tienen un consumo de agua demasiado bajo. La Figura 2.9 muestra de color rojo las tuberías que tienen velocidades menores a 0.6 m/s y de color verde las que superan dicho valor.



**Figura 2.9. Modelo con los resultados de velocidades (Población actual) [López & Zambrano, 2021].**

#### **2.1.2.2. Análisis del sistema con la población futura**

Se analizó el sistema matriz de agua potable de la ESPOL con una población proyectada al año 2035, considerando un período de diseño de 15 años. Los datos de la población futura fueron obtenidos de la tesis de Plan Maestro de Agua Potable, Alcantarillado Sanitario y Pluvial de la ESPOL, ya que este trabajo ya fue realizado teniendo la misma información poblacional con la que se trabajó en este proyecto. Por lo tanto, para el año 2035 se estima una población total en el campus Gustavo Galindo de 24699 personas, y una población de 18821 personas sin considerar la población de la zona de admisiones. Adicionalmente, la dotación utilizada en el análisis de la condición futura es de 62.5 L/persona-día, ya que se considera un aumento de la dotación en 1.5% anualmente, dicho valor fue obtenido de (Cruz & Hidalgo, 2021).

Se procedió de la misma manera que en el análisis realizado anteriormente con la población actual, empezando por calcular el caudal máximo horario para la línea matriz, y luego para sistema en general, considerando el uso del agua potable para riego de áreas verdes.

### Caudal medio diario

$$Q_m = \frac{P * D}{86400} \quad (2.1)$$

Para la línea matriz se obtuvo:

$$Q_m = \frac{(18821 \text{ hab}) * (62.5 \text{ L/hab/día})}{86400}$$

$$Q_m = 13.61 \text{ L/s}$$

Para la línea de impulsión:

$$Q_m = \frac{(5878 \text{ hab}) * (62.5 \text{ L/hab/día})}{86400}$$

$$Q_m = 4.25 \text{ L/s}$$

### Caudal máximo horario

$$Q_{mh} = Q_m * C_{vh} \quad (2.2)$$

Para la línea matriz se obtuvo:

$$Q_{mh} = 13.61 \text{ L/s} * (2.2)$$

$$Q_{mh} = 29.95 \text{ L/s}$$

Para la línea de impulsión:

$$Q_{mh} = 4.25 \text{ L/s} * (2.2)$$

$$Q_{mh} = 9.35 \text{ L/s}$$

Con lo cual se obtuvo una demanda total de 39.31 L/s, para una población de 24699 personas en el año 2035.

Los consumos de agua en los nodos, en la zona correspondiente a la línea matriz y en la línea de impulsión, se determinaron utilizando las mismas áreas obtenidas por el método de polígonos de Thiessen en el análisis con la población actual. Posteriormente, una vez ingresados estos datos en el modelo, se obtuvo las presiones en los nodos con la población futura, las cuales se muestran a continuación en la Tabla 2.7.

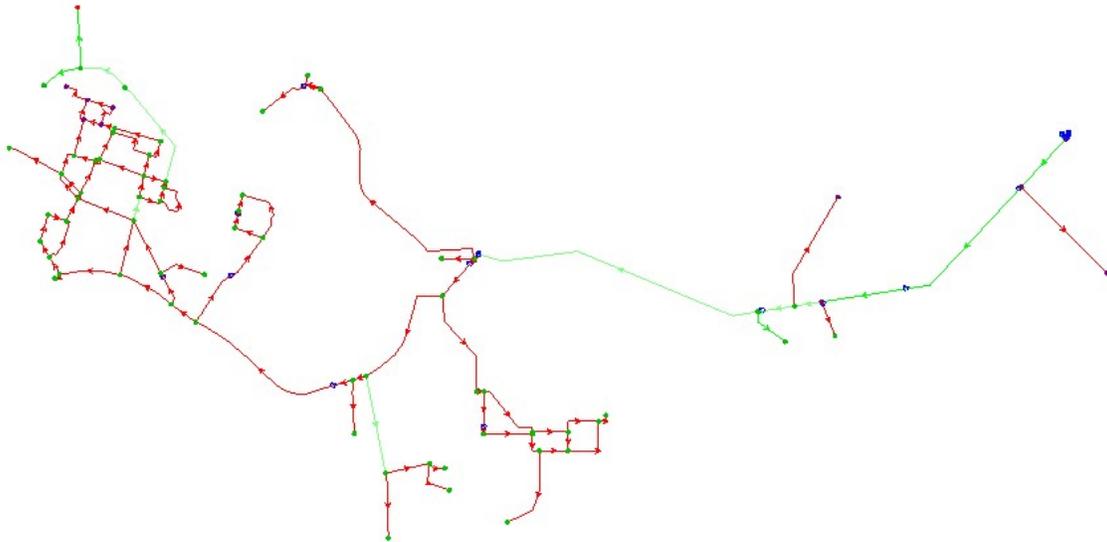
**Tabla 2.7. Consumos y presiones en los nodos del modelado con la población futura [López & Zambrano, 2021].**

Nodo	Elevación [m]	Área de aportación [m2]	Consumo total [L/s]	Presión		Ubicación
				[m.c.a]	[psi]	
N-1	22.70	0.00	0.00	113	161	Tanques bajos
N-2	78.18	0.00	0.00	53	75	Zona 1
N-3	85.16	0.00	0.00	45	64	Zona 1
N-4	94.06	0.00	0.00	36	51	Zona 1
N-5	87.42	5300.03	4.82	43	61	Zona 2
N-6	94.16	754.28	0.69	20	29	Zona 2
N-7	50.61	4140.34	3.76	79	113	Zona 1
N-8	110.01	107.00	0.03	17	24	Zona 1
N-9	96.68	2229.13	1.87	30	43	Zona 5
N-10	106.02	191.34	0.05	21	30	Zona 5
N-11	83.22	2554.49	0.69	44	62	Zona 14
N-12	85.93	537.86	0.14	41	58	Zona 14
N-13	79.80	778.60	0.21	47	67	Zona 14
N-14	86.97	476.75	0.18	40	57	Zona 3
N-15	86.60	1431.04	0.38	40	58	Zona 3
N-16	89.17	0.00	0.00	38	54	Zona 3
N-17	86.42	7021.91	1.98	41	58	Zona 3
N-18	88.13	1056.76	0.28	39	55	Zona 3
N-19	88.94	14768.60	3.97	38	54	Zona 3
N-20	86.13	7434.21	2.38	41	58	Zona 3
N-21	96.92	1724.74	2.42	30	43	Zona 3
N-22	89.37	0.00	0.00	38	54	Zona 3
N-23	94.03	1733.50	0.58	33	47	Zona 3
N-24	97.17	442.76	0.12	30	42	Zona 4
N-25	83.71	0.00	0.00	43	62	Zona 5
N-26	104.28	1114.73	0.30	20	28	Zona 4
N-27	112.57	429.26	0.12	11	16	Zona 4
N-28	97.90	217.60	0.06	26	36	Zona 4
N-29	96.74	340.00	0.09	27	38	Zona 4
N-30	99.54	580.00	0.16	24	34	Zona 4
N-31	87.19	0.00	0.13	40	57	Zona 5
N-32	103.77	2331.35	0.68	23	33	Zona 4
N-33	95.36	0.00	0.00	31	45	Zona 6
N-34	84.60	1595.48	0.43	42	60	Zona 5
N-35	86.70	484.09	0.13	40	57	Zona 5
N-36	90.68	157.46	0.04	36	51	Zona 5
N-37	84.29	1428.38	0.38	42	60	Zona 5
N-38	98.70	125.85	0.03	28	40	Zona 6
N-39	95.51	4046.33	1.09	31	44	Zona 7
N-40	84.08	0.00	0.00	42	60	Zona 9

N-41	100.19	3253.60	0.87	26	37	Zona 6
N-42	90.49	424.47	0.11	36	51	Zona 13
N-43	98.04	575.30	0.15	28	40	Zona 6
N-44	76.70	1737.72	0.47	49	70	Zona 9
N-45	77.84	1615.32	0.43	48	68	Zona 9
N-46	76.63	2418.63	0.65	49	70	Zona 9
N-47	78.97	800.89	0.22	47	67	Zona 9
N-48	79.83	2115.43	0.57	46	66	Zona 9
N-49	83.90	5467.07	1.47	42	60	Zona 9
N-50	76.70	3312.31	0.89	49	70	Zona 11
N-51	76.35	359.66	0.10	50	70	Zona 10
N-52	76.70	5463.01	1.47	49	70	Zona 11
N-53	78.80	0.00	0.00	47	67	Zona 11
N-54	76.90	1095.84	0.29	49	70	Zona 11
N-55	79.38	1934.40	0.52	47	66	Zona 11
N-56	77.27	940.51	0.25	49	69	Zona 12
N-57	76.98	856.76	0.23	49	70	Zona 12
N-58	78.55	314.63	0.08	47	67	Zona 12
N-59	81.19	746.42	0.20	45	64	Zona 12
N-60	84.38	1229.33	0.33	42	59	Zona 13
N-61	88.18	1637.87	0.44	38	54	Zona 13
N-62	89.37	2168.95	0.58	37	52	Zona 13
N-63	88.01	638.59	0.17	38	54	Zona 13
N-64	86.60	3953.45	1.06	39	56	Zona 13
N-65	76.86	1156.27	0.31	46	66	Zona 10
N-66	76.52	611.16	0.16	44	62	Zona 10
N-67	75.27	739.48	0.55	35	50	Zona 10
N-68	76.67	3701.26	0.99	2	2	Zona 10
N-69	75.43	389.24	0.10	50	72	Zona 12
N-70	73.23	1502.58	0.40	53	75	Zona 12
N-71	72.41	3127.41	0.84	53	76	Zona 12
N-72	75.01	844.90	0.23	51	72	Zona 12
N-73	72.32	973.54	0.26	54	76	Zona 12
N-74	54.58	0.00	0.00	80	114	Tanques bajos
N-75	80.43	100.00	0.09	53	76	Tanques bajos

En la condición futura del año 2035, hubo una pequeña disminución de presiones con respecto a la situación actual del año 2020. Sin embargo, sigue habiendo buenas presiones en casi toda la red, obteniendo valores mayores a 50 m.c.a. en los nodos N-1, N-2, N-7, N-70, N-71, N-72, N-73, N-74, N-75, con excepción del nodo N-68 que tiene una presión de 2 m.c.a., lo cual está muy por debajo del mínimo que establece la normativa ecuatoriana.

Por otro lado, los valores de velocidades en las tuberías aumentaron un poco, sin embargo, en la gran mayoría siguen resultando velocidades muy por debajo de los 0.6 m/s, que la normativa establece como valor mínimo en edificaciones. Estas velocidades de agua en las tuberías oscilan entre valores de 0.01 m/s y 2.42 m/s, con un promedio de 0.34 m/s. La Figura 2.10 muestra de color rojo las tuberías con velocidades menores a 0.6 m/s, de color verde con velocidades entre 0.6 m/s y 2.5 m/s.



**Figura 2.10. Modelo con los resultados de velocidades (Población futura) [López & Zambrano, 2021].**

### **2.1.3. Validación de resultados de la modelación**

Con la finalidad de validar los resultados de presiones obtenidos en la modelación de la red para la condición actual y futura, se realizaron mediciones de presiones en los grifos que se encuentran en los exteriores de los edificios de todo el campus, mediante el uso de un manómetro conectado a una pequeña manguera de agua y posteriormente enroscado a la llave de agua de la edificación, tal como se muestra en la Figura 2.11.



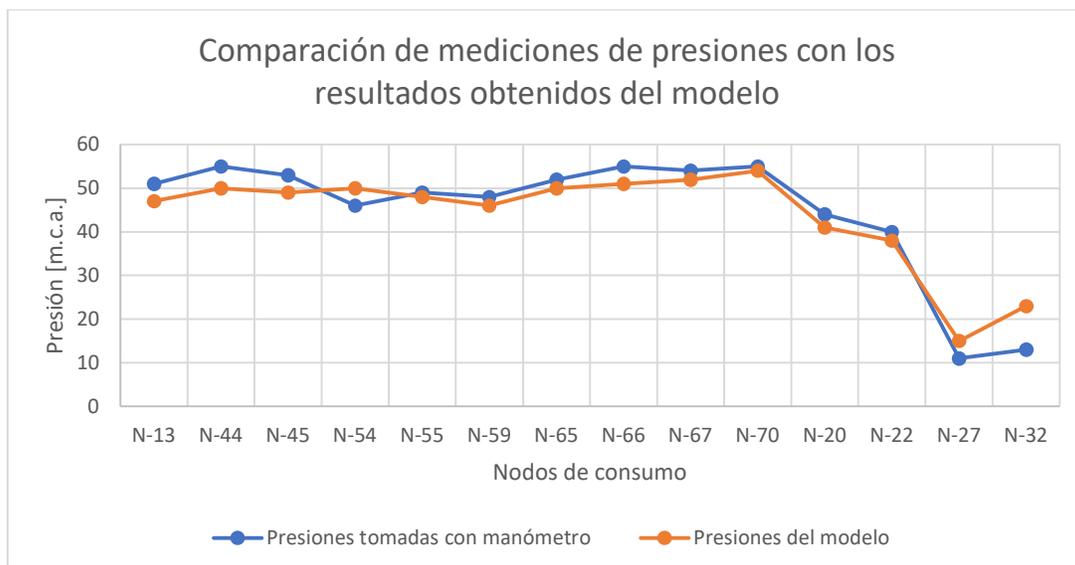
**Figura 2.11. Uso de manómetro para medir presiones en edificaciones de la ESPOL [López & Zambrano, 2021].**

Se realizaron las mediciones de presiones en los lugares que eran accesibles por fuera de los edificios, ya que debido a la situación epidemiológica del covid-19, no se logró ingresar en la mayoría de las edificaciones. Sin embargo, se tomaron 18 mediciones, de las cuales 14 fueron en la zona de ingenierías y 4 en la zona de tecnologías.

Es importante mencionar que, los resultados de dichas mediciones no son representativos, ya que no fueron realizados en condiciones normales con el aforo completo de personas en el campus, por el motivo mencionado anteriormente. Por lo tanto, se tuvo que crear una condición en el modelo en donde el sistema está estático, es decir, que no existe consumo en los nodos, con el fin de poder realizar una comparación de presiones reales con las del modelo. Los resultados de tales mediciones se muestran en la siguiente tabla, junto con las presiones en los nodos más cercanos del modelo en condiciones donde no existe consumo.

**Tabla 2.8. Comparación de mediciones de presiones con los resultados obtenidos en el modelado de la red [López & Zambrano, 2021].**

Zona	Nodo	Presión tomada con manómetro [m.c.a.]	Presión del modelo [m.c.a.]	Diferencia [m.c.a.]
Ingenierías	N-13	51	47	4
	N-44	55	50	5
	N-45	53	49	4
	N-54	46	50	-4
	N-55	49	48	1
	N-59	48	46	2
	N-65	52	50	2
	N-66	55	51	4
	N-67	54	52	2
	N-70	55	54	1
Tecnologías	N-20	44	41	3
	N-22	40	38	2
	N-27	11	15	-4
	N-32	13	23	-10



**Figura 2.12. Resultados de mediciones de presiones y valores obtenidos en el modelado de la red [López & Zambrano, 2021].**

Con base en la Tabla 2.8, existen diferencias de presiones entre 1 m.c.a. y 10 m.c.a. siendo en la mayoría de los casos, las presiones tomadas con manómetros mayores a las del modelo. Sin embargo, existen tres casos en donde los resultados de las

presiones del modelo resultan mayores a las tomadas en campo, por lo que, en dichas zonas puede haber posibles fugas de agua en las tuberías.

Debido a que no existe una gran diferencia entre presiones del modelo con las mediciones realizadas en campo, se puede concluir que los resultados del modelo son confiables, y los análisis con la población actual y futura realizados anteriormente están bien.

#### **2.1.4. Análisis de la capacidad del tanque de regularización**

Se analizó la capacidad del tanque elevado con el propósito de conocer si satisface la demanda de agua potable de la población actual y la población futura. Para calcular el volumen necesario del tanque de regularización para la demanda poblacional, se necesita saber con anticipación la distribución del gasto diario segmentada en horarios de consumo, y se diseña siguiendo el método de la curva integral (consistente en la sumatoria de los volúmenes del mayor excedente y escasez horaria). Debido a que no se cuentan con dichos datos, se recurre al método de cálculo del volumen del tanque elevado que recomienda la (CPE INEN 5, 1992), el cual es la suma del volumen de regulación, el volumen contra incendio y el volumen de reserva o emergencia.

La norma ecuatoriana establece que, para poblaciones menores a 5000 habitantes se debe tomar como volumen de regulación el 30% del volumen consumido en un día, usando el caudal medio diario. Mientras que para poblaciones mayores a 5000 habitantes se debe usar el 25% del caudal medio diario.

Por otra parte, para determinar el volumen contra incendios, la misma norma establece lo siguiente:

- a) No se considera almacenamiento para incendio para lugares de la costa con una población menor a 3000 habitantes, y para lugares de la sierra con una población menor 5000 habitantes.
- b) Para lugares con una población menor o igual a 20,000 habitantes se usa la siguiente fórmula:  $V_i = 50 \sqrt{p}$ , donde  $p$  es la población en miles de habitantes y  $V_i$  está en  $m^3$ .

- c) Para lugares con una población mayor a los 20,000 habitantes se usa la siguiente ecuación:  $V_i = 100 \sqrt{p}$ , donde p es la población en miles de habitantes y  $V_i$  está en  $m^3$ .

Finalmente, la norma establece que, para poblaciones mayores a los 5000 habitantes, el volumen de reserva o emergencia se lo determina usando el 25% del volumen de regulación, y para poblaciones menores a los 5000 habitantes no es necesario ningún volumen de emergencia.

A continuación, se determina la capacidad del tanque con la población actual y con la población futura, con la finalidad de conocer si el tanque actual de  $1000 m^3$  tiene la capacidad de abastecer de agua en ambas condiciones.

### Situación con población actual

$$Población = 18207 \text{ hab}$$

$$Dotación = 50 \text{ L/hab} * \text{día}$$

- a) Caudal medio diario

$$Q_{md} = \left( 18207 \text{ hab} * 50 \frac{\text{L}}{\text{hab} * \text{día}} \right) / 1000$$

$$Q_{md} = 910.35 \text{ m}^3/\text{día}$$

- b) Volumen de regulación

Se considera 25% del  $Q_{md}$ , de acuerdo con la norma CPE INEN 5.

$$V_r = 0.25 * (910.35 \text{ m}^3/\text{día}) * \text{día}$$

$$V_r = 227.59 \text{ m}^3$$

- c) Volumen contra incendio

Para poblaciones entre 5000 y 20000 habitantes, se usa la siguiente fórmula:

$$V_i = 50 * \sqrt{p}$$

$$V_i = 50 * \sqrt{18.207} = 213.35 \text{ m}^3$$

d) Volumen de reserva o emergencia

Se considera el 25% del volumen de regulación ya que la población es mayor a 5000 habitantes, de acuerdo con la norma CPE INEN 5:

$$V_E = 0.25 * (227.59 \text{ m}^3)$$

$$V_E = 56.90 \text{ m}^3$$

El volumen del tanque requerido es la suma de los valores anteriormente obtenidos:

$$V_T = V_r + V_i + V_E$$

$$V_T = (227.59 + 213.35 + 56.90) \text{ m}^3$$

$$V_T = \mathbf{497.83 \text{ m}^3}$$

El tanque elevado actual de 1000 m<sup>3</sup> cumple con la demanda.

Debido a que actualmente, se está usando agua potable para el riego de áreas verdes en el campus Gustavo Galindo, se determina el volumen adicional que debería tener el tanque considerando el consumo de riego.

e) Área estimada de riego con AAPP

$$A = 76172.70 \text{ m}^2$$

f) Caudal medio diario para riego

$$Q = \frac{(5 \text{ L/m}^2 * \text{día}) * (76172.70 \text{ m}^2)}{10000}$$

$$Q = 380.86 \text{ m}^3/\text{día}$$

Se considera el volumen de agua destinada a riego en un día por lo tanto el volumen total del tanque es la suma del volumen debido a la población, más el volumen de 380.86 m<sup>3</sup>.

$$V_T = (497.83 + 380.86) \text{ m}^3$$

$$V_T = \mathbf{878.69 \text{ m}^3}$$

El tanque elevado actual de 1000 m<sup>3</sup> cumple con la demanda.

## Situación con población futura

$$Población = 24699 \text{ hab}$$

$$Dotación = 62.5 \text{ L/hab} * \text{ día}$$

a) Caudal medio diario

$$Q_{md} = \left( 24699 \text{ hab} * 62.5 \frac{\text{L}}{\text{hab} * \text{ día}} \right) / 1000$$

$$Q_{md} = 1543.69 \text{ m}^3/\text{día}$$

b) Volumen de regulación

Se considera 25% del  $Q_{md}$ , de acuerdo con la norma CPE INEN 5.

$$V_r = 0.25 * (1543.69 \text{ m}^3/\text{día}) * \text{ día}$$

$$V_r = 385.92 \text{ m}^3$$

c) Volumen contra incendio

Para poblaciones mayores a 20000 habitantes, se usa la siguiente fórmula:

$$V_i = 100 * \sqrt{p}$$

$$V_i = 100 * \sqrt{24.699} = 496.98 \text{ m}^3$$

d) Volumen de reserva o emergencia

Se considera el 25% del volumen de regulación ya que la población es mayor a 5000 habitantes, de acuerdo con la norma CPE INEN 5:

$$V_E = 0.25 * (385.92 \text{ m}^3)$$

$$V_E = 96.48 \text{ m}^3$$

El volumen del tanque requerido es la suma de los valores anteriormente obtenidos:

$$V_T = V_r + V_i + V_E$$

$$V_T = (385.92 + 496.98 + 96.48) \text{ m}^3$$

$$V_T = \mathbf{979.38 \text{ m}^3}$$

El tanque elevado actual de 1000 m<sup>3</sup> cumple con la demanda, sin embargo, está al límite y se debería colocar, como una alternativa, un nuevo tanque elevado.

Al igual que en la condición actual, se determina volumen adicional que debería tener el tanque considerando el consumo de riego.

e) Área estimada de riego con AAPP

$$A = 76172.70 \text{ m}^2$$

f) Caudal medio diario para riego

$$Q = \frac{(5 \text{ L/m}^2 * \text{día}) * (76172.70 \text{ m}^2)}{10000}$$

$$Q = 380.86 \text{ m}^3/\text{día}$$

De la misma manera, se considera el volumen de agua destinada a riego en un día, por lo tanto, volumen total del tanque debido a la población futura del año 2035, más el volumen de 380.86 m<sup>3</sup> es de:

$$V_T = (979.38 + 380.86) \text{ m}^3$$

$$V_T = 1360.24 \text{ m}^3$$

El tanque elevado actual de 1000 m<sup>3</sup> no cumple con la demanda considerando riego, ya que hace falta un volumen de 360.24 m<sup>3</sup>.

Cabe recalcar que los cálculos efectuados están considerando la provisión del tanque únicamente para la población y para el riego de áreas verdes, sin embargo, las pérdidas del sistema, superiores al 50%, ocasionan que el volumen no abastezca en ambas condiciones, por lo que, en la representación de un sistema para la población futura donde se conserven o incrementen las áreas de riego, será requerido un nuevo reservorio de manera obligatoria.

A continuación, se presenta una table resumen con la demanda de la población actual y futura, la demanda de riego y los volúmenes necesarios que debería tener el tanque en cada caso.

**Tabla 2.9. Tabla resumen de los volúmenes requeridos del tanque elevado para la población actual y futura [López & Zambrano, 2021].**

	Población actual (18207 personas)	Población futura (24699 personas)	Riego	Población actual + riego	Población futura + riego
<b>Dotación</b>	50 L/hab-día	62.5 L/hab-día	5 L/m <sup>2</sup> -día	50 L/hab-día + 5 L/m <sup>2</sup> -día	62.5 L/hab-día + 5 L/m <sup>2</sup> -día
<b>Volumen necesario del tanque elevado</b>	479.83 m <sup>3</sup>	878.69 m <sup>3</sup>	380.86 m <sup>3</sup>	979.38 m <sup>3</sup>	1360.24 m <sup>3</sup>

### 2.1.5. Evaluación y diagnóstico del sistema actual

La revisión del catastro del sistema de distribución de agua potable existente en la ESPOL muestra que las condiciones físicas de algunas de las tuberías y válvulas del sistema no son las adecuadas. Las cámaras de inspección presentan deficiencias tales como: falta de tapa, válvulas en mal estado y desviadas, tuberías deterioradas, filtraciones, sedimentos y desechos, y teniendo estos sistemas una vida útil de aproximadamente 30 años, se constata que, en varios puntos de inspección, no se ha realizado un correcto mantenimiento periódico, con lo cual no se han preservado adecuadamente las condiciones técnicas del funcionamiento en diferentes partes de la red.



**Figura 2.13. Cámara de inspección cubierta de sedimentos. [Obtenido de: Catastro red AAPP ESPOL]**



**Figura 2.14. Falta de mantenimiento en válvulas. [Obtenido de: Catastro red AAPP ESPOL]**



**Figura 2.15. Válvula cubierta con agua. [Obtenido de: Catastro red AAPP ESPOL]**



**Figura 2.16. Válvula desviada con presencia de sedimentos. [Obtenido de: Catastro red AAPP ESPOL]**

El análisis hidráulico del sistema calibrado en el software arroja resultados de presiones y velocidades irregulares en distintos nodos y tuberías del sistema. La normativa ecuatoriana (NEC, 2011) recomienda no exceder de 50 m.c.a en nodos de consumo, y una instalación de válvulas reguladoras de presión en puntos aquellos donde haya abastecimiento con una presión mayor a esta. Tal como se mencionó en el apartado 2.1.2.1, el sistema actual, en sus nodos de consumo N-1, N-2, N-7, N-69, N-70, N-71, N-72, N-73, N-74, N-75, cuentan con presiones superiores a 50 m.c.a, por lo que se debe buscar mecanismos para disminuir la presión en estos nodos, como la colocación de válvulas reductoras de presión. El crecimiento poblacional proyectado y una dotación futura también puede comprometer nodos donde la presión actual supera los 40 m.c.a, y cambios en la red propuestos deben incluir criterios para controlar estas presiones.

Los valores de velocidad promedio en la red se sitúan en los 0.34 m/s, 3.5 veces menor al recomendado por la NEC, es decir, 1.2 m/s. Esto puede deberse a valores exageradamente grandes de los diámetros de tuberías existentes. El sistema debe regularse mediante cambios y optimizaciones que permitan proveer diámetros de tubería económicos que garanticen un flujo debido del agua en cada zona.

Otro motivo de preocupación que compete al sistema de agua potable existente en la ESPOL es el tema de las pérdidas. Datos provistos por la tesis de (Cruz & Hidalgo, 2021), revelan pérdidas del período de 2017 a 2020 con valores señalados en la Tabla 2.10, presentada a continuación:

**Tabla 2.10. Pérdidas en el sistema de distribución de agua potable de la ESPOL entre el año 2017 y 2020. [Obtenido de: (Cruz & Hidalgo, 2021)]**

AÑO	POBLACIÓN	CONSUMO ANUAL ESPOL (m <sup>3</sup> )	CONSUMO POR DOTACIÓN (50 L/hab.*día)		CONSUMO POR DOTACIÓN (50 L/hab.*día)	
2017	20876	272140	104943	39%	167197	61%
2018	20046	338849	100265	30%	238584	<b>70%</b>
2019	19032	278899	97061	35%	181838	65%
2020	18207	215564	94293	44%	121271	<b>56%</b>
<b>PROMEDIO</b>		<b>276363</b>	<b>99141</b>	<b>37%</b>	<b>177223</b>	<b>63%</b>

El gran porcentaje de pérdidas se ve evidenciado en los gastos anuales del año 2020, donde se presentó una situación atípica y por varios meses, únicamente se utilizó agua potable para el riego de plantas, resultando en USD163,147.00 anuales.

Estos niveles de pérdidas pueden ser causados por malas condiciones de tuberías y válvulas, que permiten filtraciones o fugas, además de posibles gastos no contabilizados.

El volumen del tanque elevado existente actualmente cumple para las condiciones de la población presente, siendo este de 1000 m<sup>3</sup> aproximadamente, pero para las condiciones de población futura luego de un período de diseño, el tanque estaría con capacidad insuficiente y, por lo tanto, para un rediseño se requiere la incorporación de otro tanque dentro de la red.

De acuerdo con el personal técnico encargado de la operación del sistema de bombeo de la ESPOL, el sistema de bombas existentes para la línea de impulsión trabaja desde las 07h00 a 04h00 del día siguiente en épocas donde transita un volumen común de estudiantes, es decir, hasta 21 horas ininterrumpidas, lo cual sobrepasa ampliamente el tiempo óptimo de bombeo, que es entre 8 a 12 horas.

Las presentes condiciones de la red de distribución de agua potable del campus Gustavo Galindo de la ESPOL requieren de una intervención y mejora que permita un mejor manejo del agua potable disponible con un cumplimiento de las normas técnicas de diseño y mantenimiento.

## **2.2. Trabajos de campo y gabinete**

### **2.2.1. Topografía**

La topografía es de gran importancia en este tipo de proyectos, ya que los sistemas de distribución de agua potable normalmente trabajan a gravedad, y para realizar un diseño y trazado óptimo de la red se debe procurar seguir la forma del terreno natural tanto como sea posible. Como se mencionó anteriormente, los datos topográficos fueron facilitados por el departamento de GIF de la ESPOL, y con esta información se generaron curvas de nivel, las cuales fueron utilizadas en el modelamiento del sistema existente.

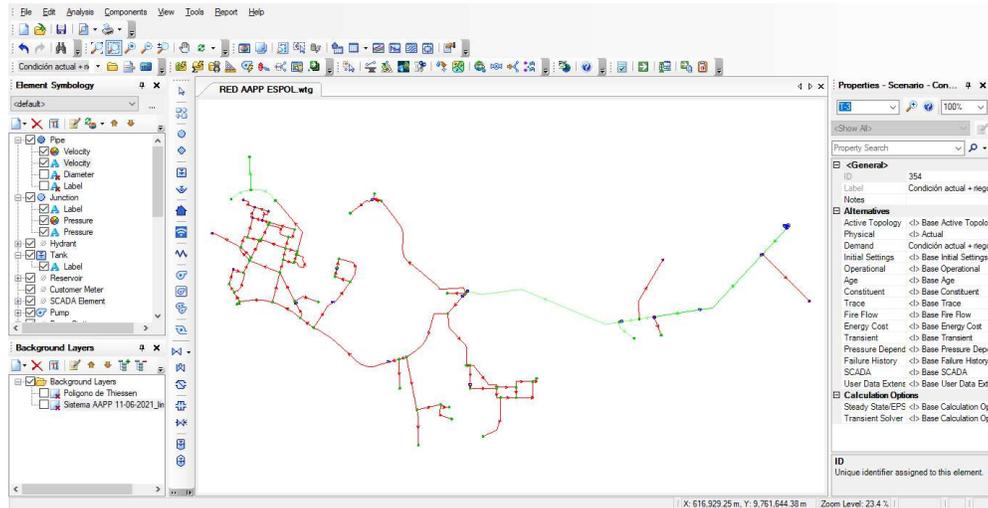
### **2.2.2. Procesamiento de la información existente**

El procesamiento y trabajo de la información existente es un trabajo necesario que debe ser realizado antes de analizar el comportamiento de la red, ya que se tiene que seleccionar y verificar dicha información para poder simular el sistema lo más cercano a la realidad, y de esta manera obtener buenos resultados. Desafortunadamente, no se cuenta con datos de presiones y velocidades de agua en las tuberías del sistema para poder contrastar con los resultados obtenidos, por esta razón se tuvo que realizar este trabajo de manera muy minuciosa.

### **2.2.3. Modelamiento del sistema**

El modelado del sistema matriz existente es muy importante ya que simula el comportamiento de actual de la red de agua potable, además de que, al tratarse de un sistema complejo que cubre un área muy grande, no es eficiente realizar los cálculos a mano. El modelado se lo realizó con la ayuda de un software de análisis de sistemas de distribución de agua, y se usó como base el plano de la red de agua potable que fue facilitado por la ESPOL.

En la siguiente imagen se muestra el modelo realizado en el programa de análisis de redes de aguas.



**Figura 2.17. Modelado de la red de distribución de agua potable de la ESPOL [López & Zambrano, 2021].**

#### **2.2.4. Mediciones de presiones**

Se realizaron mediciones de presiones en ciertas edificaciones del campus Gustavo Galindo, mediante el uso de un manómetro, el cual se conectó a una manguera de agua para luego poder conectarla a una llave de agua, y de esta manera, conocer la presión con la que llega el agua en los edificios. Este trabajo es de mucha importancia, ya que los datos presiones sirven para poder validar los resultados obtenidos en la modelación con el programa de análisis de redes de agua. A continuación, se muestran imágenes de las tomas de presiones realizadas en campo.



**Figura 2.18. Toma de presión a las afueras del edificio de UBEP [López & Zambrano, 2021].**



**Figura 2.19. Toma de presión en el edificio de matemáticas y estadística [López & Zambrano, 2021].**



**Figura 2.20. Toma de presión a las afueras de los laboratorios de FIEC [López & Zambrano, 2021].**



**Figura 2.21. Toma de presión en el edificio de STA de la ESPOL [López & Zambrano, 2021].**

## 2.2.5. Elaboración de planos

La elaboración de planos es una de las partes más relevantes del proyecto, debido a que muestran de manera gráfica las características físicas de la infraestructura existente y su ubicación en el área del proyecto. Previo al análisis de la red actual y al diseño de la mejor alternativa para la solución, se elaboraron los planos de ubicación del proyecto, y sistema de distribución existente con curvas de nivel, con la finalidad de contar con información más detallada del sistema existente. En la siguiente figura se presenta el plano con la red de agua potable existente de la ESPOL.

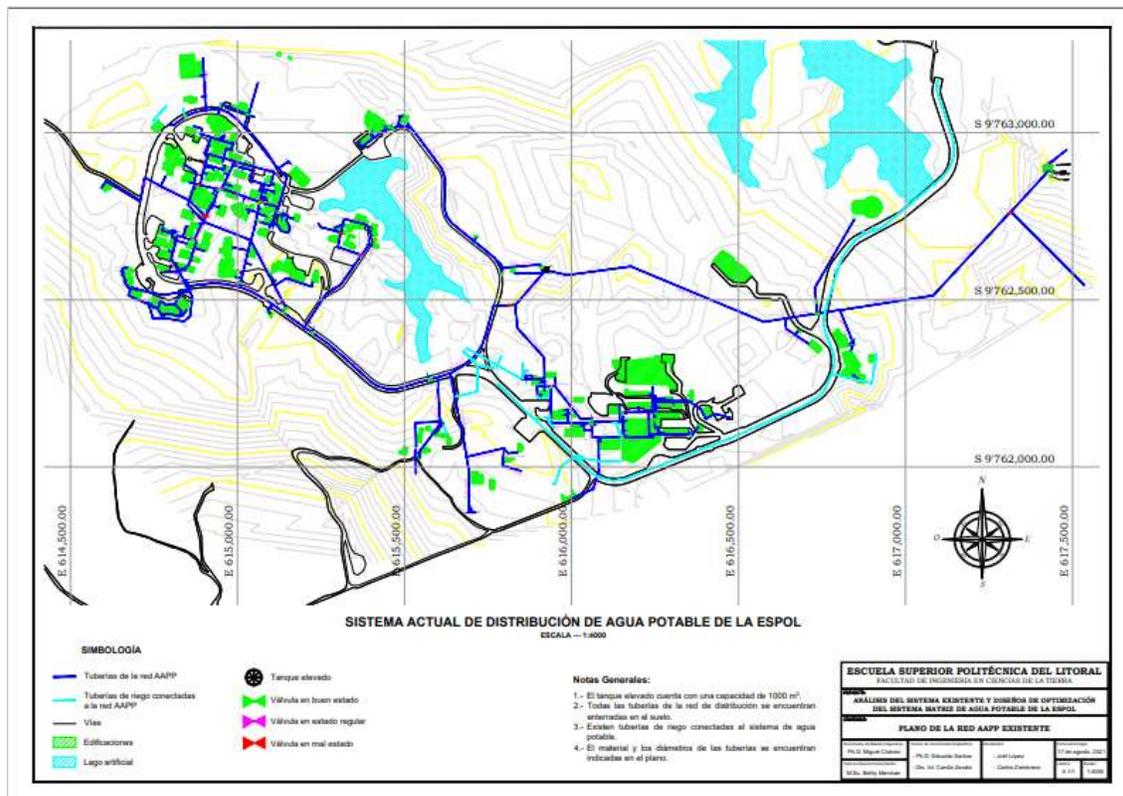


Figura 2.22. Plano de la condición actual de la red de agua potable de la ESPOL [López & Zambrano, 2021].

## 2.3. Determinación de las restricciones del proyecto

Previo a analizar las posibles alternativas de diseño para la optimización del sistema matriz de la ESPOL, se debe tomar en cuenta las limitaciones que tiene el proyecto, con el fin de proponer soluciones que se puedan llevar a cabo y que sean económicamente viables. Entre las restricciones encontradas están:

1. Se debe respetar el trazado actual, la propuesta no debe diferir del trazado de forma significativa.
2. No se puede cambiar la ubicación del tanque de regularización, ni de la reserva baja, así como tampoco de la estación de bombeo.
3. Se debe considerar la topografía existente, se deben evitar movimientos de tierra.
4. Las ampliaciones o cambios presentados no deben causar un impacto ambiental severo ni invadir zonas del Bosque Protector.
5. El diseño debe reducir la demanda de agua potable para riego, considerando fuentes alternativas para dicho fin.

## **2.4. Análisis de alternativas**

Las alternativas para la optimización del sistema matriz se plantean con base en las siguientes consideraciones:

### **2.4.1. Consideraciones técnicas**

Las alternativas deben garantizar el cumplimiento de los criterios de presiones y velocidades en todos los tramos del sistema, y tener la capacidad de abastecer a la población proyectada con un período de 20 años, de acuerdo con la normativa ecuatoriana.

La capacidad para el tanque elevado, así como los resultados de presiones y velocidades analizados para la situación futura justifican que la alternativa planteada resuelva aumentar la capacidad del sistema y ajustar diámetros de tuberías en tramos donde se generen altas presiones o bajas velocidades.

### **2.4.2. Consideraciones económicas**

La ESPOL al tratarse de una universidad pública no dispone de grandes recursos económicos, por tanto, realizar un trazado nuevo en la red sin considerar la infraestructura existente no sería una opción económicamente viable. Por esta razón se debe utilizar el trazado actual dentro de las alternativas, siempre y cuando las válvulas y las tuberías estén en buen estado, ya que en caso de no ser así se seguirá teniendo grandes pérdidas de agua, y eso continuará afectando económicamente a la universidad.

### 2.4.3. Consideraciones ambientales

La implementación de la mejor alternativa no debe generar un gran impacto ambiental en la zona del bosque protector Prosperina, por esta razón dentro de las restricciones se menciona que se debe evitar grandes movimientos de tierra. Adicionalmente, con el fin de aprovechar de mejor manera el recurso hídrico y evitando desperdicios, se deben eliminar las tuberías de riego que se conectan con el sistema de agua potable, y se deberá crear un sistema independiente para este tipo de uso, el cual utilice agua de otra fuente que no sea potable, pero cumpliendo con los requisitos mínimos establecidos por la normativa ecuatoriana.

### 2.4.4. Métrica de evaluación

Con base en las restricciones mencionadas en el apartado 2.3, se realizó la selección de la alternativa más apropiada para la optimización del sistema de red de agua potable de la ESPOL, utilizando la métrica de la matriz de Likert que se muestra en la Tabla 2.8. Para esto se consideraron los siguientes criterios:

1. Utilización del sistema de distribución existente
2. Buen uso del agua potable
3. Reducción en las pérdidas de agua
4. Aspectos económicos
5. Aspectos ambientales

Cada una de las alternativas serán evaluadas sobre un puntaje de 25 puntos, y se seleccionará la alternativa que tenga la mayor puntuación.

**Tabla 2.11. Modelo de evaluación de alternativas usando la matriz de Likert [López & Zambrano, 2021].**

<b>Totalmente favorable</b>	<b>Parcialmente favorable</b>	<b>Ni favorable ni desfavorable</b>	<b>Parcialmente desfavorable</b>	<b>Muy desfavorable</b>
5	4	3	2	1

**Alternativa 1: Implementación de un segundo tanque elevado alado del tanque existente, eliminación las conexiones de tuberías en la línea bombeo, reemplazo de tuberías y nuevo trazado en la red.**

Debido a que el tanque existente no es capaz de satisfacer la demanda de agua para la población futura, si se sigue haciendo un mal uso del agua potable, es importante la implementación de un nuevo tanque, el cual trabaje de manera paralela al tanque actual. Por otra parte, es importante realizar los cambios de tuberías en la red debido a la falta de mantenimiento y a que los diámetros son demasiado grandes, haciendo que exista sedimentación en el interior de las tuberías y se genere obstrucción, afectando a la calidad del agua y al buen funcionamiento del sistema. A continuación, se presenta la valoración de esta alternativa.

**Tabla 2.12. Evaluación de la alternativa 1 [López & Zambrano, 2021].**

Utilización del sistema existente	Buen uso del agua potable	Reducción de pérdidas	Aspectos económicos	Aspectos ambientales	Total
4	5	4	3	4	20

**Alternativa 2: Diseño de sistema de bombeo que tome agua del lago para el riego de áreas verdes, eliminación las conexiones de tuberías en la línea bombeo, reemplazo de tuberías y nuevo trazado en la red.**

La presente alternativa consiste en la implementación de un sistema de bombeo que use agua del lago, ya que de esta manera el tanque actual si logrará abastecer a la población del 2035. Este sistema de bombeo toma agua del lago de la zona de ingeniería para el riego de áreas verdes que actualmente están conectadas a la red de agua potable, sobre todo en la zona de la facultad de ciencias de la vida y admisiones. Debido a que las plantas solo necesitan agua con nutrientes, esta alternativa es muy optima ya que se soluciona el problema del mal uso de agua potable. A continuación, se muestra la valoración de la alternativa 2.

**Tabla 2.13. Evaluación de la alternativa 2 [López & Zambrano, 2021].**

Utilización del sistema existente	Buen uso del agua potable	Reducción de pérdidas	Aspectos económicos	Aspectos ambientales	Total
4	5	2	3	5	19

**Alternativa 3: Diseño de sistema de bombeo y tanque elevado que almacene agua del lago para el riego de áreas verdes, eliminación las conexiones de tuberías en la línea bombeo, reemplazo de tuberías y nuevo trazado en la red.**

Al igual que la alternativa número 2, esta alternativa usa el agua del lago de la zona de ingeniería para abastecer de aguas a las plantas de los sectores conectados al sistema de distribución de agua potable. La diferencia está en que se implementará un tanque elevado para que distribuya el agua por gravedad y no por bombeo. De esta manera se reducen los costos de energéticos del sistema de bombeo. A continuación, se muestra la valoración de la presente alternativa.

**Tabla 2.14. Evaluación de la alternativa 3 [López & Zambrano, 2021].**

Utilización del sistema existente	Buen uso del agua potable	Reducción de pérdidas	Aspectos económicos	Aspectos ambientales	Total
3	5	3	4	3	19

A continuación, se presenta un cuadro comparativo con los resultados de la evaluación de las alternativas presentadas.

**Tabla 2.15. Cuadro comparativo de los resultados de la evaluación de alternativas [López & Zambrano, 2021].**

Alternativa	Utilización del sistema existente	Buen uso del agua potable	Reducción de pérdidas	Aspectos económicos	Aspectos ambientales	Total
1	4	5	4	3	4	20
2	4	5	2	3	5	19
3	3	5	3	4	3	19

#### **2.4.5. Selección de la mejor alternativa**

Una vez realizada la evaluación de las alternativas de diseño para la optimización del sistema de distribución de agua potable de la ESPOL, se obtuvo que la alternativa con mayor puntuación es la alternativa 1. Sin embargo, no existe mucha diferencia entre alternativas, ya que en todos se recomienda que se realicen cambios en las tuberías de la red, para que aumenten las velocidades y reduzcan un poco las presiones. Por lo tanto, en el capítulo 3 se realizará el diseño de las tres alternativas,

con la finalidad de que el cliente pueda elegir en base a los costos de construcción y operación, la opción que más le favorezca.

# CAPÍTULO 3

## 3. DISEÑOS Y ESPECIFICACIONES

En la presente sección se propone tres alternativas de diseño:

1. Instalación de un nuevo reservorio o tanque elevado que trabaje de manera paralela con el tanque actual,
2. Clausurar todas las conexiones de tuberías que están destinadas para el riego de áreas verdes y cancha de fútbol en la zona de tecnologías y admisiones, e instalar un nuevo sistema de bombeo que satisfaga con esta necesidad.
3. Realizar un sistema de bombeo y tanque elevado que satisfaga con la demanda para riego en la zona de tecnologías y admisiones.

Adicionalmente, es importante mencionar que, en ambas soluciones, es imprescindible:

1. Desconectar las tuberías adicionales que actualmente están conectadas a la línea de impulsión, ya que esto hace que el sistema sea ineficiente al momento de funcionar.
2. Reemplazo de tuberías, para que el sistema cumpla con las velocidades adecuadas, ya que, de acuerdo con el análisis del sistema existente realizado en el capítulo anterior, la mayoría de las tuberías presentan velocidades demasiado bajas, debido a los grandes diámetros que hay en la red.

Ambas alternativas se describen de manera más detallada a continuación. Por otro lado, se van a comparar los costos de todas alternativas y queda a criterio de la ESPOL tomar decisiones en corto, mediano y largo plazo. Adicionalmente, en la sección de conclusiones y recomendaciones, se dan las respectivas recomendaciones para las nuevas instalaciones y el orden de intervención.

### **3.1. Diseño del sistema con nuevo tanque elevado**

#### **3.1.1. Volumen del nuevo tanque**

Tal como se mencionó en el capítulo 2, la capacidad del tanque elevado actual no satisface con la demanda futura considerando el caso poco técnico y sostenible de seguir utilizando agua potable para riego, agravado por los gastos asociados de no solo pagar el consumo de agua potable, para plantas que solo requieren agua con nutrientes que puede ser suministrada por los lagos, sino todos los gastos asociados para el bombeo hasta el reservorio. En este caso, se debería instalar un nuevo tanque que cubra la cantidad de agua faltante.

En el numeral 2.4.1, se indica que el volumen requerido agua almacenada, con la población de diseño de 24699 personas para el año 2035, considerando que se sigue usando agua potable en riego, es de 1360.24 m<sup>3</sup>, es decir, que hace falta un volumen de 360.24 m<sup>3</sup> para abastecer de agua a toda la población. Por lo tanto, se propone, en esta alternativa, la construcción de un nuevo tanque que trabaje simultáneamente con el tanque actual, de manera que cuando se realicen trabajos de mantenimiento, no se interrumpa el servicio del recurso hídrico en todo el campus.

Por lo tanto, se diseña un nuevo tanque elevado con un volumen de 400 m<sup>3</sup>, con la finalidad de satisfacer a la demanda poblacional y además, no interrumpir el servicio de agua potable durante el mantenimiento del tanque actual, y satisfacer al menos al 25% de la población, la cual es de 6175 personas. Es importante mencionar que, los mantenimientos al tanque existente deberán realizarse durante los fines de semana, ya que el nuevo tanque no logra cubrir o suministrar de agua a la población total futura, pero si puede satisfacer al menos a la población que se encuentra en el campus durante esos días.

#### **3.1.2. Tipo de tanque**

De acuerdo con (CEPIS, 2005), existen 3 formas muy comunes de diseñar los reservorios elevados, aprovechando de la mejor manera los materiales y costos de construcción. Los tres tipos de tanques se describen brevemente a continuación.

#### **a) Forma esférica.**

Posee ventajas como: menor cantidad de área de muros para un volumen determinado, todo el tanque está sometido a esfuerzos de tensión y compresión simple, por lo tanto, los espesores de los muros resultan menores a los de otro tipo de tanque. Sin embargo, la gran desventaja que tiene es el complejo proceso constructivo debido a su forma y esto conlleva a costos elevados para su construcción.

#### **b) Forma de paralelepípedo.**

Este tipo de tanque tiene la gran ventaja de ser muy fácil de construir y tener bajos costos del encofrado. Sin embargo, debido a su forma, los esfuerzos que se generan en los muros debido a las cargas laterales (empuje del agua), son mucho más grandes que los del tanque esférico, por lo tanto, esto da como resultado espesores más grandes en las paredes del tanque.

#### **c) Forma cilíndrica.**

Al igual que el tanque esférico, este tiene la ventaja de tener espesores de muros relativamente pequeños, debido a que se generan esfuerzos de tensión simple en las paredes del tanque. Por otro lado, tiene un costo elevado de encofrado debido a su forma.

El tipo de tanque a utilizar en el presente proyecto será el de forma cilíndrica, ya que se distribuyen de mejor manera los esfuerzos en las paredes del tanque, con lo cual, disminuye el espesor de los muros y a su vez el costo de los materiales de construcción.

### **3.1.3. Ubicación del tanque**

El nuevo tanque elevado estará ubicado al lado del tanque existente, con la finalidad de que trabajen de manera simultánea, además de que en dicha zona están las cotas más elevadas de todo el campus, con lo cual se tendrá presiones adecuadas en cada parte de la red de distribución. Las coordenadas donde estará ubicado nuevo tanque son: E 615,919.61; S 9'762,605.66, con una elevación de 109.40 m.s.n.m. En la siguiente imagen se presenta la ubicación propuesta para el nuevo tanque elevado.



Figura 3.1. Ubicación del nuevo tanque elevado [López & Zambrano, 2021].

### 3.1.4. Dimensiones y cotas tanque

Para el dimensionamiento del tanque, inicialmente se asumió que está ubicado a 15 metros del terreno natural, con la finalidad de tener presiones adecuadas a lo largo de toda la red. Adicionalmente, se usó un diámetro de 8.10 metros y se determinó la altura necesaria como se muestra a continuación.

Volumen de reserva: 400 m<sup>3</sup>.

$$V = \frac{\pi * D^2}{4} * h \quad (3.1)$$

Donde:

$V$ : es el volumen de agua, en [m<sup>3</sup>].

$D$ : es el diámetro interno del tanque, en [m].

$h$ : es la altura de agua dentro del tanque, en [m].

Mediante el despeje de la ecuación se determina la altura del tanque sin considerar el borde libre.

$$h = \frac{4V}{\pi D^2} \quad (3.2)$$

$$h = \frac{4 * (400)}{\pi * (8.10)^2}$$

$$h = 7.76 \text{ m}$$

Finalmente, se deja una altura de total del tanque de 10.3 m, considerando un borde libre de 80 cm y una altura de 1.15 m para la zona de sedimentos. Por otro lado, el nivel mínimo del agua es de 2.15 m a partir de la base del tanque, ya que en dicha cota se colocará la tubería de distribución del reservorio. Es importante mencionar que el diseño estructural del tanque está fuera del alcance de este proyecto, por lo que se asume un espesor de muros de 20 cm. Adicionalmente, la cota mínima de agua dentro del tanque es de 125.40 m.s.n.m. y la cota máxima es de 132.40 m.s.n.m., tal como se muestra en la siguiente Figura 3.2.

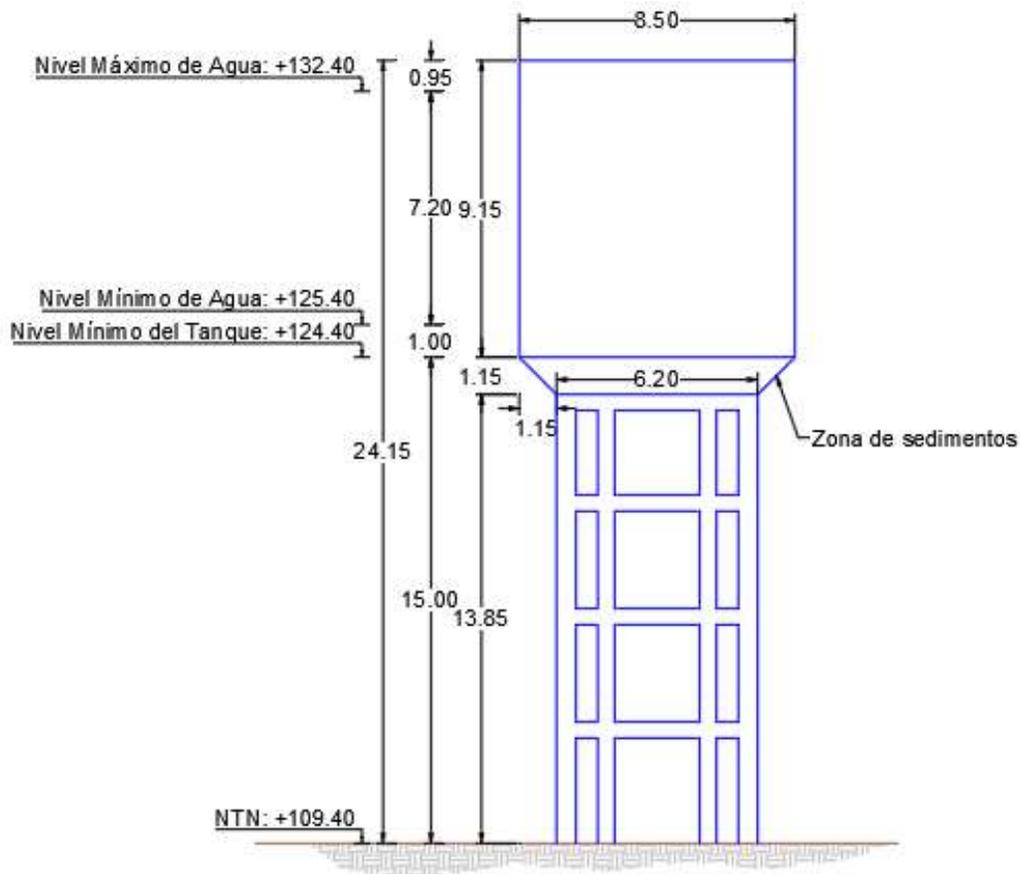
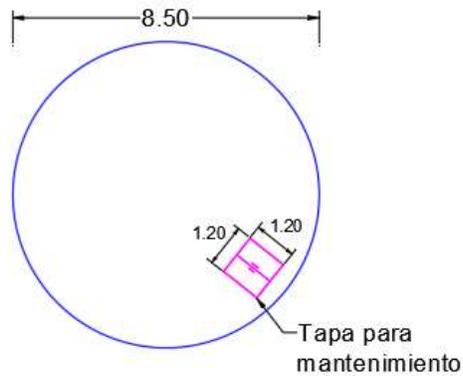


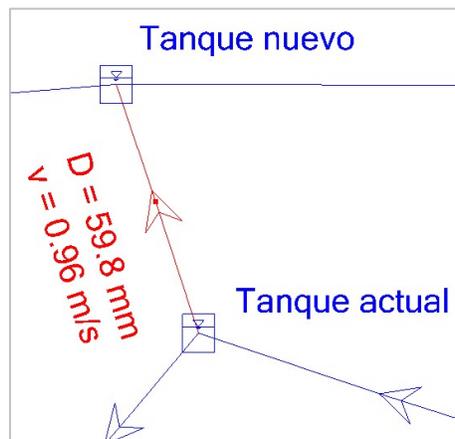
Figura 3.2. Vista en elevación del nuevo tanque elevado [López & Zambrano, 2021].



**Figura 3.3. Vista en planta del nuevo tanque elevado [López & Zambrano, 2021].**

### 3.1.5. Diámetros de tuberías y válvulas conectadas al tanque

El nuevo tanque elevado será abastecido de agua mediante una conexión a la tubería de impulsión y adicionalmente podrá ser llenado por el tanque actual por medio de una tubería (ver Figura 3.1), cuyo diámetro exterior es de  $\text{Ø}63 \text{ mm}$  y se lo determinó mediante la modelación del sistema en el software de redes de agua, de tal manera que la velocidad en la tubería sea adecuada. Se realizan las dos conexiones del llenado del tanque con la finalidad de que cuando se esté dando mantenimiento al tanque de  $1000 \text{ m}^3$ , el nuevo tanque pueda ser llenado sin ningún inconveniente. A continuación, se muestra el diámetro y velocidad de la tubería mencionada obtenido del programa.



**Figura 3.4. Velocidad en la tubería de conexión entre tanques elevados [López & Zambrano, 2021].**

Por otra parte, la tubería que sale del tanque nuevo tiene un diámetro exterior de  $\varnothing 50$  mm y un diámetro interior de  $\varnothing 47.4$  mm, y se conecta a la tubería más cercana la cual abastece de agua a la Facultad de Arte, Diseño y Comunicación Audiovisual (FADCOM), tal como se puede observar en la Figura 3.1. Además, se colocará una tubería de  $\varnothing 200$  mm la cual estará conectada de la línea de impulsión al tanque nuevo, con la finalidad de que cuando se estén realizando trabajos de mantenimiento al tanque actual, el nuevo reservorio pueda ser llenado directamente de la línea de bombeo.

Adicionalmente, se instalarán un juego de válvulas las cuales se muestran en la Figura 3.5 de color verde, de manera que, el nuevo tanque de  $400 \text{ m}^3$  pueda trabajar de manera simultánea e independiente del tanque existente de  $1000 \text{ m}^3$ .

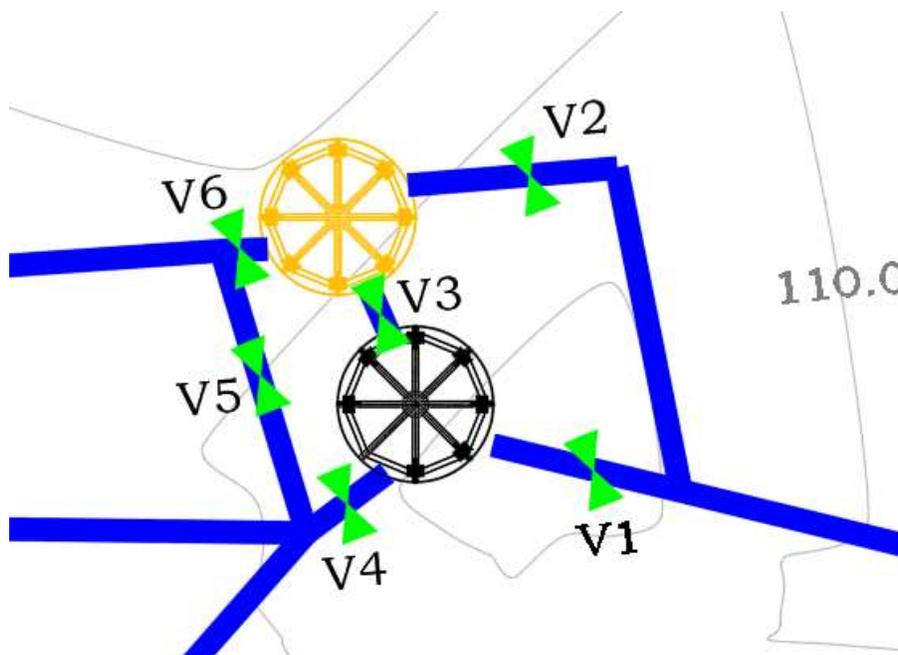


Figura 3.5. Juego de válvulas de corte en tubería de tanques elevados [López & Zambrano, 2021].

### 3.1.6. Conexión de la zona de admisiones y estación eléctrica a la red de distribución.

De acuerdo con la descripción realizada en el capítulo 2, la zona de admisiones no se encuentra conectada actualmente a la red de distribución, sino que está

directamente conectada a la línea de impulsión, ocasionando que el sistema sea ineficiente, ya que podrían originarse fugas debido a las conexiones y disminuye el tiempo de llenado del tanque actual. Por lo tanto, dentro de las soluciones para la optimización del sistema de distribución de la ESPOL, está la implementación de una tubería que conecte a la zona de admisiones con la línea matriz que parte de la reserva alta.

A continuación, se muestra el nuevo trazado de tubería que conecta a la zona de admisiones y estación eléctrica, con la red de distribución de agua potable, dicha tubería se representa con la línea roja.



**Figura 3.6. Nuevo trazado de tubería hacia la zona de admisiones y estación eléctrica [López & Zambrano, 2021].**

Una vez realizado el trazado, se determinó el diámetro de la tubería tomando en consideración que, para la condición futura con la población de diseño del año 2035, existan velocidades adecuadas con base en la normativa ecuatoriana usando un valor de 1.2 m/s, dicho procedimiento se lo muestra a continuación:

- Consumo en admisiones: 1.63 L/s
- Consumo en la estación eléctrica: 0.23L/s

El caudal de diseño para determinar el diámetro es la suma de los consumos anteriores, obteniendo un valor de 0.00186 m<sup>3</sup>/s.

$$Q = A * v \tag{3.3}$$

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} * v$$

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}} = \sqrt{\frac{4 * (0.00186)}{\pi * (1.2)}}$$

$$D = 0.044 \text{ m}$$

$$\mathbf{D = 44.42 \text{ mm}}$$

Es importante mencionar que el diámetro determinado es el diámetro interior de la tubería, por lo tanto, se coloca una tubería de PVC con un diámetro comercial de Ø50 mm, el cual tiene un diámetro interno de Ø47.40 mm. Seguido a esto se verifica la velocidad en la tubería con el diámetro colocado, haciendo uso de la siguiente fórmula.

$$v = \frac{4Q}{\pi D^2} \quad (3.4)$$

$$v = \frac{4 * (0.00186)}{\pi * (0.0474)^2}$$

$$\mathbf{v = 1.05 \text{ m/s}}$$

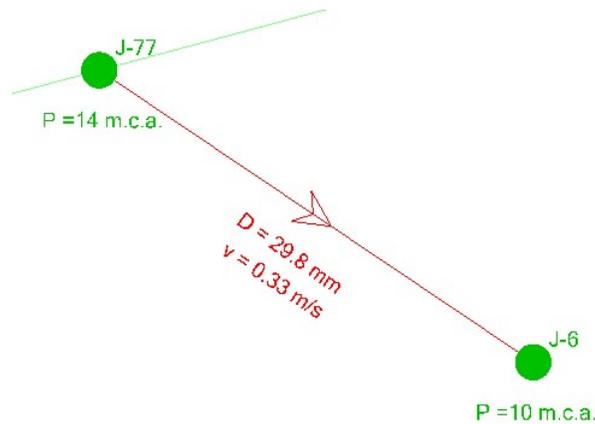
La velocidad real se encuentra entre 0.6 m/s y 1.2 m/s, por lo tanto, el diámetro colocado es el adecuado.

Adicionalmente, se realizó el modelado con el nuevo trazado con el fin de determinar si las presiones en los nodos (puntos de consumo) y las velocidades en el resto de tuberías son adecuados. Del modelo se obtuvo que la tubería que se conecta con la estación eléctrica la cual se muestra en la Figura 3.7, y que tiene un diámetro interno de Ø22.8 mm, no cumple con la velocidad y presión mínima que establece la norma (CPE INEN 5, 1992), por lo que se usó un diámetro mayor para aumentar la presión en el nodo de consumo.

La nueva tubería colocada tiene un diámetro interno de Ø29.8 mm y un diámetro externo de Ø32 mm, con lo cual la velocidad sigue estando por debajo de la velocidad mínima de 0.6 m/s, ya que tiene una velocidad de 0.33 m/s para la demanda futura, asumiendo que en un futuro se sigue utilizando agua de riego para áreas verdes. Sin embargo, la presión obtenida es de 10 m.c.a., lo cual está dentro del rango que recomienda la normativa ecuatoriana.



**Figura 3.7. Tubería AAPP hacia la estación eléctrica de la ESPOL [López & Zambrano, 2021].**



**Figura 3.8. Resultados de velocidad y presiones en la tubería de la zona de la estación eléctrica de la ESPOL [López & Zambrano, 2021].**

Debido a que la velocidad en la tubería es menor a  $0.6 \text{ m/s}$ , la tubería está propensa a sufrir de sedimentación, lo cual es un gran problema a medida que pasa el tiempo, ya que se reduce el diámetro de la tubería afectando a las presiones en los nodos de consumo. Por lo tanto, se debe realizar un mantenimiento constante de la misma para evitar dicho problema.

Finalmente, es importante mencionar que este nuevo trazado se debe realizar también en el caso donde el cliente decida clausurar las tuberías de riego, ya que esta solución optimiza la línea de impulsión, haciendo que el agua vaya directo al tanque y evitando posibles fugas por las conexiones adicionales.

### 3.1.7. Sectorización de la red actual

Con la finalidad de poder realizar trabajos de mantenimiento en las tuberías de la red de distribución de agua potable, sin que haya interrupciones del suministro de agua en la otras del campus Gustavo Galindo, se sectoriza la red mediante la colocación de válvulas de corte en las tuberías. Actualmente, en el sistema de distribución existen válvulas de corte, por lo que en el presente apartado se colocarán nuevas válvulas en los lugares que hagan falta y se reemplazarán las que se encuentran en mal estado.

A continuación, se muestran los tramos de tuberías de la red que serán intervenidos para la colocación de las válvulas de corte.

#### 1. Zona 5 (cerca de SEBIOCA):

Se reemplaza la válvula que está en mal estado y se coloca una nueva en la tubería que abastece de agua a la Facultad de Ciencias de la Vida (FCV). Ubicarse en los planos que se encuentran en la sección de anexos. En la siguiente imagen se muestran las nuevas válvulas de color verde.



a) Condición actual

b) Colocación de nuevas válvulas de corte

**Figura 3.9. Reemplazo y colocación de nueva válvula de corte en la zona 5 de la ESPOL [López & Zambrano, 2021].**

#### 2. Zona 5 (nueva tubería hacia admisiones):

Se coloca una válvula en la nueva tubería que abastece de agua hacia admisiones y la estación eléctrica. Ubicarse en los planos que se encuentran en la sección de anexos. En la siguiente imagen se muestra la nueva válvula de color verde.



**Figura 3.10. Colocación de nueva válvula de corte en la zona 5 de la ESPOL [López & Zambrano, 2021].**

### **3. Zona 1 (cerca de la estación eléctrica):**

Se coloca una válvula en la tubería que se dirige hacia admisiones y que se encuentra cercana a la estación eléctrica, con la finalidad de no interrumpir el servicio de agua cuando se estén realizando reparaciones en las tuberías de admisiones. Ubicarse en los planos que se encuentran en la sección de anexos. En la siguiente imagen se muestra la nueva válvula de color verde.



**Figura 3.11. Colocación de nueva válvula en la zona 1 de la ESPOL [López & Zambrano, 2021].**

#### 4. Zona 3 (FCV):

Se reemplaza la válvula que se encuentra en un estado regular y que se muestra con color magenta. Ubicarse en los planos que se encuentran en la sección de anexos. En la siguiente imagen se muestran la nueva válvula de color verde.



a) Condición actual

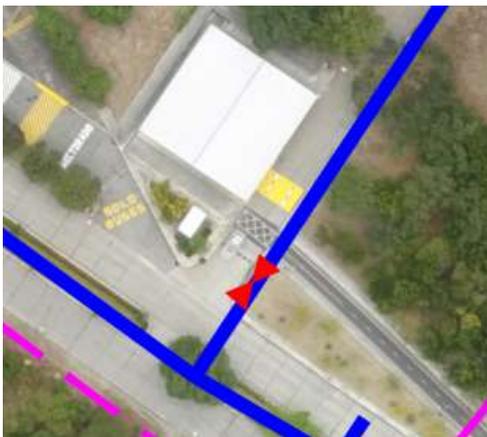


b) Colocación de nueva válvula de corte

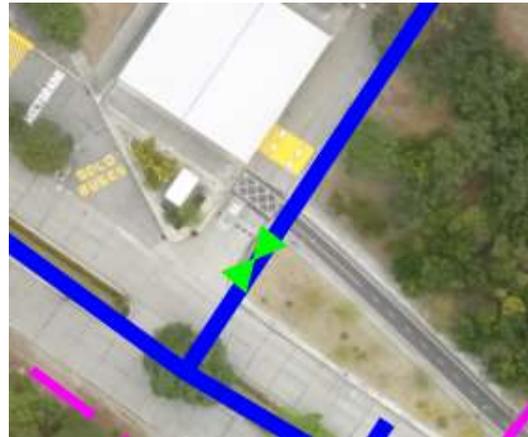
**Figura 3.12. Reemplazo de válvula de corte en la zona 3 de la ESPOL [López & Zambrano, 2021].**

#### 5. Zona 6 (tubería hacia la facultad de Marítima):

Se reemplaza la válvula que se encuentra en mal estado y que se muestra con color rojo. Ubicarse en los planos que se encuentran en la sección de anexos. En la siguiente imagen se muestran la nueva válvula de color verde.



a) Condición actual



b) Colocación de nueva válvula de corte

**Figura 3.13. Reemplazo de válvula de corte en la zona 6 de la ESPOL [López & Zambrano, 2021].**

## 6. Zona 5 (tuberías en la facultad de marítima):

Se reemplaza la válvula que se encuentra en mal estado en la zona de Marítima y que se muestra con color rojo. Ubicarse en los planos que se encuentran en la sección de anexos. En la siguiente imagen se muestran la nueva válvula de color verde.



a) Condición actual



b) Colocación de nueva válvula de corte

**Figura 3.14. Reemplazo de válvula en mal estado en la zona 5 en la facultad de Marítima [López & Zambrano, 2021].**

### 3.1.8. Reemplazo de tuberías en la red AAPP

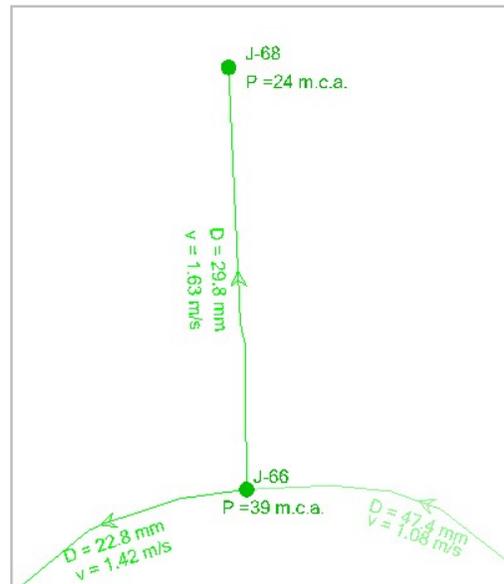
De acuerdo con lo mencionado en el capítulo 2, las velocidades en la mayoría de las tuberías de la red son muy bajas al valor mínimo de 0.6 m/s, por lo que se propone realizar cambios de diámetros para mejorar las velocidades sin afectar de manera significativa a las presiones.

Por otra parte, al realizar el modelado con la nueva conexión de tubería que reparte agua desde el tanque elevado hacia la zona de admisiones, y considerando las áreas de expansión poblacional para el año 2035 obtenidas de la tesis de (Cruz & Hidalgo, 2021), se tiene que una presión negativa en el nodo J-68 en la zona del coliseo nuevo, ubicado detrás del edificio de UBEP, como se muestra en la Figura 3.7, es decir que, no está llegando agua a la zona o la tubería no está trabajando a flujo lleno.



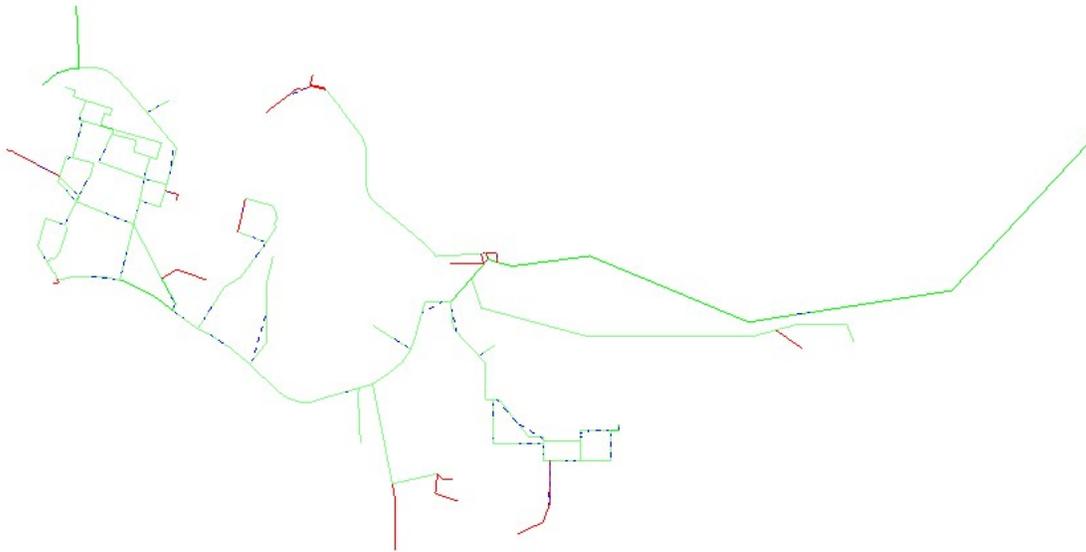
**Figura 3.15. Resultados de presiones y velocidades en las tuberías en la zona del coliseo nuevo [López & Zambrano, 2021].**

Se realiza un cambio de tubería en dicho tramo con la finalidad de aumentar la presión en el nodo N-68. Para esto se asume un diámetro comercial de  $\varnothing 32$  mm con un diámetro interior de  $\varnothing 29.8$  mm, con lo cual se obtuvo una velocidad de 1.63 m/s y una presión de 24 m.c.a., es decir que está dentro de los rangos establecidos por la norma.



**Figura 3.16. Resultados de presiones y velocidades con tubería de 32 mm en la zona del coliseo nuevo [López & Zambrano, 2021].**

Mediante el uso del programa de análisis de redes se determinó de manera rápida los diámetros requeridos en cada una de las tuberías para que las velocidades superen los 0.6 m/s, con lo cual se obtuvo que, la mayoría de las tuberías deben ser reemplazadas. A continuación, la siguiente imagen muestra las tuberías de color verde las cuales tienen velocidades entre 0.6 m/s y 2.5 m/s. Por otra parte, a pesar de que se disminuyeron los diámetros para mejorar las velocidades, en ciertos tramos de la red es imposible disminuirlos debido que las presiones resultarían muy bajas, por lo que se recomienda realizar trabajos de mantenimiento constante en dichos tramos que están representados de color en la siguiente imagen.



**Figura 3.17. Velocidades en el sistema con las nuevas tuberías [López & Zambrano, 2021].**

Todos los nuevos diámetros de tuberías colocados se muestran en los planos de la alternativa 1, los cuales se encuentran en la sección de anexos. A continuación, se presenta una tabla resumen de los cambios de diámetros que se deben realizar en las tuberías del sistema.

**Tabla 3.1. Diámetros adecuados para mejorar las velocidades del sistema de distribución de agua potable [López & Zambrano, 2021].**

<b>Nodo inicial</b>	<b>Nodo final</b>	<b>Diámetro existente [mm]</b>	<b>Diámetro adecuado [mm]</b>
Tanque actual	N-8	384.2	192.2
N-8	N-9	384.2	192.2
N-8	N-10	384.2	22.8
N-8	N-11	105.6	47.4
N-11	N-12	105.6	22.8
N-11	N-13	105.6	22.8
N-9	N-14	302.4	153.6
N-14	N-15	192.2	153.6
N-15	N-16	192.2	105.6
N-16	N-17	192.2	105.6
N-17	N-18	192.2	59.8
N-18	N-19	192.2	59.8
N-15	N-23	105.6	105.6
N-23	N-22	105.6	86.4
N-22	N-21	105.6	86.4
N-21	N-20	105.6	59.8
N-17	N-20	192.2	59.8
N-20	N-18	105.6	59.8
N-21	N-24	37.8	22.8
N-9	N-25	341	192.2
N-25	N-26	37.8	37.8
N-26	N-27	37.8	37.8
N-26	N-28	37.8	22.8
N-28	N-29	37.8	22.8
N-28	N-30	37.8	22.8
N-25	N-31	341	192.2
N-31	N-32	59.8	37.8
N-31	N-33	341	192.2
N-33	N-34	192.2	47.4
N-34	N-35	105.6	22.8
N-35	N-36	105.6	22.8
N-36	N-37	86.4	22.8
N-34	N-37	86.4	22.8
N-33	N-38	192.2	192.2
N-38	N-39	192.2	105.6
N-39	N-40	105.6	86.4
N-40	N-49	105.6	86.4
N-40	N-48	105.6	59.8
N-48	N-47	105.6	59.8
N-47	N-46	105.6	59.8

N-46	N-45	105.6	59.8
N-48	N-92	105.6	29.8
N-45	N-44	105.6	47.4
N-44	N-42	105.6	59.8
N-39	N-42	153.6	105.6
N-38	N-41	105.6	47.4
N-41	N-42	105.6	47.4
N-41	N-43	47.4	22.8
N-42	N-61	105.6	105.6
N-61	N-62	105.6	59.8
N-61	N-60	105.6	105.6
N-62	N-63	86.4	47.4
N-63	N-64	86.4	47.4
N-60	N-64	86.4	59.8
N-63	N-93	86.4	22.8
N-60	N-55	86.4	47.4
N-60	N-59	86.4	59.8
N-55	N-56	105.6	37.8
N-59	N-56	105.6	37.8
N-56	N-57	105.6	37.8
N-59	N-58	105.6	37.8
N-57	N-58	105.6	37.8
N-44	N-54	105.6	37.8
N-44	N-50	105.6	47.4
N-54	N-50	105.6	37.8
N-50	N-51	105.6	22.8
N-50	N-52	105.6	47.4
N-54	N-53	105.6	37.8
N-52	N-53	105.6	37.8
N-52	N-70	105.6	29.8
N-57	N-69	105.6	37.8
N-69	N-70	105.6	29.8
N-70	N-71	105.6	29.8
N-69	N-72	105.6	29.8
N-72	N-71	105.6	29.8
N-71	N-73	105.6	22.8
N-64	N-65	59.8	59.8
N-65	N-66	47.4	47.4
N-66	N-67	22.8	22.8
N-66	N-68	22.8	29.8

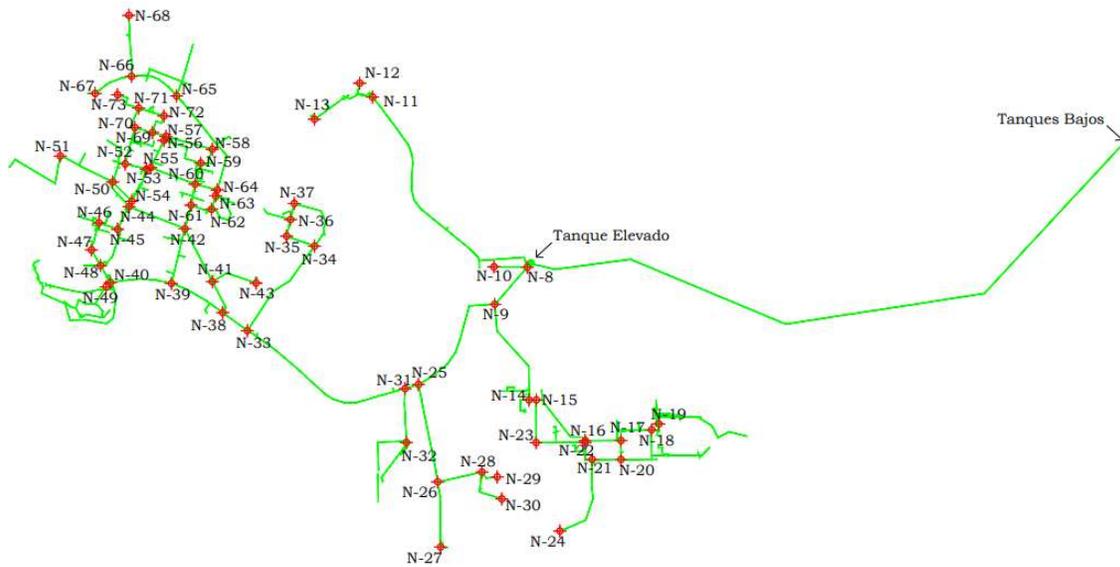


Figura 3.18. Ubicación de nodos en la red [López & Zambrano, 2021].

### 3.2. Diseño del sistema de riego con agua de lago

Como se indicó en el capítulo 2, numeral 2.1.5, actualmente se tiene un problema de uso ineficiente del agua potable dentro del campus, principalmente usando agua potable para áreas de riego. Lo evidenciado en los planos recogidos y en la inspección, señalan que actualmente se utiliza agua potable para fines de riego en las zonas de la Facultad de Ciencias de la Vida y Admisiones. Por tanto, es necesario clausurar de forma definitiva las tuberías de agua potable que se utilicen para riego, y diseñar un sistema exclusivo de riego con el uso del agua del lago. Se proponen dos alternativas a nivel de prefactibilidad y prediseño principales para la esquemmatización del sistema con demanda futura.

#### 3.2.1. Diseño mediante tanque elevado

Mediante recorridos de campo e inspección, fueron estimadas las superficies de riego abastecidas mediante agua potable. La repartición de las áreas de riego y la asignación de una dotación para riego de  $5 \text{ l/m}^2 \cdot \text{día}$ , valor medio recomendado por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2011), Tabla 16.2, se ocupan para determinar la demanda asignada al riego suministrado mediante agua potable, y se presenta en la Tabla 3.2:

**Tabla 3.2. Área y demanda total estimada por riego [López & Zambrano, 2021].**

Zona	Nodo	área riego [m2]	Consumo de riego [L/s]
FCV	N-9	21906.21	1.27
	N-14	981.44	0.06
	N-17	1645.92	0.10
	N-20	6627.29	0.38
	N-21	33766.02	1.95
	N-23	2023.45	0.12
Zona bosque a estación de bicicletas	N-31	2231.26	0.13
	N-32	858.04	0.05
Áreas de ingenierías	N-67	6133.07	0.35
Admisiones	N-5	1382.24	0.08

Actualmente, las áreas de la zona del bosque y el área de ingenierías son abastecidas mediante agua del lago, descontándose estas áreas del análisis, para llegar a los siguientes valores de área y consumo de riego:

**Tabla 3.3. Área y demanda estimada por riego abastecida por agua potable [López & Zambrano, 2021].**

Zona	Nodo	área riego [m2]	Consumo de riego [L/s]
FCV	N-9	21906.21	1.27
	N-14	981.44	0.06
	N-17	1645.92	0.10
	N-20	6627.29	0.38
	N-21	33766.02	1.95
	N-23	2023.45	0.12
Admisiones	N-5	1382.24	0.08
<b>Total</b>		<b>68332.57</b>	<b>3.96</b>

### 3.2.2. Volumen del tanque elevado para agua de riego desde el lago

Se considera para la determinación del volumen del tanque elevado las áreas pertenecientes a la zona de FCV y Admisiones, que suman una demanda de 3.96 l/s:

a) Caudal medio diario:

$$Q_{md} = 3.96 \frac{L}{s} * 86400 \frac{s}{día} * 0.001 \frac{m^3}{L}$$

$$Q_{md} = 342.14 m^3 / día$$

Caudal que, por su naturaleza de riego, es usado totalmente en el riego por cada día. El tanque, para contar con una reserva de un día, debe entonces tener el volumen de:

$$V_T = 342.14 \text{ m}^3$$

Es importante precisar que el caudal obtenido al convertir la demanda del sistema en m<sup>3</sup>/día, se analiza la demanda de la bomba como si esta fuera a operar durante las 24 horas. Asumiendo un tiempo de bombeo de 8 horas/día (la tercera parte de un día), valor óptimo para un buen funcionamiento y vida útil de la bomba, el caudal que debe aportar la bomba es:

$$Q_b = 3.96 \frac{L}{s} * 3 = 11.8 \frac{L}{s}$$

Siendo este el caudal de diseño para la bomba utilizado en los cálculos posteriores.

### 3.2.3. Ubicación del tanque

El tanque es colocado en zonas altas dentro del campus, para aprovechar en la mayor medida la energía potencial brindada por la altura. Las coordenadas del tanque para riego son: E615,947.95; S9'762, 527.94, con una elevación de 101.61 m.s.n.m.

### 3.2.4. Dimensiones y cotas del tanque

Para las dimensiones del tanque, se desarrollará de forma cilíndrica, asumiendo un diámetro de 7.6 metros y determinando la altura efectiva necesaria respecto del volumen encontrado:

Volumen de reserva: 342.14 m<sup>3</sup>.

$$V = \frac{\pi * D^2}{4} * h \quad (3.1)$$

Donde:

$V$ : es el volumen de agua, en [m<sup>3</sup>].

$D$ : es el diámetro interno del tanque, en [m].

$h$ : es la altura de agua dentro del tanque, en [m].

Mediante el despeje de la ecuación se determina la altura del tanque sin considerar el borde libre.

$$h = \frac{4V}{\pi D^2} \quad (3.2)$$

$$h = \frac{4 * (342.14)}{\pi * (7.6)^2}$$

$$\mathbf{h = 7.54 m}$$

Considerando el entero superior, 8 m como altura efectiva, y proporcionando 0.90 m de borde libre, además de establecerse 1 m como cota mínima del agua en el tanque elevado, se obtiene una altura total de 9.90 m, con lo cual, las cotas mínimas y máximas del nivel de agua son: 113.61 m.s.n.m. y 121.61 m.s.n.m. respectivamente, siendo estas suficientes para abastecer de 5 m.c.a al punto más elevado del sistema, incluidas las pérdidas, como se muestra:

$$h_f = 10.67 * \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.852} * \frac{L}{D^{4.87}}$$

$$h_f = 10.67 * \left(\frac{0.00326}{150}\right)^{1.852} * \frac{726}{0.0598^{4.87}} = 16.26 m$$

$$P_{max} = 120.61 - 92.54 = 28.07 m$$

$$P_{min} = 112.61 - 92.54 = 20.07 m$$

$$H_{tanque} = h_s + h_f$$

Con:

$H_{tanque}$ : Presión en la cota mínima del tanque, en [m].

$h_s$ : Altura o presión mínima de servicio, en [m].

$h_f$ : Pérdidas en el sistema, en [m].

$$H_{tanque} = 5 + 16.26 = 20.26 m$$

Con una muy ligera diferencia de presión. Las cotas y niveles del tanque se muestran en la siguiente figura:

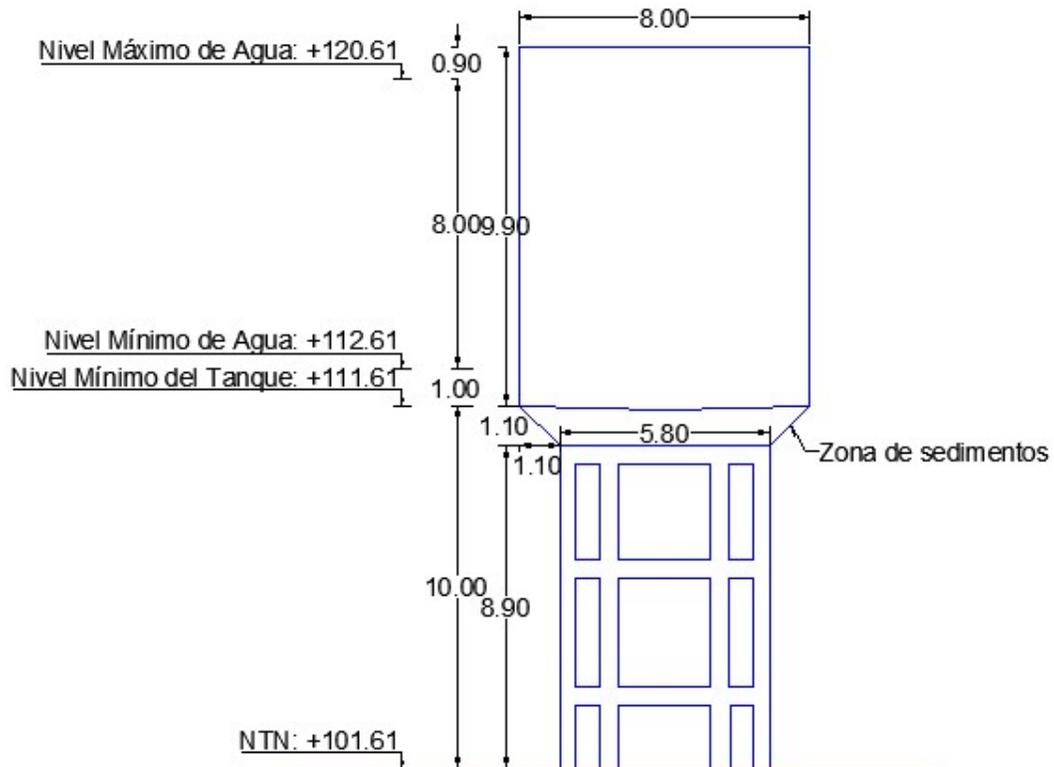


Figura 3.19. Vista en elevación del tanque elevado para riego [López & Zambrano, 2021].

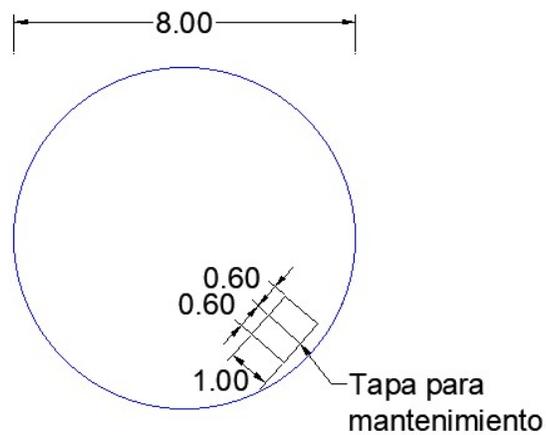
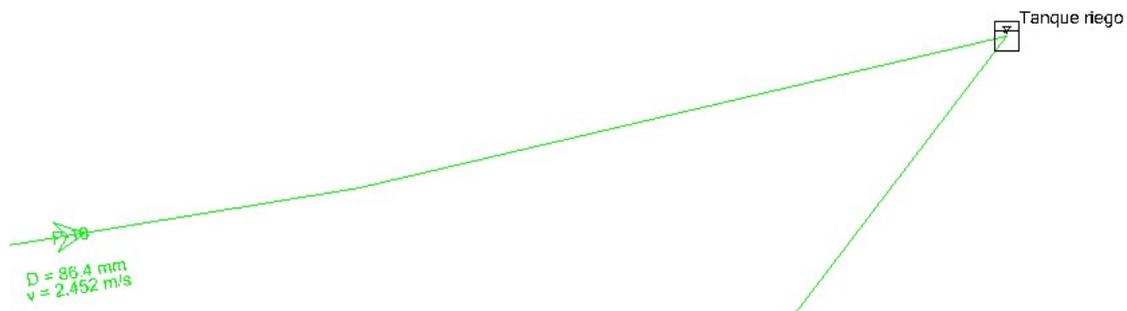


Figura 3.20. Vista en planta del tanque elevado para riego [López & Zambrano, 2021].

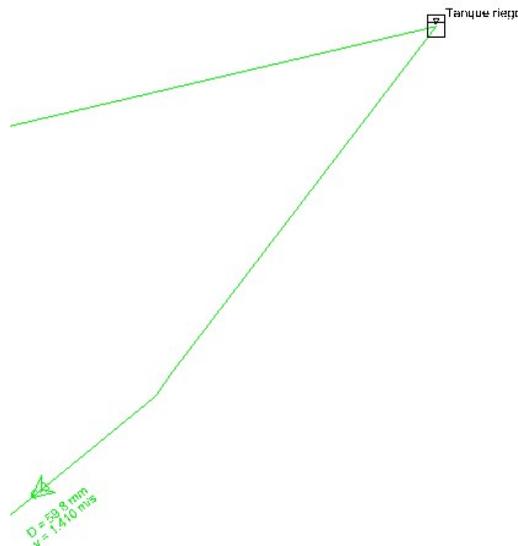
### 3.2.5. Diámetros de tuberías y válvulas conectadas al tanque

El tanque propuesto será abastecido a través de una tubería conectada al equipo de bombeo por medio de la línea de impulsión, con una tubería cuyo diámetro interior es de  $\text{Ø}86.4$  mm y un diámetro comercial de  $\text{Ø}90$  mm, determinado con la ayuda de un software de análisis hidráulico, con el fin de obtener una velocidad dentro de la tubería admisible de 2.452, mostrada a continuación:



**Figura 3.21. Velocidad de la tubería conectada al tanque elevado para riego [López & Zambrano, 2021].**

Por el contrario, la tubería de distribución conectada al tanque tiene un diámetro interno de  $\text{Ø}59.8$  mm y uno exterior de  $\text{Ø}63$  mm, con una velocidad en el interior de esta de 1.41 m/s, mostrada en la siguiente figura:



**Figura 3.22. Velocidad de la tubería conectada al tanque elevado para riego [López & Zambrano, 2021].**

### 3.2.6. Reemplazo de tuberías en la red de riego para bomba y tanque

De acuerdo con lo mencionado en el capítulo 2, las velocidades en la mayoría de las tuberías de la red de riego son muy bajas al valor mínimo de 0.5 m/s, recomendado para riego, por lo que, para cada una de las alternativas, se propone realizar cambios de diámetros para mejorar las velocidades consiguiendo además presiones más adecuadas, como se muestra a continuación:

**Tabla 3.4. Diámetros adecuados para optimizar las condiciones del sistema de distribución de agua de riego para bomba y tanque [López & Zambrano, 2021].**

Nodo inicial	Nodo final	Diámetro existente [mm]	Diámetro adecuado [mm]
J-2	J-3	47.4	22.8
J-2	J-4	47.4	22.8
J-2	J-5	47.4	59.8
J-5	J-6	47.4	59.8
J-6	J-7	47.4	22.8
J-7	J-8	47.4	22.8

### 3.2.7. Selección del sistema de bombeo

Para la selección de la bomba de impulsión desde el lago hasta el tanque elevado, se deben determinar las pérdidas debido a la diferencia de alturas, conocido como la altura estática y las pérdidas por fricción en la tubería, cuya suma constituye la carga dinámica total, o TDH, por sus siglas en inglés. Al hacer uso de un tanque elevado, la carga de bombeo a considerar será hasta calculada hasta ese punto, pues a partir de eso, el sistema trabaja a gravedad, las diferencias generadas con un análisis detallado se calculan mediante el software de análisis.

$$H_T = H_{ST} + h_f \quad (3.3)$$

Donde:

$H_T$ : Carga total de bombeo, en [m].

$H_{ST}$ : Altura estática (diferencia de altura entre eje de la bomba y cota máxima del tanque elevado, en [m].

$h_f$ : Pérdidas por fricción, en [m].

Elevación de la bomba: +76 m.s.n.m.

Cota máxima tanque elevado: +122.6 m.s.n.m.

$$H_{ST} = 46.6 \text{ m}$$

Las pérdidas por fricción se calculan mediante la fórmula:

$$h_f = 10.67 * \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.852} * \frac{L}{D^{4.87}} \quad (3.4)$$

Donde:

$h_f$ : Pérdidas por fricción en tuberías, en [m].

$Q$ : Caudal, en [m<sup>3</sup>/s].

$C$ : Coeficiente de fricción por material de Hazen-Williams, adimensional.

$L$ : Longitud de tubería, en [m].

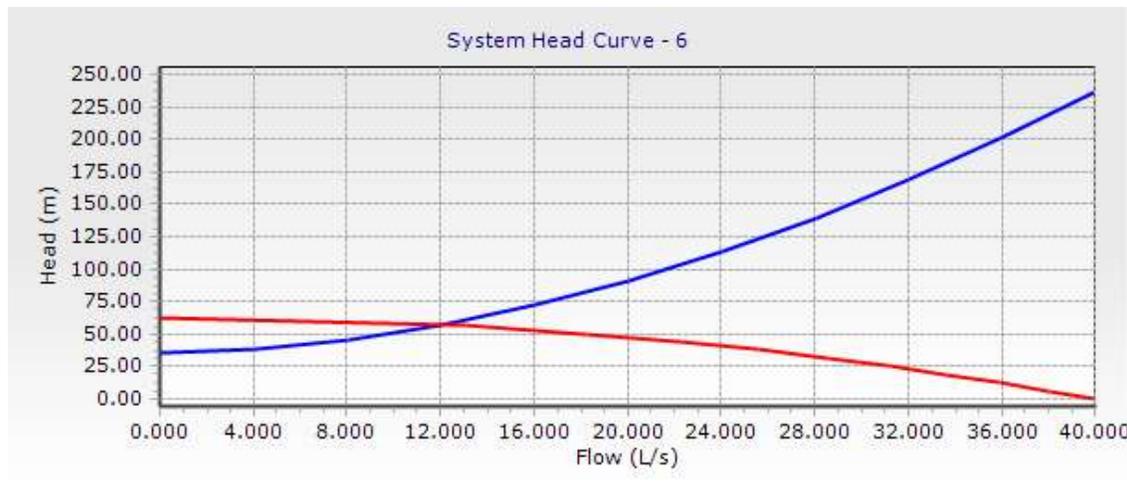
$D$ : Diámetro interno de la tubería, en [m].

$$h_f = 10.67 * \left(\frac{0.0118}{150}\right)^{1.852} * \frac{365}{0.0894^{4.87}} = 12.5 \text{ m}$$

Entonces:

$$H_T = H_{ST} + h_f = 46.6 + 12.5 = 59.1 \text{ m}$$

Con este valor, se tiene una aproximación a las pérdidas que ocurrirán en el sistema, y con el sistema modelado, se visualiza la curva resistente del sistema, para la cual, la curva de funcionamiento de la bomba debe intersecar en el caudal de diseño o en algún punto ligeramente mayor.



**Figura 3.23. Curva del sistema (azul) y curva de la bomba (rojo) para el riego con tanque elevado [López & Zambrano, 2021].**

Encontrándose la curva de la bomba con la curva resistente en un caudal de bombeo de 12.174 l/s.

Para las condiciones analizadas, se deben ejecutar cambios de tuberías principalmente en la zona de la FCV de 50 mm a 63 mm, para obtener pérdidas menores de cabezal y presiones permisibles.

### 3.2.8. Configuración y tiempo de bombeo

Existen dos configuraciones principales para los sistemas de bombeo:

#### a) En serie

En los equipos configurados en serie, donde el caudal va sufriendo un sucesivo aumento en la altura, estando distantes, y de presión, cuando se encuentran conectadas inmediatamente una después de otra. Esta configuración se utiliza principalmente para cuando una bomba funcionando a cierto caudal, no aporta la altura cabezal necesaria para alcanzar a la curva resistente del sistema. Para una bomba cuya ecuación característica de funcionamiento es:

$$H = A + B * Q + C * Q^2$$

Con:

$H$ : Altura de carga, en [m].

$Q$ : Caudal de bombeo, en [m<sup>3</sup>/s].

Para un número de bombas iguales acopladas en serie,  $N$ , la ecuación característica resultante, será:

$$H = N * (A + B * Q + C * Q^2)$$

Lo que representa físicamente que, para el caudal aportado, la altura de carga se incrementa de forma proporcional al número de bombas conectadas en serie.

### **b) En paralelo**

En los equipos conectados en paralelo, para cada altura operacional, se aporta un incremento del caudal aportado al sistema. Se usan principalmente en instalaciones donde se prevén cambios significativos de caudal, como áreas de riego o ciudades, donde conseguida una determinada altura de carga, las bombas se reparten el caudal aportado. Para una bomba cuya ecuación característica de funcionamiento es:

$$H = A + B * Q + C * Q^2$$

Con:

$H$ : Altura de carga, en [m].

$Q$ : Caudal de bombeo, en [m<sup>3</sup>/s].

Para un número de bombas iguales acopladas en serie,  $N$ , la ecuación característica resultante, será:

$$H = A + \left(\frac{B}{N}\right) * Q + \left(\frac{C}{N^2}\right) * Q^2$$

Lo cual representa, de forma física, que, para la altura de carga operacional de un sistema, el caudal distribuido se incrementará de forma proporcional al número de bombas conectadas en paralelo.

De acuerdo con la publicación de CEPIS (CEPIS, 2005), las estaciones de bombeo deben operar en un período de 8 a 12 horas diarias, y el tiempo de bombeo según el tipo de abastecimiento, al incluir un tanque elevado en el sistema es el siguiente:

$$Q_b = Q_{max.d} * \frac{24}{N} \quad (3.5)$$

Donde:

$Q_b$ : Caudal bombeado, en [L/s].

$Q_{max.d}$ : Caudal máximo diario, en [L/s].

$N$ : Número de horas de bombeo, en [h].

Con los datos obtenidos, se obtiene:

$$Q_b = Q_{max.d} * \frac{24}{N}$$

$$12.174 = 3.96 * \frac{24}{N}$$

$$N = 3.96 * \frac{24}{12.174} = 7.81 \text{ h}$$

Estando este valor dentro del rango adecuado de operación para un debido mantenimiento.

### 3.2.9. Potencia de la bomba

La bomba estará colocada en el nivel inferior del lago, de forma sumergible, por tanto, la carga dinámica total o altura manométrica total,  $H_b$ , se determina con la siguiente fórmula:

$$H_b = h_i + \Delta h_i \quad (3.6)$$

Donde:

$h_i$ : Altura de impulsión, o sea, la altura del nivel superior con relación al eje de la bomba, en [m].

$\Delta h_i$ : Pérdida de carga en la tubería de impulsión, en [m].

La cota del lago se considera en 80 m.s.n.m., y se modela la bomba a una profundidad de 4 metros, entonces:

$$h_i = 4 \text{ m}$$

La pérdida por carga en la tubería de impulsión se determinó anteriormente, como aquella que va desde la bomba al tanque elevado:

$$h_f = 10.67 * \left(\frac{0.0118}{150}\right)^{1.852} * \frac{365}{0.0894^{4.87}} = 12.5 \text{ m}$$

Entonces,

$$H_b = 4 + 12.5 = 16.5 \text{ m}$$

Con este dato, se procede a calcular la potencia de la bomba:

$$P_b = \frac{Q_b H_b}{\eta} \quad (3.7)$$

Donde:

$P_b$ : Potencia de la bomba y motor, en [HP].

$Q_b$ : Caudal de bombeo, en [L/s].

$H_b$ : Altura manométrica total, en [m].

$\eta$ : Eficiencia del sistema de bombeo.

Se recomienda seleccionar un equipo de bombeo cuya eficiencia sea mayor al 70%.

Como medida cautelar, se considera una eficiencia del 75%.

$$P_b = \frac{12.174 * 16.5}{76 * 0.75} = 3.52 \text{ HP}$$

Considerando el caso con una eficiencia del 95%:

$$P_b = \frac{12.174 * 16.5}{76 * 0.95} = 2.78 \text{ HP}$$

Con lo cual el sistema puede operar con una bomba comercial de 3.5 HP de potencia.

### 3.2.10. Resultados del análisis del sistema por tanque

De acuerdo con el uso de la red de distribución empleada, se deben encontrar documentos o publicaciones que permitan establecer rangos de velocidades y presiones adecuados para el sistema. Según el Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego (Carrazón, 2007), tabla 29 (véase Figura 3.21), los rangos admisibles de velocidades para tuberías de riego de PVC, HG o PE normalizado es

de 0.5 m/s a 5.0 m/s, mientras que las presiones, al ser utilizadas para riego superficial, pueden establecerse en rangos admisibles de 3 m.c.a a 50 m.c.a.

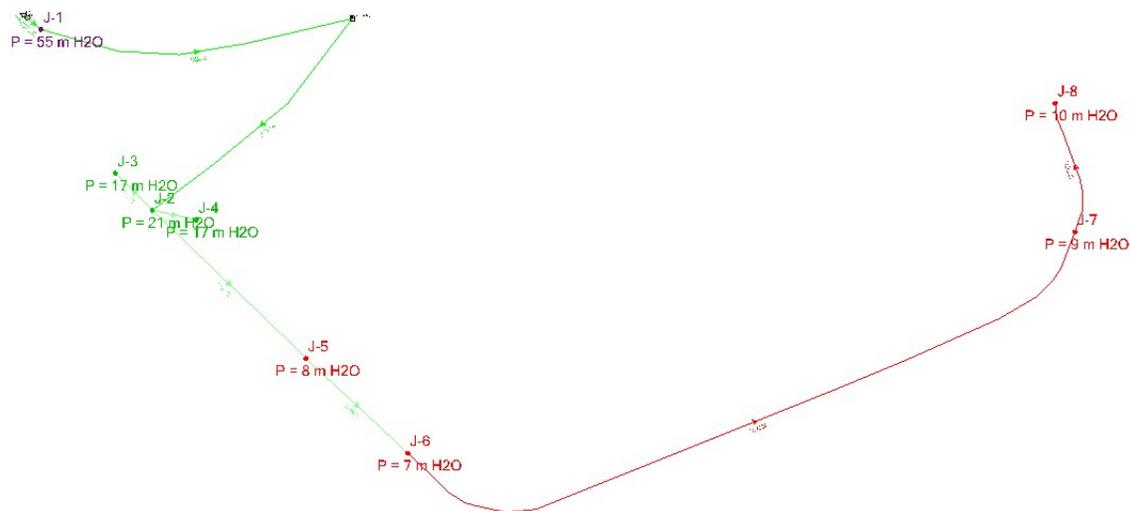
<b>Tabla 29 Rangos de velocidad en tuberías y mangueras.</b>		
Material de la tubería o manguera	Rango deseable (m/s)	Rango en casos extremos (m/s)
Poliétileno no normalizado	0.5 – 0.7	0.3 – 0.7
PVC, HG o PE normalizado	0.5 – 3.0	0.5 – 5.0

**Figura 3.24. Rangos de velocidad en tuberías y mangueras [Obtenido de: (Carrazón, 2007)].**

Los diámetros de tuberías fueron seleccionados de modo que, según el análisis hidráulico, en su mayor medida provean a cada punto de consumo una presión adecuada y en cada tubería una velocidad admisible. A continuación, se presentan las tablas y gráficos para las velocidades y presiones en el sistema:

**Tabla 3.5. Presiones en los nodos de consumo para el sistema de riego por tanque elevado [López & Zambrano, 2021].**

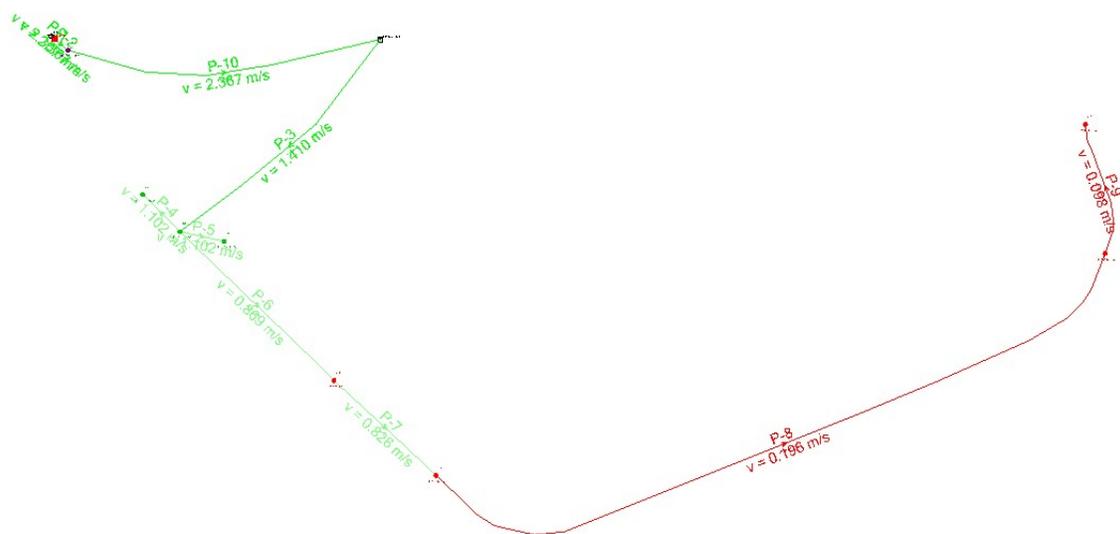
Nodo	Elevación [m]	Demanda [L/s]	Presión [m.c.a]
J-1	79.84	0	51
J-2	83.13	0.62	21
J-3	83.76	0.45	17
J-4	84.01	0.45	17
J-5	92.79	0.12	8
J-6	92.54	2.24	7
J-7	88.34	0.04	9
J-8	87.24	0.04	10



**Figura 3.25. Presiones en nodos para el sistema de riego por tanque elevado [López & Zambrano, 2021].**

**Tabla 3.6. Velocidades en tuberías para el sistema de riego por tanque elevado [López & Zambrano, 2021].**

Tubería	Nodo inicio	Nodo fin	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Velocidad [m/s]
P-1	Lago	PMP-1	5	86.4	2.452
P-2	PMP-1	J-1	20	86.4	2.452
P-3	Tanque riego	J-2	321	59.8	1.41
P-4	J-2	J-3	60	22.8	1.102
P-5	J-2	J-4	52	22.8	1.102
P-6	J-2	J-5	245	59.8	0.869
P-7	J-5	J-6	160	59.8	0.826
P-8	J-6	J-7	883	22.8	0.196
P-9	J-7	J-8	154	22.8	0.098
P-10	J-1	Tanque riego	366	86.4	2.452



**Figura 3.26. Velocidades en tuberías para el sistema de riego por tanque elevado [López & Zambrano, 2021].**

La presión de 51 m.c.a en el primer nodo se asemeja a la presión en la salida de la bomba, la cual necesita tener un cabezal suficiente para movilizar el caudal a la máxima cota del tanque elevado, y esta se encuentra mínimamente por encima del rango recomendado de presiones para las tuberías: de 5 m.c.a a 50 m.c.a, por lo cual, será necesaria la evaluación periódica de esa parte de la tubería para asegurar su buen funcionamiento. Las presiones en los siguientes nodos de consumo resultan ligeramente inferiores a los valores permitidos, pero por las características de la función que tendrá el agua suministrada, la cual consiste en regar las superficies de áreas verdes, es posible tomarlas en consideración para el diseño.

El sistema presentó una velocidad de 2.367 m/s en la tubería de impulsión, un valor mayor al óptimo, aunque no por encima del rango sugerido; por lo que se acepta. La velocidad en la tubería que va desde la Facultad de Ciencias de la Vida hasta Admisiones, debido a su gran longitud y a las condiciones de elevación del terreno, presentaron bajos valores, a pesar de que fueron usados diámetros pequeños de tuberías, por lo que serán propensas a presentar sedimentación, lo cual puede ocasionar pérdidas de la sección interna de la tubería, y debido a esto, se debe realizar un mantenimiento periódico y constante a fin de evitar el problema.

### 3.2.11. Diseño mediante bomba

Otra situación puede suceder en el caso de prescindir de un tanque elevado, donde se procederá a determinar la carga de bombeo requerida para una bomba a fin de que su operación provea de caudal a todos los puntos de la red. Para ello, se deben analizar las pérdidas de cabezal en cada punto de descarga, considerando el caudal y la longitud acumuladas, como sigue:

**J-3:**

$$H_{ST} = 7.76 \text{ m}$$

$$h_f = 10.67 * \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.852} * \frac{L}{D^{4.87}}$$

$$h_f = 10.67 * \left(\frac{0.00135}{150}\right)^{1.852} * \frac{208}{0.0598^{4.87}} = 0.91 \text{ m}$$

$$H_T = H_{ST} + h_f = 7.76 + 0.91 = 8.67 \text{ m}$$

**J-2:**

$$H_{ST} = 7.13 \text{ m}$$

$$h_f = 10.67 * \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.852} * \frac{L}{D^{4.87}}$$

$$h_f = 10.67 * \left(\frac{0.00321}{150}\right)^{1.852} * \frac{268}{0.0598^{4.87}} = 5.83 \text{ m}$$

$$H_T = H_{ST} + h_f = 7.13 + 5.83 = 12.96 \text{ m}$$

**J-4:**

$$H_{ST} = 8.01 \text{ m}$$

$$h_f = 10.67 * \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.852} * \frac{L}{D^{4.87}}$$

$$h_f = 10.67 * \left(\frac{0.00456}{150}\right)^{1.852} * \frac{320}{0.0598^{4.87}} = 13.34 \text{ m}$$

$$H_T = H_{ST} + h_f = 8.01 + 13.34 = 21.35 \text{ m}$$

**J-5:**

$$H_{ST} = 17.33 \text{ m}$$

$$h_f = 10.67 * \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.852} * \frac{L}{D^{4.87}}$$

$$h_f = 10.67 * \left(\frac{0.00492}{150}\right)^{1.852} * \frac{565}{0.0598^{4.87}} = 27.12 \text{ m}$$

$$H_T = H_{ST} + h_f = 17.33 + 27.12 = 44.45 \text{ m}$$

**J-6:**

$$H_{ST} = 17.54 \text{ m}$$

$$h_f = 10.67 * \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.852} * \frac{L}{D^{4.87}}$$

$$h_f = 10.67 * \left(\frac{0.01164}{150}\right)^{1.852} * \frac{725}{0.0598^{4.87}} = 171.46 \text{ m}$$

$$H_T = H_{ST} + h_f = 17.54 + 171.46 = 188.99 \text{ m}$$

**J-7:**

$$H_{ST} = 6.76 \text{ m}$$

$$h_f = 10.67 * \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.852} * \frac{L}{D^{4.87}}$$

$$h_f = 10.67 * \left(\frac{0.01176}{150}\right)^{1.852} * \frac{1608}{0.0598^{4.87}} = 387.57 \text{ m}$$

$$H_T = H_{ST} + h_f = 6.76 + 387.57 = 394.33 \text{ m}$$

**J-8:**

$$H_{ST} = 11.24 \text{ m}$$

$$h_f = 10.67 * \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.852} * \frac{L}{D^{4.87}}$$

$$h_f = 10.67 * \left(\frac{0.01188}{150}\right)^{1.852} * \frac{1762}{0.0598^{4.87}} = 432.75 \text{ m}$$

$$H_T = H_{ST} + h_f = 11.24 + 432.75 = 443.99 \text{ m}$$

Este espectro de datos se coloca en la gráfica de Altura vs Caudal, y se debe seleccionar una bomba cuya curva característica esté por encima de los valores de altura y caudal máximos, a una altura correspondiente a la presión mínima de servicio, así:

$$H_{sf} = h_s + H_T$$

Con:

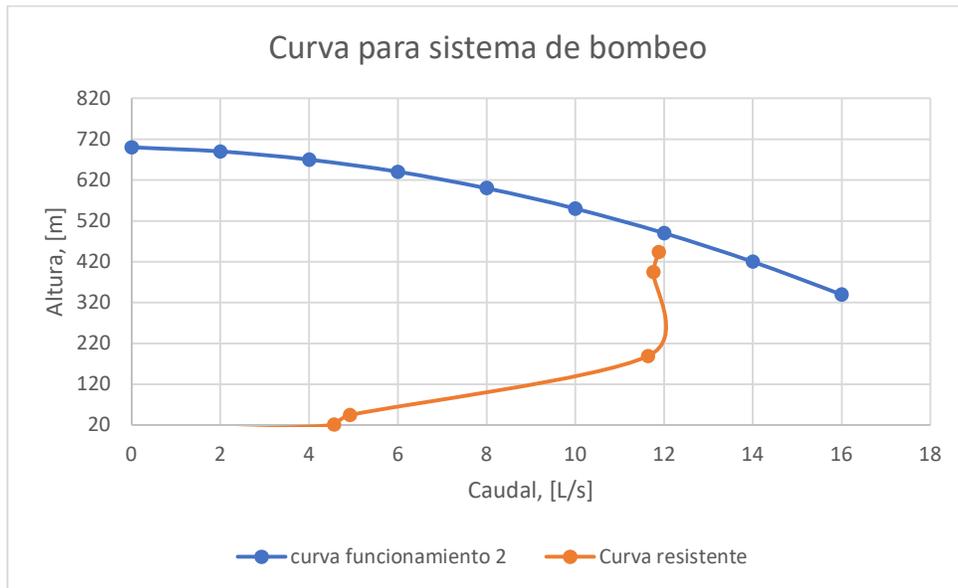
$H_{sf}$ : Altura de servicio final de la bomba, en [m].

$h_s$ : Altura o presión mínima de servicio, en [m].

$H_T$ : Pérdidas totales en el sistema, en [m].

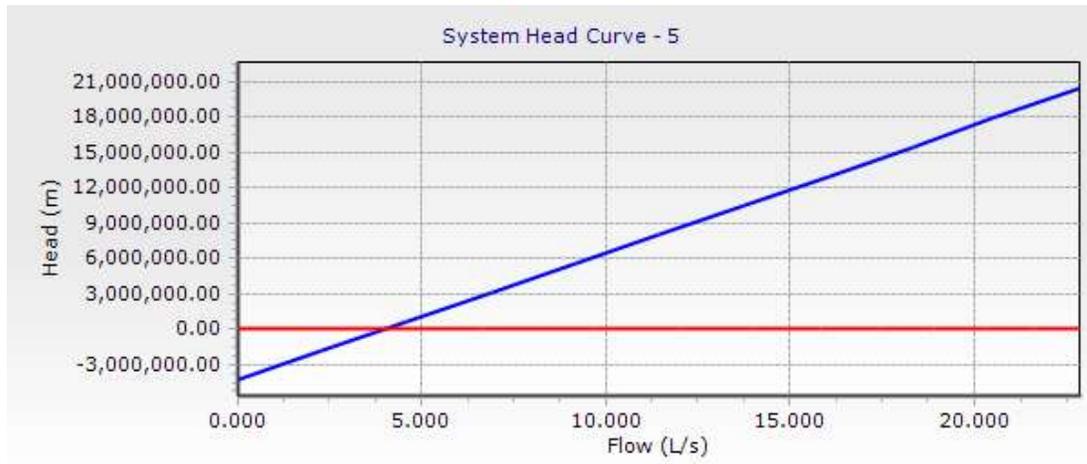
$$H_{sf} = 5 + 443.99 = 448.99 \text{ m}$$

La curva propuesta para el equipo de bombeo y la curva resistente se muestran en la Figura 3.24:



**Figura 3.27. Curva de la bomba (azul) y curva resistente (naranja) [López & Zambrano, 2021].**

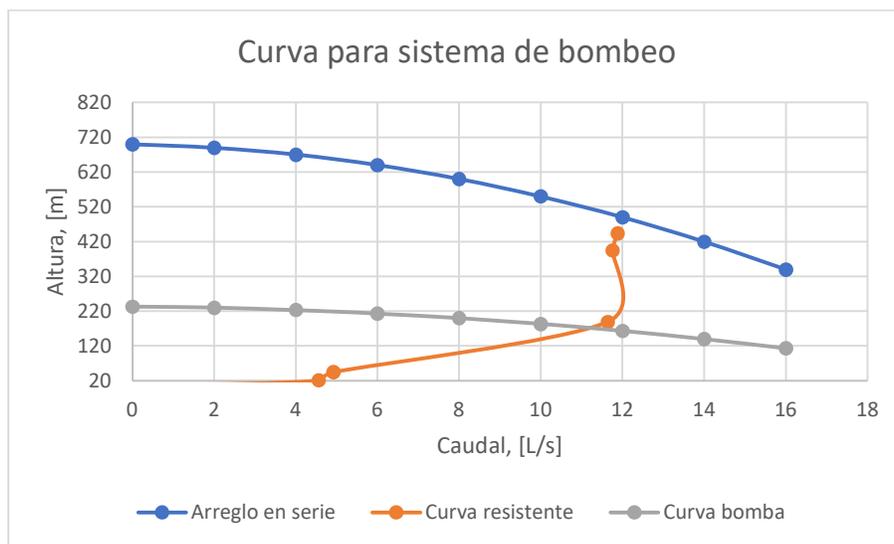
Lo cual requiere de un cabezal varias veces más grande que el determinado para el tanque elevado. Las pérdidas ocasionadas por el sistema ocasionan una curva resistente del sistema con pérdidas por fricción erráticas o inciertas:



**Figura 3.28. Curva del sistema (azul) y curva de la bomba (rojo) para riego por estación de bombeo [López & Zambrano, 2021].**

Esta curva supondría una potencia mucho mayor, pues se diseña de modo que la bomba tenga una potencia adecuada para funcionar entregando el caudal de demanda a cada nodo de consumo, lo que causaría mayores pérdidas que asume la bomba, por lo que se procede a realizar un arreglo en serie de bombas con curvas de funcionamiento menores.

Se asume un arreglo de 3 bombas en serie, por lo que la curva de cada bomba resulta:



**Figura 3.29. Curvas del sistema de bombeo [López & Zambrano, 2021].**

### 3.2.12. Reemplazo de tuberías en la red de riego para bomba

De acuerdo con lo mencionado en el capítulo 2, las velocidades en la mayoría de las tuberías de la red de riego son muy bajas al valor mínimo de 0.5 m/s, recomendado para riego, por lo que, para cada una de las alternativas, se propone realizar cambios de diámetros para mejorar las velocidades consiguiendo además presiones más adecuadas, como se muestra a continuación:

**Tabla 3.7. Diámetros adecuados para optimizar las condiciones del sistema de distribución de agua de riego para bomba [López & Zambrano, 2021].**

Nodo inicial	Nodo final	Diámetro existente [mm]	Diámetro adecuado [mm]
J-2	J-4	47.4	22.8
J-2	J-5	47.4	47.4
J-5	J-6	47.4	59.8
J-6	J-7	47.4	20.6
J-7	J-8	47.4	20.6
J-3	J-2	47.4	37.8

### 3.2.13. Configuración y tiempo de bombeo

Según lo establecido por la publicación CEPIS (CEPIS, 2005), para instalaciones donde no se incluya un reservorio de almacenamiento posterior a la estación de bombeo, la capacidad del sistema se determina en función del caudal máximo diario y las pérdidas en el sistema. Habiendo determinado el caudal máximo diario, y calculada la curva de la bomba a partir de las pérdidas en el sistema, se tiene:

$$Q_b = Q_{max.d} * \frac{24}{N} \quad (3.5)$$

Se propone una configuración de 3 bombas en serie, por lo que su caudal permanece siendo el de diseño, entonces se calcula:

$$Q_{max.d} = 3.96 \frac{L}{s}$$

$$Q_b = Q_{max.d} * \frac{24}{N}$$

$$11.88 = 3.96 * \frac{24}{N}$$

$$N = 3.96 * \frac{24}{11.88} = 8 \text{ h}$$

Siendo este el valor previsto para la operación de las bombas que permita su buen uso y perdurabilidad.

### 3.2.14. Potencia de la bomba

La bomba estará colocada en el nivel inferior del lago, de forma sumergible, por tanto, la carga dinámica total o altura manométrica total,  $H_b$ , se determina con la siguiente fórmula:

$$H_b = h_i + \Delta h_i \quad (3.6)$$

Donde:

$h_i$ : Altura de impulsión, o sea, la altura del nivel superior en relación al eje de la bomba, en [m].

$\Delta h_i$ : Pérdida de carga en la tubería de impulsión, en [m].

La cota del lago se considera en 80 m.s.n.m, y se modela la bomba a una profundidad de 4 metros, entonces:

$$h_i = 4 \text{ m}$$

Para este caso, no se usa una tubería de impulsión hacia un tanque elevado, entonces, se determinan las pérdidas totales en todas las tuberías del sistema:

$$h_f = 10.67 * \left( \frac{0.01188}{150} \right)^{1.852} * \frac{1762}{0.0598^{4.87}} = 432.75 \text{ m}$$

Debido al arreglo en serie, las bombas estarán aportando la tercera parte de la altura requerida, entonces:

$$h_f = 144.25 \text{ m}$$

$$H_b = 4 + 144.25 = 148.25 \text{ m}$$

Con este dato, se procede a calcular la potencia de la bomba:

$$P_b = \frac{Q_b H_b}{76\eta} \quad (3.7)$$

Donde:

$P_b$ : Potencia de la bomba y motor, en [HP].

$Q_b$ : Caudal de bombeo, en [L/s].

$H_b$ : Altura manométrica total, en [m].

$\eta$ : Eficiencia del sistema de bombeo.

Se recomienda seleccionar un equipo de bombeo cuya eficiencia sea mayor al 70%. Como medida cautelar, se considera una eficiencia del 75%.

$$P_b = \frac{11.8 * 148.25}{76 * 0.75} = 30.69 \text{ HP}$$

Considerando el caso con una eficiencia del 95%:

$$P_b = \frac{11.8 * 148.25}{76 * 0.95} = 24.23 \text{ HP}$$

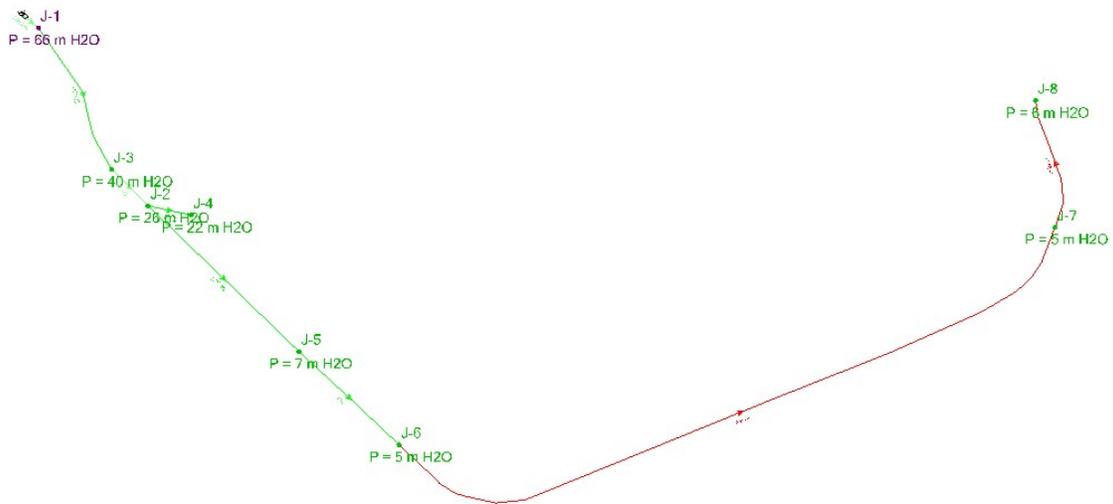
Con lo cual el sistema puede operar con tres bombas comerciales de 30 HP de potencia.

### 3.2.15. Resultados del análisis del sistema por bombeo

Según las características de la bomba, se modela en el sistema la simulación para determinar los resultados de presiones y velocidades en los elementos de la red de riego, los cuales se muestran a continuación:

**Tabla 3.8. Presiones en los nodos de consumo para el sistema de riego por estación de bombeo [López & Zambrano, 2021].**

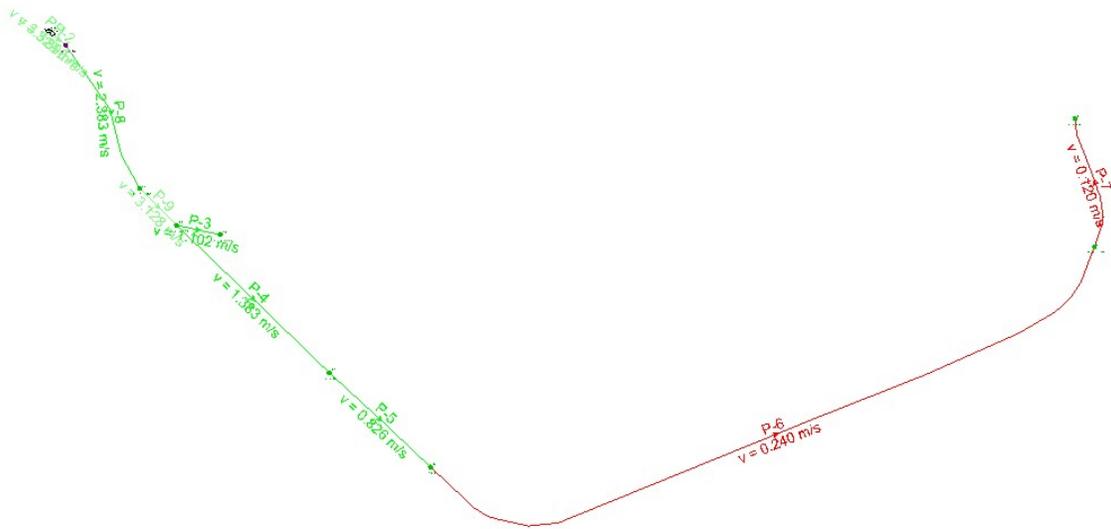
Nodo	Elevación [m]	Demanda [L/s]	Presión [m.c.a]
J-1	79.84	0	66
J-2	83.13	0.62	26
J-3	83.76	0.45	40
J-4	84.01	0.45	22
J-5	92.79	0.12	7
J-6	92.54	2.24	5
J-7	88.34	0.04	5
J-8	87.24	0.04	6



**Figura 3.30. Presiones en nodos para el sistema de riego por estación de bombeo [López & Zambrano, 2021].**

**Tabla 3.9. Velocidades en tuberías para el sistema de riego por estación de bombeo [López & Zambrano, 2021].**

Tubería	Nodo inicio	Nodo fin	Longitud [m]	Diámetro [mm]	Velocidad [m/s]
P-1	Lago	PMP-1	5	37.8	3.529
P-2	PMP-1	J-1	20	37.8	3.890
P-3	J-2	J-4	52	22.8	1.102
P-4	J-2	J-5	245	47.4	1.383
P-5	J-5	J-6	160	59.8	0.826
P-6	J-6	J-7	883	20.6	0.240
P-7	J-7	J-8	155	20.6	0.120
P-8	J-1	J-3	188	47.4	2.383
P-9	J-3	J-2	60	37.8	3.128



**Figura 3.31. Velocidades en tuberías para el sistema de riego por estación de bombeo [López & Zambrano, 2021].**

### 3.2.16. Comparación de alternativas

Como primer punto, se comparan los valores obtenidos por cálculo y estimación con los datos obtenidos a través del Ing. Andrés Jaramillo R., Analista de Servicios Generales, sobre el cálculo del uso de agua del lago para riego de áreas verdes, donde se atiende mediante una bomba de 25 HP, 6 horas al día, 4 días a la semana, a razón de 130 gal/min.

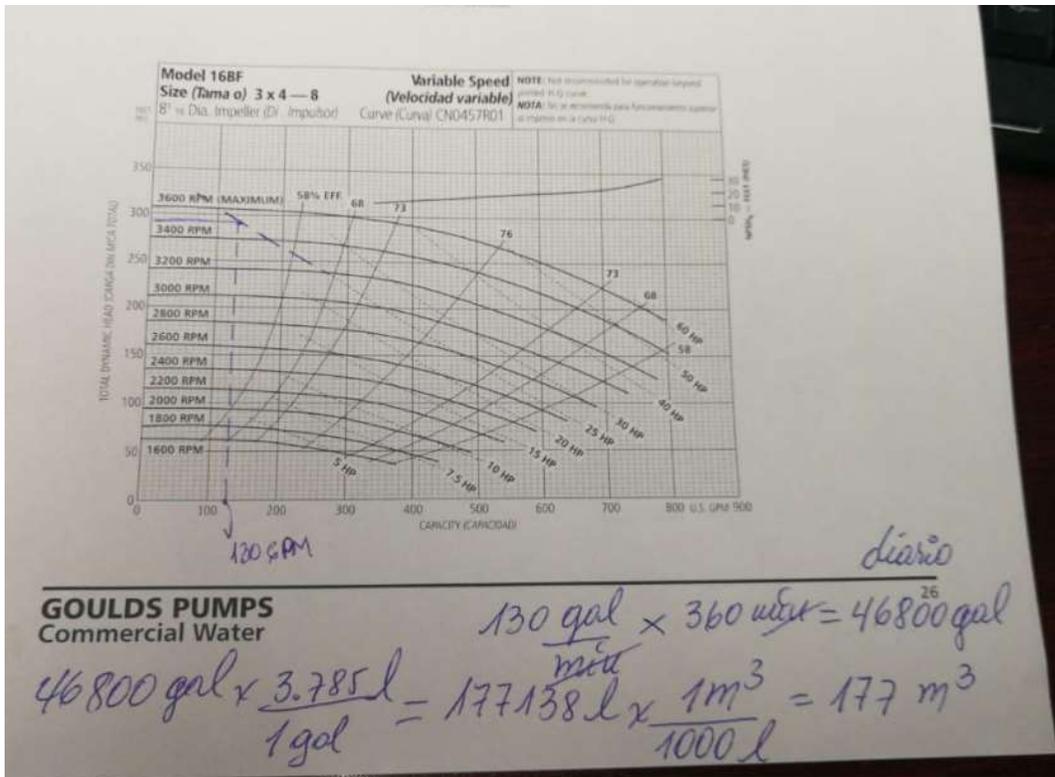


Figura 3.32. Cálculo de la demanda a partir del caudal de la bomba para riego existente [Jaramillo, 2021].

$$130 \frac{\text{gal}}{\text{min}} * 360 \frac{\text{min}}{\text{día}} = 46800 \frac{\text{gal}}{\text{día}}$$

$$46800 \text{ gal} = 177 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Durante 6 horas de bombeo al día.

En el período de mayo a diciembre, 36 semanas, el equipo trabaja 4 días a la semana, entonces:

$$177 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * 4 = 708 \frac{\text{m}^3}{\text{sem}}$$

$$708 \frac{\text{m}^3}{\text{sem}} * 36 = 25488 \text{ m}^3$$

En el período de enero a abril, 16 semanas, el equipo trabaja 3 días a la semana, entonces:

$$177 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * 3 = 531 \frac{\text{m}^3}{\text{sem}}$$

$$531 \frac{m^3}{sem} * 16 = 8496 m^3$$

Se suman estos valores para calcular la demanda anual:

$$25488 m^3 + 8496 m^3 = 33984 \frac{m^3}{año}$$

Es decir:

$$Q = 33984000 \frac{L}{año}$$

Operando 192 días hábiles en el año.

A partir de la estimación inicial de demanda, se calcula el aproximado de área que se estaría sirviendo, aplicando la dotación recomendada por la norma:

$$A * Dot = Q \quad (3.8)$$

Donde:

*A*: Área servida, en [m<sup>2</sup>].

*Dot*: Dotación recomendada, en [L/ m<sup>2</sup>\*día]

*Q*: Caudal entregado, en [L/día].

$$Q = 177 \frac{m^3}{día}$$

Que, llevado a litros por día, es:

$$Q = 177000 \frac{L}{día}$$

La dotación recomendada es de 5 L/m<sup>2</sup>\*día, obteniendo como área servida, lo siguiente:

$$A = \frac{Q}{Dot}$$

$$A = \frac{177000}{5} = 35400 m^2$$

Valor que no resulta correspondiente al estimado de 9222.37 m<sup>2</sup> de área servida para la zona del bosque e ingenierías. Los factores que pueden estar afectando la

estimación son principalmente la dotación, pues es posible que se esté regando con un volumen mayor a 5L por cada m<sup>2</sup> a diario, pudiendo ser esto por la presencia de fugas o descuidos respecto a dejar la llave abierta, y la falta de datos de las áreas servidas con riego del lago y por agua potable, siendo debido a esto que la estimación se realizó de forma visual y con equipo de software. En la Tabla 3.7., se comparan las características del sistema de bombeo existente y los propuestos:

**Tabla 3.10. Comparación entre el equipo de bombeo existente y propuesto [López & Zambrano, 2021].**

	Potencia [HP]	Área servida [m <sup>2</sup> ]	Caudal [L/s]	N° Horas operables [h]
<b>Bomba existente</b>	25	35400	8.2	6
<b>Propuesta bomba</b>	90	68332.57	11.8	8
<b>Propuesta bomba y tanque</b>	3.5	68332.57	11.8	8

La potencia calculada de la propuesta para la estación de bombeo se haya en ese valor debido a la necesidad del equipo de bombeo de repartir un caudal para un área aproximadamente dos veces mayor a la abastecida actualmente, y esparcida en zonas mucho más distantes, siendo la longitud total de tubería de 1762 m, y con una altimetría irregular; mientras que la bomba requerida para conectar a la línea de impulsión que conecta con el tanque elevado es bastante menor, debido a que la bomba debe ser capaz de proveer del caudal bombeado al tanque elevado, ya que la selección de la diferencia de alturas entre el tanque y el punto más alto y alejado debe ser la suficiente para que el sistema no trabaje mediante el uso de energía, sino por gravedad.

Finalmente, se realiza una primera comparación entre los costos energéticos que demanda cada una de las soluciones, de forma simplificada. De acuerdo con el Pliego Tarifario para las Empresas Eléctricas de Distribución de la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL, 2020), el cargo tarifario de bombeo de agua en Guayaquil en su categoría general es de 0.072 USD/kWh, entonces, los costos de operación anuales para las dos alternativas, considerando que funcionen 4 días a la semana, como el equipo actual, serían los siguientes:

**a) Diseño de sistema de riego por tanque elevado**

Potencia requerida:

$$3.5 \text{ HP} = 2.61 \text{ kW}$$

Horas operables por mes:

$$2.61 \text{ kW} * 8 \text{ h} = 20.88 \text{ kWh}$$

Costo de la energía requerida por día:

$$20.88 \text{ kWh} * 0.072 \text{ USD/kWh} = 1.50 \text{ USD}$$

Precio de energía utilizada por mes:

$$1.50 \text{ USD} * 4 \frac{\text{día}}{\text{sem}} * 4 \frac{\text{sem}}{\text{mes}} = 24 \text{ USD}$$

Precio de energía utilizada por año:

$$24 \text{ USD} * 12 \frac{\text{mes}}{\text{año}} = 288 \text{ USD}$$

**b) Diseño de sistema de riego por estación de bombeo**

Potencia requerida:

$$90 \text{ HP} = 67.11 \text{ kW}$$

Energía utilizada en kWh:

$$67.11 \text{ kW} * 8 \text{ h} = 536.88 \text{ kWh}$$

Costo de la energía requerida por día:

$$536.88 \text{ kWh} * 0.072 \text{ USD/kWh} = 38.65 \text{ USD}$$

Precio de energía utilizada por mes:

$$38.65 \text{ USD} * 4 \frac{\text{día}}{\text{sem}} * 4 \frac{\text{sem}}{\text{mes}} = 618.40 \text{ USD}$$

Precio de energía utilizada por año:

$$618.40 \text{ USD} * 12 \frac{\text{mes}}{\text{año}} = 7420.80 \text{ USD}$$

**Tabla 3.11. Comparación costo energético de opción con tanque y por bombeo [López & Zambrano, 2021].**

	Costo mensual, \$	Costo anual, \$
<b>Riego por bomba y tanque elevado</b>	24	288
<b>Riego por estación de bombeo</b>	618.4	7420.8

Con diferencias muy evidentes. El sistema de bombeo por bomba y tanque elevado tendrá una inversión de capital inicial significativamente mayor, pero una operación y mantenimiento mucho más bajas, con lo cual, trabajará de forma mucho más efectiva y segura que el sistema utilizando solo la estación de bombeo, que requerirá una inversión a lo largo del tiempo aproximadamente 25 veces superior, y consecuentemente una elevación de las tarifas de electricidad de la ESPOL, lo cual implica severos inconvenientes a largo plazo.

# CAPÍTULO 4

## 4. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

### 4.1. Objetivos

#### 4.1.1. Objetivo General

Realizar el análisis Ambiental y Plan de Manejo ambiental del proyecto “Análisis del Sistema Existente y Diseños de Optimización del Sistema Matriz de Agua Potable de la ESPOL”, mediante el llenado de la ficha ambiental requerida por el trámite del Sistema Único de Información Ambiental (SUIA), contemplando que las propuestas de soluciones e intervenciones por obras se desarrollen bajo criterios de sostenibilidad a corto, mediano y largo plazo, dando cumplimiento a las normativas ambientales actuales, para la propuesta de medidas que disminuyan el impacto ambiental ocasionado por la ejecución del proyecto.

#### 4.1.2. Objetivos Específicos

1. Identificar los impactos ambientales que pueden ocurrir debido a las actividades de construcción, operación y mantenimiento del proyecto.
2. Valorar de los impactos ambientales mediante el uso de una matriz de impacto ambiental, con la finalidad de obtener una valoración cuantitativa de cada impacto identificado.
3. Establecer medidas de mitigación y prevención, para salvaguardar la zona intervenida durante la implementación y funcionamiento del proyecto.
4. Determinar si la solución a implementar genera un gran impacto ambiental en las zonas de intervención.

### 4.2. Descripción del proyecto

#### 4.2.1. Tipo de Estudio

Con base en la consulta realizada en el SUIA, del actual Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, el tipo de trámite a realizar en este proyecto es un Certificado Ambiental, siendo este proyecto catalogado como “ampliación, rehabilitación y mejoramiento de líneas de conducción de agua” (código 23.4.2.1.2.2 del Catálogo de

Categorización Ambiental Nacional), con tipo de emisión inmediata y costo de trámite nulo, siempre que no se remueva cobertura vegetal nativa. El registro de la Consulta de Actividades Ambientales se muestra en la siguiente imagen.



**Figura 4.1. Consulta de Actividades Ambientales [López & Zambrano, 2021].**

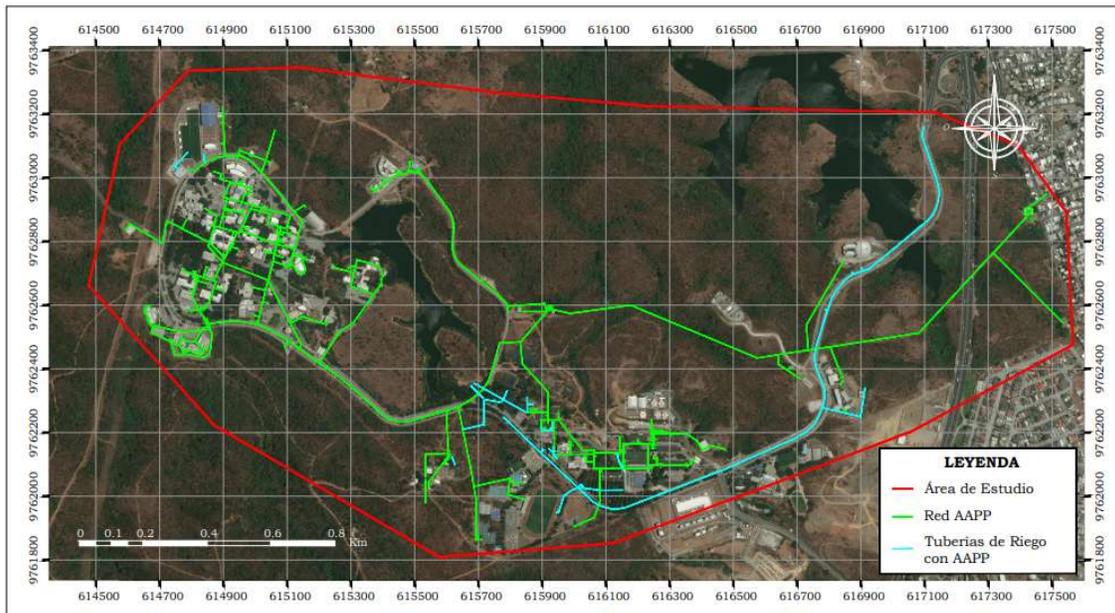
#### 4.2.2. Ubicación del proyecto

Debido a que el enfoque principal del proyecto es la optimización del sistema existente de distribución de agua potable, los trabajos de rehabilitación (ya sean cambios de tuberías y accesorios, nuevo trazado en ciertas partes que lo requieran, o la construcción de un nuevo tanque elevado), se los realizarán dentro de la misma zona en la que actualmente se encuentra la red existente. Por lo tanto, la ubicación del proyecto estaría en todo el campus Prosperina, el cual se presentó por medio de un mapa en el capítulo 1 y se muestra nuevamente en la siguiente figura, junto con las coordenadas geográficas de la zona de estudio.

**Tabla 4.1. Coordenadas geográficas de la zona de estudio (UTM WGS84-17S) [López & Zambrano, 2021].**

E	N
614476.89	9762662.52
614868.88	9762224.87
615575.73	9761809.19
616118.45	9761851.80
617050.86	9762200.00
617565.42	9762475.21
617544.92	9762890.97

617394.86	9763099.92
617137.13	9763204.28
616221.00	9763225.52
615700.00	9763272.66
615143.69	9763345.75
614789.40	9763336.73
614575.58	9763106.16



**Figura 4.2. Mapa de ubicación geográfica de los trabajos a realizar para la optimización del sistema actual [López & Zambrano, 2021].**

### 4.3. Línea base ambiental

#### 4.3.1. Medio físico

Este proyecto se encuentra ubicado en la ESPOL, campus Gustavo Galindo, en Guayaquil, con una temperatura que varía de 21 a 31°C, generalmente cálido en horas del día y frío en horas de la noche y madrugada. Durante la temporada de lluvia, la temperatura se mantiene caliente, con clima opresivo y nublado, con precipitación media de 2321 mm; y durante la temporada seca, la temperatura es caliente, bochornosa y parcialmente nublada (Diebel, Norda, & Kretchmer, 2018).

De acuerdo con la memoria técnica: “Generación de Información para la Gestión del Territorio a Nivel Nacional”, el cantón Guayaquil, con respecto a la geomorfología, se encuentra al costado de la Cordillera Chongón-Colonche, siendo este el rasgo

estructural más característico de la región que compone un monoclinal buzante hacia el sur con un ángulo de inclinación que se eleva de norte a sur de 20 a 30 grados. Otro rasgo estructural importante lo conforma la falla geológica Guayaquil-Dolores, responsable de un arreglo de relieves observables en series de bloques levantados o hundidos como en las zonas de los cerros del Carmen y Santa Ana.

Los relieves de la Cordillera Chongón-Colonche se ubican en la zona noreste del área urbana de Guayaquil, y se desarrollan desde los cerros San Pedro y Bellavista, hacia el oeste. Hacia el sur del cantón Guayaquil, se encuentra un sistema de extensas islas, que van desde los cerros del Carmen, Durán y Santa Ana, y comprenden el estero del Golfo de Guayaquil.

En la zona norte, desde Puná Nueva, Zapote, Agua Piedra hasta Cauchiche, Subida Alta, Hda. Los Elices en el noreste, el terreno se presenta llano a levemente ondulado, con pendientes inferiores al 25%, esta formación geológica se relaciona con la formación Tablazo y se hallan separadas por placas indiferenciadas.

La zona central en dirección al oeste se caracteriza con ondulaciones de colinas bajas y muy bajas, con cimas anchas de disección menos acentuada y se corresponden con las formaciones Progreso y Dos Bocas pertenecientes a la formación Tosagua.

La parte sur se caracteriza por llanuras costeras y áreas de relieve montañoso con cota máxima de 290 m, representada por el cerro Zambapala, también se halló la presencia de relieves estructurales (chevrone) y una mesa estructural relacionada con dicha falla y que corresponde en su litología al miembro lechuza y Placer de la formación Puná (CLIRSEN & SIGAGRO, 2011).

Para la delimitación de la zona de estudio, se seleccionó la hoja topográfica a escala 1:50000 proporcionada por el IGM, a través del Geoportal SIGTIERRAS para una ubicación general, siendo la pertinente al análisis la hoja NV\_01, correspondiente a Pascuales. La representación de la hoja topográfica con su geomorfología se muestra en la figura 4.3.1:



El grupo geológico predominante es el de las poligénicas, que están compuestos de formas o depósitos provenientes de dos o más grupos genéticos o que difícilmente se pueden identificar a uno de ellos. Los subgrupos a los que pertenece esta geoforma se presentan en la tabla 4.3.1:

**Tabla 4.2. Grupo genético de poligénicas con sus respectivos subgrupos** [Obtenido de: (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca; Consorcio TRACASA/NIPSA, 2015)].

Grupo genético (tipo general de modelado)	Subgrupo
Poligénicas	Coluvio aluvial.
	Superficies de erosión y planicies intermontañas.
	Superficies horizontales.
	Superficies inclinadas.
	Altas superficiales.
	Relieves residuales.
	Aristas, divisorias e interfluvios.
	Sustrato diverso.

El proyecto a realizar se encuentra entre los 25.0 y 118.0 m.s.n.m.

Para clasificar el tipo de suelo, se recurre al mapa de órdenes de suelos del Ecuador, provisto por el Ministerio de Agricultura y Ganadería, a través de MAG-SIGTIERRAS (Figura 4.3.3.). Donde se encuentra que la zona de estudio, confluyen 4 principales órdenes de suelos: molisoles, inceptisoles, alfisoles y entisoles. Los molisoles son suelos minerales, profundos, con excelentes propiedades físicas y químicas, considerados muy productivos. Los inceptisoles son suelos de evolución baja a media, ubicados en zonas algo estables a través del tiempo, y fertilidad variable. Los alfisoles son suelos enriquecidos en arcillas que forman capas muy duras, impidiendo en parte la penetración de raíces. Los entisoles se caracterizan por un bajo desarrollo y baja evolución, por pendientes que aceleran la erosión o áreas de inundaciones de ríos.

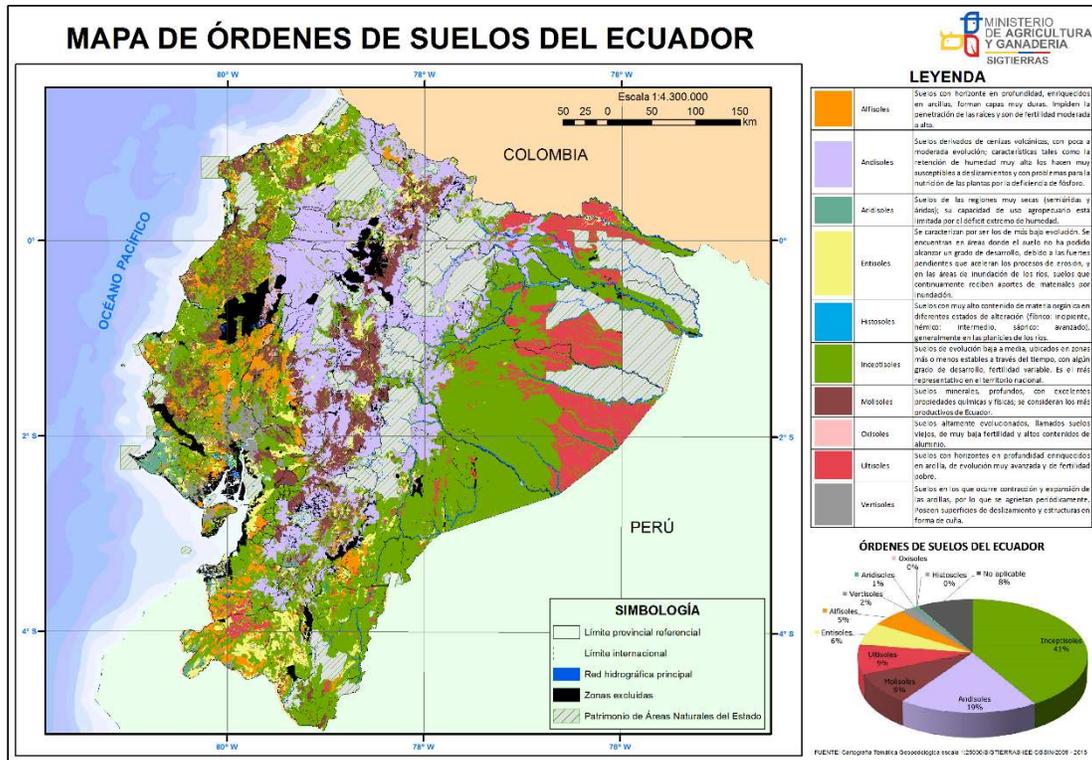


Figura 4.5. Mapa de órdenes de suelos del Ecuador [Obtenido de: MAG-SIGTIERRAS].

### 4.3.2. Medio biótico

El Bosque Protector Prosperina es un proyecto a cargo de la Escuela Superior Politécnica del Litoral en el campus Gustavo Galindo, con el objeto de un área de gran riqueza y biodiversidad, en especial de flora y fauna. Limita con el Cerro Blanco y cuenta con un área de 560 hectáreas de las 711 que comprende la ESPOL, y alberga una variedad de especies de animales y plantas las cuales se mencionan a continuación:

- Aves:** Cuco ardilla, Perico Caretirrojo, Tortolita ecuatoriana, Halcón reidor (Valdivia), Gavilán gris, Gallinazo cabeza roja, Pato cuervo, Mosquero Pechigris, entre otras.
- Mamíferos:** Venado cola blanca, Oso hormiguero, Oso perezoso, Jaguar, Mono araña, Murciélago longirostro, Ardilla de Guayaquil, entre otros.

- c) **Flora:** Ceibos, Amarillo, Balsas, Cocobolos, Cascolos, Palo santo, Pechiches, Algarrobos, Fernán Sánchez, Pigios, Bototillos, Neem, Guayacanes, entre otras.

Toda la información de la variedad de flora y fauna mencionada anteriormente se la obtuvo de la página web del bosque protector Prosperina y de (Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2019). Adicional, se debe señalar que, en el área intervenida, donde se levanta la infraestructura de la ESPOL, la flora y fauna ha cambiado, pero se mantiene su biodiversidad. Por tanto, se debe tener presente que las futuras intervenciones que se llevarán a cabo se realizarán en un ambiente alterado por acción de asentamientos humanos.

#### 4.3.3. Población

Se realizaron proyecciones de la población futura a través de fórmulas de crecimiento poblacional, para producir la demanda futura, por tanto, se realiza el crecimiento de la población a partir de datos obtenidos del proyecto de Plan Maestro de Agua Potable, Alcantarillado Sanitario y Pluvial para la ESPOL (Cruz & Hidalgo, 2021), que recoge información censada de la población año a año a partir del 2014 al 2019, tabuladas en la tabla 2.1., y obteniendo una población actual de 18207 personas al 2020.

Las proyecciones con el método aritmético y geométrico fueron promediadas y se obtuvo los valores poblacionales hasta el año 2035. En la tabla 4.3., mostrada a continuación, se presentan los resultados de población futura.

**Tabla 4.3. Datos de población futura del campus Gustavo Galindo [Obtenido de: (Cruz & Hidalgo, 2021)].**

<b>Años Proy.</b>	<b>Población</b>	<b>Prom. Met. G&amp;E</b>
5	2025	21157
10	2030	22928
15	2035	24699

En la actualidad, en el campus Gustavo Galindo se cuentan con los servicios básicos de agua potable, pero el mismo no trabaja de una forma óptima. Además de los problemas de uso de agua potable para riego, se presentan problemas de filtraciones debido al mal estado de secciones de la red primaria, aparatos sanitarios tales como duchas, urinarios, inodoros, etc., los cuales favorecen a un desperdicio del recurso hídrico debido a su ineficiencia y mal aprovechamiento del agua. Actualmente, no se encuentra disponible un inventario de los accesorios sanitarios presentes en el campus, pero se puede recomendar de forma provisoria el uso de sistemas de agua con demanda continua, debidamente presurizados, a pesar de representar una mayor inversión inicial, facilitan un uso más eficiente del agua potable, debido a que, por ejemplo, los sanitarios tipo flushing evitan filtraciones por la válvula de salida, evitando grandes pérdidas durante la mayor parte del día.

#### **4.4. Actividades del proyecto**

Se procede a estudiar con detalle las actividades efectuadas durante la realización del proyecto que son propensas a causar un impacto ambiental sobre el ecosistema presente.

##### **Reconstrucción y optimización de línea matriz**

Para la optimización de la línea matriz en el campus Gustavo Galindo, se llevan a cabo actividades correspondientes a diferentes etapas. La primera etapa tiene que ver con la preparación y trabajos preliminares, como lo son el desbroce, movimientos de tierra, corte y relleno, nivelación del terreno, entre otros.

Los trabajos preliminares pronosticados en la puesta en funcionamiento del proyecto son las siguientes:

- Limpieza y desalojo de escombros en vías de acceso y terreno intervenido.
- Preparación del sitio de obra.
- Excavación manual y con maquinaria.
- Relleno compactado con máquina.
- Replanteo y nivelación

Luego de completadas estas actividades, se efectúan las obras de colocación de válvulas y tuberías de acuerdo con las especificaciones en planos y diseño. Las estructuras provisionales permiten almacenar materiales y equipos mientras dure la etapa de construcción. La actividad prevista a generar un mayor impacto ambiental corresponde al desalojo de escombros, que puede perturbar el ambiente si no se dispone apropiadamente de estos.

### **Operación y mantenimiento**

Una vez se haya realizado el cambio de las tuberías con los nuevos diámetros en las zonas que lo requieran, y colocado las nuevas tuberías para cerrar circuitos y poder optimizar el sistema, se deben realizar trabajos de mantenimiento para conservar el buen estado de las tuberías, así como de los accesorios, ya que este uno de los problemas que actualmente tiene el sistema existente, y por el cual se generan grandes pérdidas debido a las posibles fugas que pueda haber.

Entre las actividades que se deben realizar para la operación y mantenimiento están las siguientes:

1. Revisión y limpieza de las cámaras de inspección.
2. Chequeo de buen estado de accesorios como válvulas y medidores.
3. Limpieza de tuberías en los tramos accesibles.
4. Control de presiones en la red, para la verificación de posibles fugas en las tuberías.
5. Limpieza y desinfección en el tanque elevado existente.

Se deben realizar labores de limpieza y desinfección en el tanque elevado existente, de acuerdo con la publicación CEPIS, en el Manual de capacitación para operadores, para la operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua, apartado 15.3, se detallan técnicas de limpieza y desinfección para reservorios y tuberías, principalmente realizando un lavado con solución de cloro en concentraciones de 200, 100, 50 o 25 mg/L, considerando la necesidad del tiempo para su desinfección (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2002). Adicionalmente, se deben realizar limpiezas periódicas de los tramos de tubería con varilladora para quitar obstrucciones que reduzcan la sección interna de las tuberías.

Es importante mencionar que la mayoría de las actividades mencionadas no generan una afectación o impacto directamente al ambiente, ya que gran parte de estos son

trabajos de mantenimiento, los cuales ayudarán al que el sistema se encuentre funcionando correctamente. Por otra parte, son actividades que se pueden realizar en los días en que no haya gran cantidad de personas en el campus, como los fines de semana, y de esta manera se evita causar molestias en la población por las interrupciones en el servicio de agua potable durante la realización de estos trabajos en los días laborales.

### Cierre

Esta etapa comprende las actividades posteriores cada vez que se realicen intervenciones para la reparación y cambio de tramos de tuberías. El cuadro de etapas, actividades y equipos se detalla a continuación:

**Tabla 4.4. Etapas, actividades, materiales, insumos y equipos [López & Zambrano, 2021].**

ETAPA	ACTIVIDADES	MATERIALES, INSUMOS, EQUIPOS
<b>CONSTRUCCIÓN Y REPOTENCIACIÓN DE PROCESOS</b>	Limpieza y desalojo de escombros en vías de acceso y terreno intervenido	Tractor, volquetas, motoniveladora, rodillo vibratorio, retroexcavadora, vibropisonador, estación total, herramientas menores.
	Preparación del sitio de obra	
	Trabajos de corte y relleno	
	Replanteo y nivelación	
	Instalación de tuberías y válvulas	
	Construcción de obras provisionales	
<b>OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO (rutinario y durante toda la vida útil)</b>	Mantenimiento de tuberías, válvulas, reservorios	Reactivos, retroexcavadora, volquetas, rodillo vibratorio, vibroapisonador, varilladora, herramientas menores.
	Generación de lodos	
	Disposición final de residuos	
<b>CIERRE DE FRENTE DE TRABAJO</b>	Diagnóstico de tuberías, válvulas, reservorios	Tractor, vibroapisonador, volquetas, motoniveladora, retroexcavadora, rodillo vibratorio, , herramientas menores.
	Colocación de nuevos accesorios para red AAPP	
	Desalojo de escombros	

### 4.5. Identificación de impactos ambientales

Seguido de la definición de actividades en el proyecto, es necesario identificar el impacto ambiental de cada una sobre el entorno. Estos impactos ambientales deben

ser minimizados y remediados a través de un plan de mitigación que permita una ejecución ordenada de actividades de desalojo de escombros, labores de corte y relleno, colocación de tuberías y construcciones temporales, así como un oportuno mantenimiento y disposición de desperdicios, de forma que se mitiguen las afectaciones al medio ambiente.

La identificación de impactos ambientales se muestra a continuación:

**Tabla 4.5. Identificación de impactos ambientales para las actividades del proyecto**  
[López & Zambrano, 2021].

<b>ACTIVIDAD</b>	<b>FACTOR AMBIENTAL</b>	<b>IMPACTO</b>
Limpieza inicial (desbroce) y retiro de escombros.	Flora Fauna	- Retiro de flora endémica y alteración del hábitat de fauna silvestre, perturbación del paisaje.
Trazado, replanteo y nivelación.	Humano Suelo	- Contaminación del suelo por utilización de cal. - Problemas respiratorios del personal.
Excavación y Movimiento de tierras.	Aire Suelo Humano	- Contaminación del aire por emisión de gases de combustión de vehículos y maquinaria. - Contaminación del aire por material particulado suspendido. - Alteración del paisaje. - Accidentes o enfermedades del personal por no guardar medidas de seguridad y aparatos de protección.
Relleno y Compactación.	Aire Suelo Humano	- Contaminación del aire por emisión de gases de combustión de vehículos y maquinaria. - Contaminación del aire por material particulado suspendido. - Erosión del suelo por remoción de cobertura vegetal existente.
Construcción de obras civiles varias (tanque elevado, colocación de tuberías y válvulas).	Aire Suelo Agua Humano	- Contaminación del aire por emisión de gases de combustión de vehículos y maquinaria. - Contaminación por el desecho de materiales sobrantes de construcción. - Mejora de la disponibilidad de agua potable para los usuarios del campus Gustavo Galindo.
Mantenimiento de tuberías, válvulas, reservorios.	Aire Suelo	- Falta de aprovisionamiento del agua durante el tiempo de intervención del sistema.

	Agua Humano	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contaminación del suelo por mal manejo de envolturas y recipientes de reactivos en el proceso de mantenimiento.</li> <li>- Contaminación del aire por material particulado suspendido.</li> <li>- Contaminación del suelo por mal manejo de desperdicios.</li> </ul>
Generación y disposición de lodos y residuos.	Agua Suelo Humano	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Deterioro de cuerpo de agua o zona donde se arrojen los residuos sin adecuado tratamiento.</li> <li>- Alteración del ecosistema y zonas aledañas por desechos contaminantes.</li> <li>- Enfermedades por mala calidad del agua.</li> </ul>
Diagnóstico y colocación de nuevos accesorios para red AAPP.	Agua Suelo Humano	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Falta de aprovisionamiento del agua durante el tiempo de intervención del sistema.</li> <li>- Contaminación del aire por emisión de gases de combustión de vehículos y maquinaria.</li> <li>- Contaminación del aire por material particulado suspendido.</li> <li>- Contaminación del suelo por manejo de desperdicios y chatarra desregulada.</li> </ul>
Desalojo de escombros.	Agua Suelo Humano	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Deterioro de cuerpo de agua o zona donde se arrojen los residuos sin adecuado tratamiento.</li> <li>- Alteración del ecosistema y zonas aledañas por residuos sólidos.</li> <li>- Enfermedades por mala calidad del agua.</li> </ul>

#### 4.6. Valoración de impactos ambientales

Para realizar una valoración cuantitativa de las interacciones del proyecto con el medio ambiente y lo concerniente a su magnitud, se efectúa la matriz de impacto ambiental. La magnitud de los impactos se define como la suma de la puntuación de los siguientes parámetros: extensión, intensidad, duración, desarrollo, recuperación e interacción, los cuales tienen una puntuación que va desde 0 hasta 2. Mientras que, la relevancia de los impactos está definida como la multiplicación entre la severidad y la probabilidad de ocurrencia, teniendo estos dos últimos parámetros una puntuación que va desde 1 hasta 3. Determinar estos los valores de: magnitud y relevancia, permiten conocer de manera numérica la importancia de los impactos generados al

realizar las actividades respectivas durante la implementación y funcionamiento del proyecto.

El monitoreo planteado para los proyectos es asignar medidas de prevención en actividades cuya importancia valorada resulte inferior a los 15 puntos, y a su vez, colocar medidas de mitigación en los procesos donde se alcance una importancia mayor a los 20 puntos. El contenido de la matriz de valoración de impactos ambientales se presenta en la tabla 4.6.1.

Los grados de riesgo se esquematizan en 5 divisiones principales:

1. **No significativo:** son aquellos impactos con un valor de importancia menor a 6 y que no requieren ningún tipo de acción.
2. **Bajo:** impactos con un valor de importancia entre 7 y 12, las cuales tienen un grado de riesgo tolerable, y que requieren un monitoreo operativo para mantener los controles existentes.
3. **Medio:** aquellos impactos que tienen un puntaje de importancia entre 13 a 24, y requieren de una planificación de medidas para reducir o controlar el riesgo que representan. Además, requieren de un monitoreo del jefe del sector para garantizar que se mantengan los controles.
4. **Alto:** son los impactos que tienen un valor de importancia de 25 a 75 y, por lo tanto, se debe hacer uso de medidas inmediatas para su reducción. Adicionalmente, requieren de un monitoreo del comité de riesgos y cambios, garantizando el cumplimiento de estas medidas.
5. **Intolerable:** Son aquellos impactos con una puntuación de importancia mayor a 75, y cuyas actividades no se pueden realizar sin antes haber implementado una medida de mitigación para reducir el riesgo.

Para el estudio, se prevé que actividades como el retiro de flora endémica y alteración de fauna silvestre, así como el deterioro de un cuerpo de agua en el cual fueren vertidos desechos tanto de construcción como de mantenimiento o limpieza, posean importancias elevadas en el índice de los 60 puntos, por lo cual estas actividades deben ser cuidadosamente analizadas con el objetivo de crear planes de mitigación de las mismas, pues su impacto es significativo y no tiene recuperación a corto plazo, de acuerdo a la magnitud de las zonas afectadas.

Tabla 4.6. Matriz de valoración de impactos ambientales para las actividades del proyecto [López & Zambrano, 2021].

				IDENTIFICACION DE IMPACTOS AMBIENTALES PARA ESTE ESTUDIO												VALORACION														
FASES DEL PROYECTO	ACTIVIDADES	ASPECTO AMBIENTAL	IMPACTO	Severidad (S)			Probabilidad Ocurrencia (P)			(T)	Extensión (E)			Intensidad (I)			Duración (Du)			Desarrollo (De)			Recuperación (R)			Interacción (Ia)			(Mg)	(Imp)
				1	2	3	1	2	3	Relevancia del Impacto T=SxP	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	Magnitud del Impacto Mg = E + I + Du + De + R + Ia	Importancia del Impacto Imp = Mg x T
CONSTRUCCIÓN Y REPOTENCIACIÓN DE PROCESOS	Limpieza inicial (desbroce) y retiro de escombros.	Flora, fauna	Retiro de flora endémica y alteración del hábitat de fauna silvestre, perturbación del paisaje.			3			3	9	1				1				2		1				1	7	63			
	Trazado, replanteo y nivelación.	Humano, suelo	Contaminación del suelo por utilización de cal.	2				2		4	0				0							2	0			1	3	12		
			Problemas respiratorios del personal.		3			2		6	1				0			1				1			1	5	30			
	Excavación y Movimiento de tierras.	Aire, suelo	Contaminación del aire por emisión de gases de combustión de vehículos y maquinaria.	2		1				2	1				1			1				1			0	5	10			
			Alteración del paisaje.	2		1				2	1				1			1	0			1			1	5	10			
	Relleno y Compactación.	Aire, suelo	Contaminación del aire por material particulado suspendido.	2		1				2	1				1			1				1			1	6	12			
			Erosión del suelo por remoción de cobertura vegetal existente.	2				2		4	1		0		1			1				1			1	5	20			
	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	Construcción de obras civiles varias (tanque elevado, colocación de tuberías y válvulas).	Aire, suelo	Contaminación del aire por gases tóxicos de vehículos, combustión sonora debido al ruido de maquinaria.	2				2		4	1		0			1		1				1			1	5	20		
Contaminación por el desecho de materiales sobrantes de construcción.				2				2		4	0		0			1			2			1			1	5	20			
Mantenimiento de tuberías, válvulas, reservorios.		Suelo	Contaminación del suelo por mal manejo de envolturas y recipientes de reactivos en el proceso de mantenimiento.	2				2		4	0		1		1			1				1			1	5	20			
Generación y disposición de lodos y residuos.		Agua	Deterioro de cuerpo de agua o zona donde se arrojen los residuos sin adecuado tratamiento.			3		2		6	1					2			2			1			2	10	60			
CIERRE DE FRENTES DE TRABAJO	Diagnóstico y colocación de nuevos accesorios para red AAPP.	Suelo	Contaminación del suelo por manejo de desperdicios y chatarra desregulada.	2				2		4	0				2	1		1				1			1	6	24			
	Desalojo de escombros	Suelo	Alteración del ecosistema y zonas aledañas por residuos sólidos.	2				2		4	1		1		1	1		1				1			1	6	24			

#### **4.7. Medidas de prevención/mitigación**

Se contemplan los escenarios de las actividades que más riesgo de afectar negativamente al medio ambiente se encuentran en el proyecto, las cuales son:

1. Retiro de flora endémica y alteración de fauna silvestre,
2. Deterioro de un cuerpo de agua en el cual fueren vertidos desechos provenientes de construcción o mantenimiento.

En los lugares donde se ejecutan las obras, regularmente sucede la alteración del paisaje existente, pues como resultado de la interferencia con el trazado, se requiere remover vegetación o introducir elementos que no existían anteriormente. Se deben coordinar acciones para evitar el traslado de vehículos a través de áreas verdes, además de evitar estas zonas para la acumulación de materiales o desechos de construcción, es mandatorio la recuperación del paisaje mediante procesos como arborización, empradización o restablecimiento de jardines, así como proteger mediante cerramiento los árboles más aledaños a las obras, y mientras no generen riesgos, mantenerlo en condiciones íntegras. Se debe manejar la fauna existente realizando un inventario de la fauna potencialmente afectada, identificando nidos o madrigueras y en casos particulares, liberación o reubicación de la misma, con aviso a la autoridad competente.

El agua procedente de actividades de construcción posee una alta concentración de partículas minerales suspendidas, y pueden combinarse con concreto u otras sustancias como reactivos de limpieza. Estos materiales causan obstrucción en alcantarillas, contaminan cuerpos receptores de agua y pueden causar problemas en las plantas depuradoras. Para prevenir la filtración de aguas se plantea instalar barreras para evitar arrastres de materiales de construcción al sistema de aguas servidas, no realizar vertidos de residuos líquidos sobre calzadas, proteger sumideros a la red de aguas servidas mediante canastillas perforadas con una membrana protectora, destinar lugares de acumulación de desechos alejados de fuentes de agua, entre otras. Para proteger cauces naturales de agua, se deben evitar trabajos que comprometan el cuerpo de agua o sus taludes, o la instalación de una lona en el frente de trabajo que cubra durante la ejecución de las obras.

#### **4.8. Conclusiones y recomendaciones**

1. Se identificaron las actividades que se realizarán durante la etapa de construcción, operación y mantenimiento del proyecto, junto con los posibles impactos ambientales que se generan al realizar dichas actividades.
2. Se realizó la valoración de los impactos ambientales encontrados para la implementación del proyecto, mediante el uso de la matriz de impacto ambiental, con lo cual se obtuvo que, los impactos que generan un mayor riesgo al medio ambiente son: el retiro de la fauna endémica y alteración de la fauna, y el deterioro de un cuerpo de agua en el cual fueren vertidos desechos provenientes de la construcción, con un puntaje de importancia de 63 y 60 respectivamente.
3. Se establecieron medidas de mitigación y prevención para los impactos con mayor puntuación de importancia, es decir, que afecta de manera significativa al medio ambiente, tomando acciones como: evitar el paso de vehículos por zonas verdes inalteradas, evitar la acumulación de escombros generados por la construcción, instalación de barreras para impedir el traspaso de desechos líquidos de la construcción hacia cuerpos de agua, como los lagos del campus, entre otras.
4. La implementación del proyecto no genera un impacto ambiental significativo, ya que la mayoría de las actividades serán realizadas en áreas ya intervenidas, con excepción de nuevos trazados de tuberías para abastecer de agua potable a la zona de admisiones desde el tanque elevado.
5. El costo referencial obtenido para el plan de manejo ambiental (PMA) es aproximadamente de USD37,075.18, con un tiempo de construcción de 6 meses. Además, debido que en ciertos tramos de la red se encuentran debajo de calles o aceras, el costo estimado para la reparación de estas fue de USD10,000.00, pudiendo ser este valor aún mayor.
6. En base al certificado ambiental obtenido del SIUA, el proyecto se trata de una “ampliación, rehabilitación y mejoramiento de líneas de conducción de agua” por lo tanto, el trámite no tiene ningún costo. Sin embargo, existe un costo adicional al intervenir en zonas con cobertura vegetal nativa. Por lo tanto, se recomienda que el promotor del proyecto que realice el trámite lo más pronto

posible, con la finalidad de cumplir con los requisitos ambientales necesarios establecidos por el gobierno de turno.

# CAPÍTULO 5

## 5. PRESUPUESTO

### 5.1. Descripción de rubros

Se determinaron los rubros de cada una de las alternativas para la optimización de la red, mencionadas en el capítulo 3. A continuación, se muestran cada uno de los rubros que involucran en cada alternativa.

#### 5.1.1. Descripción de rubros de la alternativa 1.

Los rubros para la alternativa 1, la cual consiste en la colocación de un nuevo tanque elevado que satisfaga la demanda con la población futura, se han distribuido por partes o actividades, las cuales se presentan a continuación:

1. Obras preliminares.
  - 1.1. Caseta de oficina (incluye iluminación e instalaciones eléctricas).
  - 1.2. Caseta para guardián (incluye iluminación e instalaciones eléctricas).
  - 1.3. Baterías sanitarias (incluye instalación).
2. Movimiento de tierra para nuevas tuberías
  - 2.1. Excavación a máquina en suelo sin clasificar.
  - 2.2. Relleno compactado con material de sitio.
  - 2.3. Relleno de cama de arena.
  - 2.4. Relleno con grava compactada.
  - 2.5. Replanteo con suelo mejorado, incluye transporte.
  - 2.6. Desalojo de material hasta 5 Km.
3. Instalación de nuevas de tuberías, accesorios y válvulas.
  - 3.1. Trazado y replanteo para tuberías.
  - 3.2. Suministro e instalación de tubería de PVC U/Z 50mm – 0,63 MPa.
  - 3.3. Suministro e instalación de tubería de PVC E/C 32mm – 0,80 MPa.
  - 3.4. Suministro e instalación de tubería de PVC E/C 25mm – 1,00 MPa.
  - 3.5. Colocación de válvulas de compuerta.
  - 3.6. Caja de operación de válvulas.
4. Construcción del tanque elevado de 400 m<sup>3</sup>.
  - 4.1. Limpieza y desbroce.

- 4.2. Replanteo y nivelación.
- 4.3. Excavación y desalojo para la construcción del tanque.
- 4.4. Replanteo H.S.  $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$ .
- 4.5. Hormigón simple  $f'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$ .
- 4.6. Acero de refuerzo  $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$ .
- 5. Movimiento de tierra para reemplazo de tuberías.
  - 5.1. Excavación a máquina en suelo sin clasificar.
  - 5.2. Relleno compactado con material de sitio.
  - 5.3. Relleno de cama de arena.
  - 5.4. Relleno con grava compactada.
  - 5.5. Replanteo con suelo mejorado, incluye transporte.
  - 5.6. Desalojo de material hasta 5 Km.
- 6. Reemplazo de tuberías en la red.
  - 6.1. Suministro e instalación de tubería de PVC U/Z 200mm – 0,50 MPa.
  - 6.2. Suministro e instalación de tubería de PVC U/Z 160mm – 0,50 MPa.
  - 6.3. Suministro e instalación de tubería de PVC U/Z 110mm – 0,50 MPa.
  - 6.4. Suministro e instalación de tubería de PVC U/Z 90mm – 0,50 MPa.
  - 6.5. Suministro e instalación de tubería de PVC U/Z 63mm – 0,63 MPa.
  - 6.6. Suministro e instalación de tubería de PVC U/Z 50mm – 0,63 MPa.
  - 6.7. Suministro e instalación de tubería de PVC E/C 40mm – 0,63 MPa.
  - 6.8. Suministro e instalación de tubería de PVC E/C 32mm – 0,80 MPa.
  - 6.9. Suministro e instalación de tubería de PVC E/C 25mm – 1,00 MPa.
- 7. Plan de manejo ambiental.
  - 7.1. Agua para controlar el polvo por excavaciones
  - 7.2. Señalización de obra
  - 7.3. Plantación y cobertura vegetal.

#### **5.1.2. Descripción de rubros de la alternativa 2.**

Los rubros principales para la alternativa 2, que plantea el diseño de una red alternativa de riego de áreas verdes mediante agua del lago de la ESPOL a través de una estación de bombeo, son los siguientes:

- 1. Replanteo y nivelación
- 2. Caseta de oficina (incluye iluminación e instalaciones eléctricas)

3. Caseta para guardián (incluye iluminación e instalaciones eléctricas)
4. baterías sanitarias (incluye instalación)
5. Trazado y replanteo para tuberías
6. Excavación a máquina en suelo sin clasificar
7. Relleno compactado con material de sitio
8. Relleno de cama de arena
9. Relleno con grava compactada
10. Replanteo con suelo mejorado, incluye transporte
11. Desalojo de material hasta 5km
12. Suministro e instalación de tubería de PVC u/z 63mm - 0.63mpa
13. Suministro e instalación de tubería de PVC u/z 50mm - 0.63mpa
14. Suministro e instalación de tubería de PVC e/c 40mm - 0.63mpa
15. Suministro e instalación de tubería de PVC e/c 25mm - 1.00mpa
16. Suministro e instalación de tubería de PVC e/c 3/4" - 1.00mpa
17. Equipo de bombeo Q=11.80 l/s; 30HP
18. Colocación de válvulas de aire
19. Colocación de válvulas de compuerta
20. Colocación de válvulas de purga
21. Caja de operación de válvulas
22. Suministro e instalación de reductor 63x50mm
23. Suministro e instalación de reductor 50x32mm
24. Suministro e instalación de reductor 32x25mm
25. Suministro e instalación de reductor 1x3/4"
26. Suministro e instalación de yee PVC, 50mm
27. Suministro e instalación de codos 45°, d=3/4"
28. Suministro e instalación de codos 22.5°, d=50mm
29. Suministro e instalación de codos 15°, d=50mm
30. Señalización de obra
31. Agua para controlar el polvo por excavaciones

### **5.1.3. Descripción de rubros de la alternativa 3.**

Los rubros principales para la alternativa 3, que plantea el diseño de una red separada e independiente para el riego de áreas verdes, mediante agua del lago de la ESPOL a través de un sistema con uso de bomba y tanque elevado, son los siguientes:

1. Replanteo y nivelación
2. Caseta de oficina (incluye iluminación e instalaciones eléctricas)
3. Caseta para guardián (incluye iluminación e instalaciones eléctricas)
4. baterías sanitarias (incluye instalación)
5. Trazado y replanteo para tuberías
6. Excavación a máquina en suelo sin clasificar
7. Relleno compactado con material de sitio
8. Relleno de cama de arena
9. Relleno con grava compactada
10. Replanteo con suelo mejorado, incluye transporte
11. Desalojo de material hasta 5km
12. Suministro e instalación de tubería de PVC u/z 90mm - 0.50mpa
13. Suministro e instalación de tubería de PVC u/z 63mm - 0.63mpa
14. Suministro e instalación de tubería de PVC e/c 25mm - 1.00mpa
15. Equipo de bombeo Q=11.80 l/s; 30HP
16. Colocación de válvulas de aire
17. Colocación de válvulas de compuerta
18. Colocación de válvulas de purga
19. Caja de operación de válvulas
20. Suministro e instalación de reductor 63x50mm
21. Suministro e instalación de reductor 50x32mm
22. Suministro e instalación de reductor 32x25mm
23. Suministro e instalación de reductor 1x3/4"
24. Suministro e instalación de yee PVC, 63mm
25. Suministro e instalación de codos 45°, d=3/4"
26. Suministro e instalación de codos 30°, d=90mm
27. Suministro e instalación de codos 30°, d=25mm
28. Suministro e instalación de codos 15°, d=63mm
29. Suministro e instalación de codos 11.25°, d=90mm
30. Suministro e instalación de codos 11.25°, d=63mm
31. Excavación a máquina en suelo sin clasificar para la construcción del tanque
32. Hormigón premezclado en muros  $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$  (vaciado y vibrado)
33. Replanteo H.S  $f'c = 140 \text{ kg/cm}^2$
34. Acero de refuerzo en barras  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$

- 35. Impermeabilización interna y externa de estructuras
- 36. Pintura y empaste exterior
- 37. Pintura y empaste interior
- 38. Tubo PVC d=63mm drenaje
- 39. Señalización de obra
- 40. Agua para controlar el polvo por excavaciones

## 5.2. Análisis de costos unitarios

El desglose de los costos unitarios para cada alternativa se encuentra en la sección de apéndices. A continuación, se muestra un resumen de los costos representativos de las principales fases de construcción para cada alternativa, junto al porcentaje valorado de acuerdo con el presupuesto general en cada una de las propuestas:

### 1. Alternativa 1: Diseño de nuevo tanque elevado, cambio de tuberías y nuevo trazado de tuberías en el sistema.

El presupuesto preliminar para la alternativa 1 es de USD799,814.48, en donde el mayor porcentaje del costo de la obra lo comprende el movimiento de tierra para el reemplazo de las tuberías de la red existente con un 45,18%, de manera que cumplan con las velocidades adecuadas. Debido a que el cambio de las tuberías se lo irá realizando por fases, además dependerá si ESPOL cree conveniente realizar el cambio o no, la segunda actividad con mayor costo es la construcción del nuevo tanque el cual tienen un costo referencial de USD87,210.79, tal como se muestra en la tabla 5.1.

**Tabla 5.1. Resumen de costos para las principales fases de la alternativa 1 [López & Zambrano, 2021].**

Fase del proyecto	Precio	Porcentaje
1. Obras preliminares	\$ 3,624.82	0.45%
2. Movimiento de tierra para nuevas tuberías	\$ 74,226.69	9.28%
3. Instalación de nuevas tuberías, accesorios y válvulas	\$ 22,217.11	2.78%
4. Construcción de tanque elevado de 400 m3	\$ 87,210.79	10.90%
5. Movimiento de tierra para reemplazo de tuberías	\$ 361,379.72	45.18%
6. Reemplazo de tuberías en la red	\$ 175,801.50	21.98%
7. Plan de manejo ambiental	\$ 75,353.86	9.42%
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 799,814.48</b>	<b>100%</b>

A continuación, se muestra el presupuesto referencial desglosado para la primera alternativa.

**Tabla 5.2. Presupuesto referencial para la alternativa 1 [López & Zambrano, 2021].**

Número rubro	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
	<b>1. OBRAS PRELIMINARES</b>				<b>\$ 3,624.82</b>
1	1.1. CASETA DE OFICINA (INCLUYE ILUMINACION E INSTALACIONES ELECTRICAS)	M2	25.00	\$ 78.25	\$ 1,956.16
2	1.2. CASETA PARA GUARDIAN (INCLUYE ILUMINACION E INSTALACIONES ELECTRICAS)	M2	9.00	\$ 66.87	\$ 601.85
3	1.3. BATERIAS SANITARIAS (INCLUYE INSTALACION)	U	3.00	\$ 355.60	\$ 1,066.81
	<b>2. MOVIMIENTO DE TIERRA PARA NUEVAS TUBERÍAS</b>				<b>\$ 74,226.69</b>
4	2.1. EXCAVACIÓN A MÁQUINA EN SUELO SIN CLASIFICAR	M3	3575.36	\$ 6.39	\$ 22,841.56
5	2.2. RELLENO COMPACTADO CON MATERIAL DE SITIO	M3	1560.61	\$ 14.71	\$ 22,956.12
6	2.3. RELLENO DE CAMA DE ARENA	M3	97.54	\$ 15.71	\$ 1,532.04
7	2.4. RELLENO CON GRAVA COMPACTADA	M3	1072.92	\$ 19.10	\$ 20,491.64
8	2.5. REPLANTILLO CON SUELO MEJORADO, INCLUYE TRANSPORTE	M3	195.08	\$ 16.32	\$ 3,184.57
9	2.6. DESALOJO DE MATERIAL HASTA 5KM	M3	1365.54	\$ 2.36	\$ 3,220.75
	<b>3. INSTALACIÓN DE NUEVAS TUBERÍAS, ACCESORIOS Y VÁLVULAS</b>				<b>\$ 22,217.11</b>
10	3.1. TRAZADO Y REPLANTEO PARA TUBERIAS	ML	1625.64	\$ 0.63	\$ 1,027.08
11	3.2. SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA DE PVC U/Z 50MM - 0.63MPA	ML	1352.75	\$ 11.42	\$ 15,452.60
12	3.3. SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA DE PVC E/C 32MM - 0.80MPA	ML	155.30	\$ 7.72	\$ 1,199.40
13	3.4. SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA DE PVC E/C 25MM - 1.00MPA	ML	117.59	\$ 3.12	\$ 366.73
14	3.5. COLOCACION DE VÁLVULAS DE COMPUERTA	U	31.00	\$ 53.37	\$ 1,654.50
15	3.6. CAJA DE OPERACION DE VALVULAS	U	21.00	\$ 119.85	\$ 2,516.81
	<b>4. CONSTRUCCIÓN DEL TANQUE ELEVADO de 400 M3</b>				<b>\$ 87,210.79</b>
16	4.1. LIMPIEZA Y DESBROCE	M2	342.25	\$ 2.27	\$ 777.00
17	4.2. REPLANTEO Y NIVELACION	M2	125.44	\$ 1.09	\$ 136.38
18	4.3. EXCAVACIÓN Y DESALOJO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL TANQUE	M3	225.79	\$ 16.13	\$ 3,642.51
19	4.4. REPLANTILLO H.S. $f_c = 140 \text{ Kg/cm}^2$	M3	2.19	\$ 94.29	\$ 206.21
20	4.5. HORMIGÓN SIMPLE $f_c = 240 \text{ Kg/cm}^2$	M3	132.29	\$ 121.18	\$ 16,030.33
21	4.6. ACERO DE REFUERZO $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$	KG	14828.13	\$ 4.48	\$ 66,418.37
	<b>5. MOVIMIENTO DE TIERRA PARA REEMPLAZO DE TUBERÍAS</b>				<b>\$ 361,379.72</b>
22	5.1. EXCAVACIÓN A MÁQUINA EN SUELO SIN CLASIFICAR	M3	15089.40	\$ 6.39	\$ 96,400.21
23	5.2. RELLENO COMPACTADO CON MATERIAL DE SITIO	M3	8047.68	\$ 14.71	\$ 118,378.69
24	5.3. RELLENO DE CAMA DE ARENA	M3	502.98	\$ 15.71	\$ 7,900.20
25	5.4. RELLENO CON GRAVA COMPACTADA	M3	5532.78	\$ 19.10	\$ 105,670.04
26	5.5. REPLANTILLO CON SUELO MEJORADO, INCLUYE TRANSPORTE	M3	1005.96	\$ 16.32	\$ 16,422.00
27	5.6. DESALOJO DE MATERIAL HASTA 5KM	M3	7041.72	\$ 2.36	\$ 16,608.57
	<b>6. REEMPLAZO DE TUBERÍAS EN LA RED</b>				<b>\$ 175,801.50</b>
28	6.1. SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA DE PVC U/Z 200MM - 0.50MPA	ML	965.00	\$ 67.79	\$ 65,413.49
29	6.2. SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA DE PVC U/Z 160MM - 0.50MPA	ML	296.00	\$ 59.85	\$ 17,716.38

30	6.3. SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA DE PVC U/Z 110MM - 0.50MPA	ML	795.00	\$ 31.88	\$ 25,344.28
31	6.4. SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA DE PVC U/Z 90MM - 0.50MPA	ML	366.00	\$ 24.99	\$ 9,147.74
32	6.5. SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA DE PVC U/Z 63MM - 0.63MPA	ML	930.00	\$ 20.05	\$ 18,650.07
33	6.6. SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA DE PVC U/Z 50MM - 0.63MPA	ML	1640.00	\$ 11.42	\$ 18,733.88
34	6.7. SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA DE PVC E/C 40MM - 0.63MPA	ML	1231.00	\$ 9.14	\$ 11,255.16
35	6.8. SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA DE PVC E/C 32MM - 0.80MPA	ML	609.00	\$ 7.72	\$ 4,703.37
36	6.9. SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA DE PVC E/C 25MM - 1.00MPA	ML	1551.00	\$ 3.12	\$ 4,837.13
	<b>7. PLAN DE MANEJO AMBIENTAL</b>				<b>\$ 75,353.86</b>
37	7.1. AGUA PARA CONTROLAR EL POLVO POR EXCAVACIONES	M3	5599.43	\$ 6.73	\$ 37,709.67
38	7.2. SEÑALIZACION DE OBRA	U	30.00	\$ 13.72	\$ 411.49
39	7.3. PLANTACIÓN Y COBERTURA VEGETAL	M2	10358.24	\$ 3.59	\$ 37,232.69
<b>Costo Directo</b>					<b>\$ 799,814.48</b>
<b>Costos Indirectos 23.00%</b>					<b>\$ 183,957.33</b>
<b>Costo total de la obra</b>					<b>\$ 983,771.81</b>

Es importante mencionar que el costo de construcción del nuevo tanque es de USD90,835.61 considerando las obras preliminares. El resto de las actividades que consisten en la construcción del nuevo trazado de tubería, que repartirá agua hacia la zona de admisiones, y el reemplazo de tuberías de la red existente, tiene un costo de USD708,978.87 y depende del cliente si desea implementar esta solución a corto o largo plazo.

Adicionalmente, al presupuesto referencial determinado se le debe sumar el monto del presupuesto del plan de manejo ambiental obtenido en el capítulo de evaluación de impacto ambiental el cual se resume en la siguiente tabla.

**Tabla 5.3. Tabla resumen del presupuesto para el Plan de Manejo Ambiental [López & Zambrano, 2021].**

Cronograma del Plan de Manejo Ambiental														
PMA	meses												Costo \$	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Plan de Prevención y Mitigación de Impactos.														\$ 6774.83
Plan de Manejo de Desechos.														\$ 2963.42
Plan de Relaciones Comunitarias														\$ 650.00
Plan de Contingencias														\$ 4595.45
Plan de Comunicación y Capacitación														\$ 950.00
Plan de Seguridad y Salud Ocupacional.														\$ 3180.98
Plan de Monitoreo y Seguimiento.														\$ 4000.50
Plan de Rehabilitación														\$ 12180.00
Plan de Cierre, abandono y entrega del área.														\$ 1780.00
<b>TOTAL</b>													<b>\$ 37075.18</b>	

Por lo tanto, el presupuesto total para la implementación de la alternativa 1 es de USD836,887.50 y se lo muestra en la siguiente tabla resumen.

**Tabla 5.4. Presupuesto total de la alternativa 1 [López & Zambrano, 2021].**

Costo de la obra	Costo del Plan de Manejo Ambiental	Costo total de obra
\$ 799,814.48	\$ 37,075.18	\$ 836,889.66

Los costos indirectos resultan en un 23.00% del costo total de la obra. En la tabla 5.5 se muestra el resumen del desglose de los costos indirectos, en la sección de anexos se muestra el desglose completo para la alternativa 1.

**Tabla 5.5. Resumen de costos indirectos para la alternativa 1 [López & Zambrano, 2021].**

Concepto	%	Valor en dólares
Gastos Administrativos	6.75	54,000.00
Gastos Operativos	5.33	42,600.00
Utilidad	8.00	63,985.16
Imprevistos	2.45	19,595.45
Financiamiento	0.47	3759.13
<b>Total</b>	<b>23.00</b>	<b>183,939.74</b>

## **2. Alternativa 2: Sistema de riego mediante estación de bombeo.**

El presupuesto preliminar para la alternativa 2, que consiste solamente en el sistema de bombeo, es de USD93,994.33, teniendo el mayor porcentaje del costo las actividades que están dentro de la fase de preliminares y varios, con un 70.82% del costo total contractual, tal como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 5.6. Resumen de costos para las principales fases de la alternativa 2 [López & Zambrano, 2021].**

Fase del proyecto	Precio	Porcentaje
1. Preliminares y varios	\$ 66,562.90	70.82%
2. Red de distribución: Válvulas, tuberías y accesorios	\$ 27,431.43	29.18%
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 93,994.33</b>	<b>100%</b>

Para esta alternativa, además, propone el cambio de tuberías para optimizar la red. A continuación, se muestra el presupuesto referencial desglosado para la segunda alternativa incluyendo el cambio que se propone completo de las tuberías:

**Tabla 5.7. Presupuesto referencial para la alternativa 2 [López & Zambrano, 2021].**

<b>PRESUPUESTO DE OBRA, ALTERNATIVA 2</b>						
<b>OBRA</b>	ANALISIS DEL SISTEMA EXISTENTE Y DISEÑOS DE OPTIMIZACION DEL SISTEMA MATRIZ DE AGUA POTABLE DE LA ESPOL					<b>FECHA</b>
<b>UBICACION</b>	CAMPUS GUSTAVO GALINDO, ESPOL, KM 30.5 VIA PERIMETRAL					<b>HOJA</b>
<b>PRESUPUESTO REFERENCIAL PARA LA OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE RIEGO MEDIANTE ESTACIÓN DE BOMBEO</b>						
<b>NÚMERO DE RUBRO</b>	<b>ITEM</b>	<b>RUBROS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>PRECIO TOTAL</b>
	<b>1</b>	<b>PRELIMINARES Y VARIOS</b>				<b>\$ 66,562.90</b>
1	1.1	REPLANTEO Y NIVELACION	M2	65.00	\$ 1.09	\$ 70.67
2	1.2	CASETA DE OFICINA (INCLUYE ILUMINACION E INSTALACIONES ELECTRICAS)	M2	20.00	\$ 78.25	\$ 1,564.93
3	1.3	CASETA PARA GUARDIAN (INCLUYE ILUMINACION E INSTALACIONES ELECTRICAS)	M2	10.00	\$ 66.99	\$ 669.91
4	1.4	BATERIAS SANITARIAS (INCLUYE INSTALACION)	U	3.00	\$ 355.61	\$ 1,066.82
5	1.5	TRAZADO Y REPLANTEO PARA TUBERIAS	M2	1100.40	\$ 1.09	\$ 1,196.35
6	1.6	EXCAVACIÓN A MÁQUINA EN SUELO SIN CLASIFICAR	M3	2594.14	\$ 6.39	\$ 16,572.93
7	1.7	RELLENO COMPACTADO CON MATERIAL DE SITIO	M3	1414.40	\$ 14.71	\$ 20,805.35
8	1.8	RELLENO DE CAMA DE ARENA	M3	88.40	\$ 15.71	\$ 1,388.48
9	1.9	RELLENO CON GRAVA COMPACTADA	M3	919.36	\$ 19.10	\$ 17,558.77
10	1.10	REPLANTILLO CON SUELO MEJORADO, INCLUYE TRANSPORTE	M3	176.80	\$ 16.32	\$ 2,886.21
11	1.11	DESALOJO DE MATERIAL HASTA 5KM	M3	1179.74	\$ 2.36	\$ 2,782.48
	<b>2</b>	<b>RED DE DISTRIBUCION: VALVULAS, TUBERIAS Y ACCESORIOS</b>				<b>\$ 27,431.43</b>
12	2.1	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA DE PVC U/Z 63MM - 0.63MPA	ML	160.00	\$ 20.05	\$ 3,208.42
13	2.2	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA DE PVC U/Z 50MM - 0.63MPA	ML	433.00	\$ 11.42	\$ 4,946.17
14	2.3	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA DE PVC E/C 40MM - 0.63MPA	ML	85.00	\$ 9.14	\$ 777.10

15	2.4	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA DE PVC E/C 25MM - 1.00MPA	ML	52.00	\$ 3.12	\$ 162.14
16	2.5	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA DE PVC E/C 3/4" - 1.00MPA	ML	1038.00	\$ 4.83	\$ 5,017.41
17	2.6	EQUIPO DE BOMBEO Q=11.80 L/S; 30HP	U	3.00	\$ 2,833.60	\$ 8,500.81
18	2.7	COLOCACION DE VALVULAS DE AIRE	U	3.00	\$ 54.57	\$ 163.71
19	2.8	COLOCACION DE VALVULAS DE COMPUERTA	U	2.00	\$ 53.37	\$ 106.74
20	2.9	COLOCACION DE VALVULAS DE PURGA	U	1.00	\$ 52.70	\$ 52.70
21	2.10	CAJA DE OPERACION DE VALVULAS	U	7.00	\$ 119.85	\$ 838.94
22	2.11	SUMINISTRO E INSTALACION DE REDUCTOR 63X50MM	U	1.00	\$ 3.96	\$ 3.96
23	2.12	SUMINISTRO E INSTALACION DE REDUCTOR 50X32MM	U	2.00	\$ 0.79	\$ 1.58
24	2.13	SUMINISTRO E INSTALACION DE REDUCTOR 32X25MM	U	2.00	\$ 0.68	\$ 1.36
25	2.14	SUMINISTRO E INSTALACION DE REDUCTOR 1X3/4"	U	1.00	\$ 0.50	\$ 0.50
26	2.15	SUMINISTRO E INSTALACION DE YEE PVC, 50MM	U	1.00	\$ 2.38	\$ 2.38
27	2.16	SUMINISTRO E INSTALACION DE CODOS 45°, D=3/4"	U	4.00	\$ 0.52	\$ 2.08
28	2.17	SUMINISTRO E INSTALACION DE CODOS 22.5°, D=50MM	U	1.00	\$ 1.28	\$ 1.28
29	2.18	SUMINISTRO E INSTALACION DE CODOS 15°, D=50MM	U	3.00	\$ 1.21	\$ 3.63
30	2.19	SEÑALIZACION DE OBRA	U	20.00	\$ 13.72	\$ 274.33
31	2.20	AGUA PARA CONTROLAR EL POLVO POR EXCAVACIONES	M3	500.00	\$ 6.73	\$ 3,366.21
<b>COSTO DIRECTO</b>						<b>\$ 93,994.33</b>
<b>COSTOS DIRECTOS 25%</b>						<b>\$ 23,498.58</b>
<b>COSTO TOTAL DE OBRA</b>						<b>\$ 117,492.91</b>

Los costos indirectos resultan en un 25.00% del costo total de la obra. A continuación, se muestra el resumen del desglose de los costos indirectos, en la sección de anexos se muestra el desglose completo para la alternativa 2.

**Tabla 5.8. Resumen de costos indirectos para la alternativa 2 [López & Zambrano, 2021].**

Concepto	%	Valor en dólares
Gastos Administrativos	6.11	5,740.00
Gastos Operativos	7.11	6,680.00
Utilidad	10.00	9,399.43
Imprevistos	1.59	1,494.51
Financiamiento	0.20	187.99
<b>Total</b>	<b>25.00</b>	<b>23,501.93</b>

### **3. Alternativa 3: Sistema de riego mediante estación de bombeo y tanque elevado.**

El presupuesto preliminar para la alternativa 3, que consiste en el sistema de bombeo junto con la construcción de un tanque elevado, es de USD168,620.64, siendo la fase de construcción con mayor porcentaje la de preliminares y varios, con un 52.30% del costo total de la obra, tal como se muestra la siguiente tabla.

**Tabla 5.9. Resumen de costos para las principales fases de la alternativa 3 [López & Zambrano, 2021].**

Fase del proyecto	Precio	Porcentaje
1. Preliminares y varios	\$ 88,012.31	52.30%
2. Red de distribución: Válvulas, tuberías y accesorios	\$ 28,226.25	16.74%
3. Tanque de reserva de 350 m3	\$ 52,382.08	31.06%
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 168,620.64</b>	<b>100%</b>

Para esta alternativa, además, propone el cambio de tuberías para optimizar la red. A continuación, se muestra el presupuesto referencial desglosado para la tercera alternativa incluyendo el cambio completo propuesto en las tuberías:

**Tabla 5.10. Presupuesto referencial para la alternativa 3 [López & Zambrano, 2021].**

<b>PRESUPUESTO DE OBRA, ALTERNATIVA 3</b>						
<b>OBRA</b>	ANALISIS DEL SISTEMA EXISTENTE Y DISEÑOS DE OPTIMIZACION DEL SISTEMA MATRIZ DE AGUA POTABLE DE LA ESPOL				<b>FECHA</b>	
<b>UBICACION</b>	CAMPUS GUSTAVO GALINDO, ESPOL, KM 30.5 VIA PERIMETRAL				<b>HOJA</b>	
<b>PRESUPUESTO REFERENCIAL PARA LA OPTIMIZACION DEL SISTEMA DE RIEGO MEDIANTE ESTACIÓN DE BOMBEO Y TANQUE ELEVADO</b>						
<b>NÚMERO DE RUBRO</b>	<b>ITEM</b>	<b>RUBROS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>PRECIO TOTAL</b>
	<b>1</b>	<b>PRELIMINARES Y VARIOS</b>				<b>\$ 88,012.31</b>
1	1.1	REPLANTEO Y NIVELACION	M2	65.00	\$ 1.09	\$ 70.67
2	1.2	CASETA DE OFICINA (INCLUYE ILUMINACION E INSTALACIONES ELECTRICAS)	M2	20.00	\$ 78.25	\$ 1,564.93
3	1.3	CASETA PARA GUARDIAN (INCLUYE ILUMINACION E INSTALACIONES ELECTRICAS)	M2	10.00	\$ 66.99	\$ 669.91
4	1.4	BATERIAS SANITARIAS (INCLUYE INSTALACION)	U	3.00	\$ 358.01	\$ 1,074.03
5	1.5	TRAZADO Y REPLANTEO PARA TUBERIAS	M2	3637.97	\$ 1.09	\$ 3,955.17
6	1.6	EXCAVACION A MAQUINA EN SUELO SIN CLASIFICAR	M3	3365.50	\$ 6.39	\$ 21,500.85
7	1.7	RELLENO COMPACTADO CON MATERIAL DE SITIO	M3	1812.80	\$ 14.71	\$ 26,665.68
8	1.8	RELLENO DE CAMA DE ARENA	M3	113.30	\$ 15.71	\$ 1,779.58
9	1.9	RELLENO CON GRAVA COMPACTADA	M3	1223.64	\$ 19.10	\$ 23,370.19
10	1.10	REPLANTILLO CON SUELO MEJORADO, INCLUYE TRANSPORTE	M3	226.60	\$ 16.32	\$ 3,699.18
11	1.11	DESALOJO DE MATERIAL HASTA 5KM	M3	1552.70	\$ 2.36	\$ 3,662.13
	<b>2</b>	<b>RED DE DISTRIBUCION: VALVULAS, TUBERIAS Y ACCESORIOS</b>				<b>\$ 28,226.25</b>
12	2.1	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA DE PVC U/Z 90MM - 0.5MPA	ML	391.00	\$ 22.35	\$ 8,739.86
13	2.2	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA DE PVC U/Z 63MM - 0.63MPA	ML	726.00	\$ 20.05	\$ 14,558.18
14	2.3	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA DE PVC E/C 25MM - 1.00MPA	ML	1149.00	\$ 2.40	\$ 2,756.20

15	2.4	EQUIPO DE BOMBEO Q=11.80 L/S; 5HP	U	1.00	\$ 928.09	\$ 928.09
16	2.5	COLOCACION DE VALVULAS DE AIRE	U	3.00	\$ 54.57	\$ 163.71
17	2.6	COLOCACION DE VALVULAS DE COMPUERTA	U	2.00	\$ 53.37	\$ 106.74
18	2.7	COLOCACION DE VALVULAS DE PURGA	U	2.00	\$ 52.70	\$ 105.40
19	2.8	CAJA DE OPERACIÓN DE VALVULAS	U	7.00	\$ 119.85	\$ 838.94
20	2.9	SUMINISTRO E INSTALACION DE REDUCTOR 63X50MM	U	1.00	\$ 3.96	\$ 3.96
21	2.10	SUMINISTRO E INSTALACION DE REDUCTOR 50X32MM	U	1.00	\$ 0.79	\$ 0.79
22	2.11	SUMINISTRO E INSTALACION DE REDUCTOR 32X25MM	U	1.00	\$ 0.68	\$ 0.68
23	2.12	SUMINISTRO E INSTALACION DE REDUCTOR 1X3/4"	U	1.00	\$ 0.50	\$ 0.50
24	2.13	SUMINISTRO E INSTALACION DE YEE PVC, 63MM	U	1.00	\$ 2.58	\$ 2.58
25	2.14	SUMINISTRO E INSTALACION DE CODOS 45°, D=3/4"	U	4.00	\$ 0.52	\$ 2.08
26	2.15	SUMINISTRO E INSTALACION DE CODOS 30°, D=90MM	U	1.00	\$ 4.01	\$ 4.01
27	2.16	SUMINISTRO E INSTALACION DE CODOS 30°, D=25MM	U	7.00	\$ 0.36	\$ 2.52
28	2.17	SUMINISTRO E INSTALACION DE CODOS 15°, D=63MM	U	1.00	\$ 1.85	\$ 1.85
29	2.18	SUMINISTRO E INSTALACION DE CODOS 11.25°, D=90MM	U	2.00	\$ 4.11	\$ 8.22
30	2.19	SUMINISTRO E INSTALACION DE CODOS 11.25°, D=63MM	U	1.00	\$ 1.95	\$ 1.95
	<b>3</b>	<b>TANQUE DE RESERVA DE 350 M3</b>				<b>\$ 52,382.08</b>
31	3.1	LIMPIEZA Y DESBROCE	M2	180.99	\$ 0.76	\$ 136.83
32	3.2	EXCAVACION A MAQUINA EN SUELO SIN CLASIFICAR PARA LA CONSTRUCCION DEL TANQUE	M3	10.00	\$ 6.39	\$ 63.89
33	3.3	HORMIGON PREMEZCLADO EN MUROS F'C= 240 KG/CM2 (VACIADO Y VIBRADO)	M3	65.32	\$ 150.73	\$ 9,845.40
34	3.4	REPLANTILLO H.S F'C = 140 KG/CM2	M3	20.00	\$ 94.21	\$ 1,884.27
35	3.5	ACERO DE REFUERZO EN BARRAS FY= 4200 KG/CM2	KG	6307.86	\$ 4.48	\$ 28,254.28
36	3.6	IMPERMEABILIZACION INTERNA Y EXTERNA DE ESTRUCTURAS	M2	319.28	\$ 17.61	\$ 5,621.94
37	3.7	PINTURA Y EMPASTE EXTERIOR	M2	159.64	\$ 6.14	\$ 980.92
38	3.8	PINTURA Y EMPASTE INTERIOR	M2	159.64	\$ 4.70	\$ 750.86
39	3.9	TUBO PVC D=63MM DRENAJE	U	60.00	\$ 20.05	\$ 1,203.16
40	3.10	SEÑALIZACION DE OBRA	U	20.00	\$ 13.72	\$ 274.33

41	3.11	AGUA PARA CONTROLAR EL POLVO POR EXCAVACIONES	M3	500.00	\$ 6.73	\$ 3,366.21
<b>COSTO DIRECTO</b>						<b>\$ 168,620.64</b>
<b>COSTOS DIRECTOS 25%</b>						<b>\$ 42,155.16</b>
<b>COSTO TOTAL DE OBRA</b>						<b>\$ 210,775.81</b>

Los costos indirectos resultan en un 25.00% del costo total de la obra. A continuación, se muestra el resumen del desglose de los costos indirectos, en la sección de anexos se muestra el desglose completo para la alternativa 3.

**Tabla 5.11. Resumen de costos indirectos para la alternativa 3 [López & Zambrano, 2021].**

Concepto	%	Valor en dólares
Gastos Administrativos	7.22	12,175.00
Gastos Operativos	4.95	8,350.00
Utilidad	11.00	18,548.27
Imprevistos	1.50	2,529.31
Financiamiento	0.33	556.45
<b>Total</b>	<b>25.00</b>	<b>42,159.03</b>

De acuerdo con los datos proporcionados por el cliente, ESPOL paga en promedio USD210,639.22 anualmente en su planilla de agua potable a Interagua. Sin embargo, al realizar el análisis de balance de masa (de la), se tienen pérdidas entre el 56% y 70%, que se asume es por el riesgo de grandes áreas verdes en la zona de tecnologías y admisiones. Con todo esto, se tiene que ESPOL está pagando en promedio USD132,702.71 anualmente por agua potable usada en riego. Este valor se comprueba fácilmente cuando se observa el comportamiento del gasto en el 2020, con USD163,147.00 el cual tuvo una situación atípica en la cual durante varios meses solo se utilizó el agua de riego, habiendo inasistencia de todo el personal.

**Tabla 5.12. Gasto económico en los siguientes quince años con la alternativa 1 [López & Zambrano, 2021].**

<b>VALORES DEVENGADOS POR MES (FINANCIERO) AGUA POTABLE CAMPUS GUSTAVO GALINDO</b>				
<b>MES</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>
ENERO	20,211.22	18,319.32	22,551.21	17,393.68
FEBRERO	17,677.33	17,576.70	11,928.63	16,355.28
MARZO	12,552.17	14,053.18	12,830.18	14,365.27
ABRIL	11,772.54	14,116.71	11,549.47	17,586.82
MAYO	10,877.50	14,389.90	13,242.07	11,131.15
JUNIO	12,632.31	18,563.80	14,116.62	8,505.22
JULIO	15,477.10	22,679.40	17,077.65	11,456.06
AGOSTO	19,187.22	21,670.79	18,628.20	13,833.76
SEPTIEMBRE	17,901.19	23,055.29	18,987.68	13,427.99
OCTUBRE	16,330.62	21,630.47	22,555.75	14,188.18
NOVIEMBRE	22,547.42	22,136.50	19,560.88	13,129.06
DICIEMBRE	20,936.88	24,156.48	18,437.28	11,774.53
<b>MONTO (\$)</b>	<b>198,103.50</b>	<b>232,348.54</b>	<b>201,465.62</b>	<b>163,147.00</b>

A manera de comparación entre los costos de cada una de las alternativas, se realiza el siguiente análisis, suponiendo los siguientes escenarios:

**1. Escenario 1: ESPOL continúa haciendo uso del agua potable para el riego de ciertas áreas verdes:**

En el caso de que la ESPOL siga usando de manera inadecuada el agua potable, se tiene que construir un nuevo tanque de 400 m<sup>3</sup> de manera obligatoria, teniendo que implementar la alternativa 1, la cual tiene un costo de construcción USD90,835.61 solamente el nuevo tanque elevado, y se tendrá que seguir pagando el mismo valor de USD210,639.22 por agua potable, de los cuales USD132,702.71, es para riego. A continuación, se muestra el costo total a pagar en los siguientes quince años, asumiendo que el nuevo tanque se construirá a partir del quinto año.

**Tabla 5.13. Gasto económico en los siguientes quince años con la alternativa 1 [López & Zambrano, 2021].**

<b>Escenario 1</b>	<b>Si se quiere mantener el esquema actual</b>		
<b>Año</b>	<b>Gasto anual</b>	<b>Costo de la nueva obra</b>	<b>Gasto total anual</b>
0	\$210,639.22		\$ 210,639.22
1	\$210,639.22		\$ 210,639.22
2	\$210,639.22		\$ 210,639.22
3	\$210,639.22		\$ 210,639.22
4	\$210,639.22		\$ 210,639.22
5	\$210,639.22	\$ 90,835.61	\$ 301,474.83
6	\$210,639.22		\$ 210,639.22
7	\$210,639.22		\$ 210,639.22
8	\$210,639.22		\$ 210,639.22
9	\$210,639.22		\$ 210,639.22
10	\$210,639.22		\$ 210,639.22
11	\$210,639.22		\$ 210,639.22
12	\$210,639.22		\$ 210,639.22
13	\$210,639.22		\$ 210,639.22
14	\$210,639.22		\$ 210,639.22
15	\$210,639.22		\$ 210,639.22
<b>Acumulado</b>			<b>\$3,461,063.13</b>

**2. Escenario 2: ESPOL clausura las conexiones de riego a la red AAPP, e implementa un sistema de bombeo con agua del lago:**

Al usar agua del lago para el riego de las zonas de áreas verdes conectadas a la red AAPP, la ESPOL se ahorra en promedio anualmente USD132,702.71. Además, la segunda alternativa tiene un costo de construcción de USD23,670.26 y costo energético de USD7,420.80. Por lo tanto, en la siguiente tabla se muestra el gasto económico de los siguientes quince años, asumiendo que la implementación de la alternativa 2 será a partir del quinto año.

**Tabla 5.14. Gasto económico en los siguientes quince años implementando la alternativa 2 [López & Zambrano, 2021].**

Escenario 2	Si se usa agua de lago con sistema de bombeo			
	Año	Gasto anual	Costo de la nueva obra	Gasto total anual
0	\$210,639.22			\$ 210,639.22
1	\$210,639.22			\$ 210,639.22
2	\$210,639.22			\$ 210,639.22
3	\$210,639.22			\$ 210,639.22
4	\$210,639.22			\$ 210,639.22
5	\$210,639.22	\$ 23,670.26		\$ 234,309.48
6	\$ 77,936.51	\$ 7,420.80		\$ 85,357.31
7	\$ 77,936.51	\$ 7,420.80		\$ 85,357.31
8	\$ 77,936.51	\$ 7,420.80		\$ 85,357.31
9	\$ 77,936.51	\$ 7,420.80		\$ 85,357.31
10	\$ 77,936.51	\$ 7,420.80		\$ 85,357.31
11	\$ 77,936.51	\$ 7,420.80		\$ 85,357.31
12	\$ 77,936.51	\$ 7,420.80		\$ 85,357.31
13	\$ 77,936.51	\$ 7,420.80		\$ 85,357.31
14	\$ 77,936.51	\$ 7,420.80		\$ 85,357.31
15	\$ 77,936.51	\$ 7,420.80		\$ 85,357.31
<b>Acumulado</b>				<b>\$ 2,141,078.70</b>

Diferencia global de gastos con el escenario 1: USD1'319,994.56

**3. Escenario 3: ESPOL clausura las conexiones de riego a la red AAPP, e implementa un sistema de bombeo y tanque elevado que almacene y distribuya agua del lago:**

Al igual que en el escenario 2, con esta alternativa, la ESPOL se ahorra los USD132,702.71 de agua potable usada en riego de ciertas áreas verdes. El costo de construcción de la alternativa 3 es de USD90,120.29 y el costo energético del sistema de bombeo es de USD288.00. A continuación, se muestra el costo de la implementación de la tercera alternativa en los próximos quince años.

**Tabla 5.15. Gasto económico en los próximos quince años al implementar la alternativa 3 [López & Zambrano, 2021].**

Escenario 3	Si se usa agua de lago con sistema de bombeo y tanque elevado		
Año	Gasto anual	Costo de la nueva obra	Gasto total anual
0	\$210,639.22		\$ 210,639.22
1	\$210,639.22		\$ 210,639.22
2	\$210,639.22		\$ 210,639.22
3	\$210,639.22		\$ 210,639.22
4	\$210,639.22		\$ 210,639.22
5	\$210,639.22	\$ 90,120.29	\$ 300,759.51
6	\$ 77,936.51	\$ 288.00	\$ 78,224.51
7	\$ 77,936.51	\$ 288.00	\$ 78,224.51
8	\$ 77,936.51	\$ 288.00	\$ 78,224.51
9	\$ 77,936.51	\$ 288.00	\$ 78,224.51
10	\$ 77,936.51	\$ 288.00	\$ 78,224.51
11	\$ 77,936.51	\$ 288.00	\$ 78,224.51
12	\$ 77,936.51	\$ 288.00	\$ 78,224.51
13	\$ 77,936.51	\$ 288.00	\$ 78,224.51
14	\$ 77,936.51	\$ 288.00	\$ 78,224.51
15	\$ 77,936.51	\$ 288.00	\$ 78,224.51
<b>Acumulado</b>			<b>\$ 2,136,200.73</b>

Diferencia global de gastos con el escenario 1: USD1'324,872,53

Con la finalidad de realizar la comparación de los costos entre las tres alternativas, se presenta la siguiente tabla resumen, con lo cual se obtiene que la mejor alternativa a implementar es la número 2, ya que se tiene un menor costo de construcción, a diferencia del resto de las alternativas.

**Tabla 5.16. Comparación del gasto económico anual entre escenarios hasta el año 2035 [López & Zambrano, 2021].**

<b>Escenario1</b>	<b>Escenario2</b>	<b>Ahorro anual</b>
\$ 230,737.54	\$ 142,738.58	\$ 87,998.96
<b>Escenario1</b>	<b>Escenario3</b>	<b>Ahorro anual</b>
\$ 230,737.54	\$ 142,413.38	\$ 88,324.16
<b>Escenario2</b>	<b>Escenario3</b>	<b>Ahorro anual</b>
\$ 142,738.58	\$ 142,413.38	\$ 325.20

Lo que, expresado globalmente, da los siguientes valores:

**Tabla 5.17. Comparación del gasto económico global entre escenarios hasta el año 2035 [López & Zambrano, 2021].**

<b>Escenario1</b>	<b>Escenario2</b>	<b>Ahorro total</b>
\$3,461,063.13	\$2,141,078.70	\$1,319,984.43
<b>Escenario1</b>	<b>Escenario3</b>	<b>Ahorro total</b>
\$3,461,063.13	\$2,136,200.73	<b>\$1,324,862.40</b>
<b>Escenario2</b>	<b>Escenario3</b>	<b>Ahorro total</b>
\$2,141,078.70	\$2,136,200.73	\$ 4,877.97

### 5.3. Descripción de cantidades de obra

Todas las cantidades de obra determinadas para cada una de las alternativas se encuentran descritas detalladamente en la sección de anexos.

### 5.4. Valoración integral del costo del proyecto incluyendo las medidas de prevención y mitigación del impacto ambiental

Para cada una de las alternativas, es necesario agregar los costos del plan de manejo ambiental asociadas con las mismas, por esto, se recoge la cantidad presupuestada de cada alternativa y se le suma el costo ambiental, presentado a continuación:

**Tabla 5.18. Costos de alternativas considerando el manejo ambiental [López & Zambrano, 2021].**

<b>Proyectos</b>	<b>Presupuestos</b>	<b>Rubro ambiental</b>	<b>Precio total</b>	<b>Porcentaje de rubro ambiental</b>
Alternativa 1	\$ 779,812.32	\$ 37,075.18	\$ 816,887.50	4.53%
Alternativa 2	\$ 23,670.26	\$ -----	\$ 23,670.26	---%
Alternativa 3	\$ 90,120.29	\$ -----	\$ 90,120.29	---%

El plan de manejo ambiental incide en la propuesta más pertinente en un 4.53%, lo cual no representa un valor grande, siendo que las alternativas no harán intervención en zonas del bosque protector. Los valores determinados para el rubro ambiental, cabe recalcar, fueron determinados para la adecuación del sistema de agua potable, por lo que realmente, su valor sería mucho menor para las alternativas 2 y 3, que corresponden a diseños de sistemas de riego para las áreas verdes de la ESPOL.

### **5.5. Cronograma valorado**

La alternativa 1 que consiste en la construcción de un nuevo tanque elevado, cambio de tuberías y construcción de nuevo trazado en la red de distribución de agua potable existente, tiene un tiempo de ejecución de 238 días laborables, es decir un tiempo de 48 semanas.

Por otro lado, la alternativa 2 de sistema de riego por estación de bombeo, tiene un tiempo de ejecución de 70 días hábiles, lo cual corresponde a 4 meses.

Por último, la alternativa 3, que consiste en la implementación de una reserva elevada, tiene un tiempo de ejecución de 84 días laborables, correspondiendo a una ejecución en 5 meses.

Los cronogramas valorados se encuentran en la sección de anexos.

# CAPÍTULO 6

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. Conclusiones

1. Se evaluó el sistema existente de distribución de agua potable del campus ESPOL Prosperina, mediante la realización de un modelado en un software de análisis de redes, para la determinación de los datos de presiones y caudales en el sistema, y se obtuvo lo siguiente:
  - 1.1. El sistema existente de agua potable en el campus Gustavo Galindo, presenta problemas de pérdidas del 56% al 70%, con gastos anuales por el uso de agua de riego entre USD113,745.35 y USD141,660.24, debido a una mala práctica de riego de grandes áreas verdes con agua potable, lo que constituye un desperdicio y, en consecuencia, un gasto excesivo anualmente por concepto de planilla de agua potable.
  - 1.2. La red de agua potable en la ESPOL posee un diseño inadecuado en los diámetros de sus tuberías. El sobredimensionamiento existente arroja valores de presión por encima de los recomendados por la NEC, lo que ocasiona daños y fugas no localizadas a lo largo del sistema, y a su vez es causa de bajas velocidades y sedimentación en la mayoría de las zonas del campus, lo que incrementa la regularidad en la que estas deben recibir mantenimiento.
  - 1.3. Las condiciones actuales de la red no son capaces de satisfacer la demanda proyectada para el año 2035 de 24699 personas, si se sigue haciendo uso del agua potable en el riego de áreas verdes, para lo cual, se necesitará un volumen de reserva del tanque elevado de 1360 m<sup>3</sup>, siendo la capacidad actual del tanque elevado 1000 m<sup>3</sup>, viéndose la necesidad de implementar un nuevo tanque elevado, estimado en 400m<sup>3</sup>.
2. Se propuso alternativas, de acuerdo con las condiciones existentes del sistema de distribución de agua potable, para la implementación de soluciones que permitan un óptimo uso del recurso hídrico en el campus ESPOL-Prosperina, entre las cuales se encuentran:
  - 2.1. Diseño de un nuevo tanque elevado que esté en funcionamiento al mismo tiempo con el tanque actual, permitiendo que se puedan realizar trabajos de

- mantenimiento en ambos tanques sin interrumpir el servicio de agua en el campus.
- 2.2. Clausurar las tuberías de riego conectadas a la red de agua potable, y optimizar el riego de áreas verdes, con agua del lago mediante:
- 2.2.1. Implementación de una estación de bombeo directa el cual suministrará agua del lago para el riego de plantas en las zonas que actualmente se encuentran conectadas a la red de agua potable.
- 2.2.2. Implementación de una estación de bombeo junto con un tanque elevado que almacene agua del lago y la reparta hacia las zonas de áreas verdes mediante gravedad.
3. Se diseñó a nivel de pre-factibilidad la mejor alternativa que reduzcan el mal uso o consumo del agua potable en ciertas zonas del campus, y a su vez que sea económicamente viable, tomando en consideración los costos de construcción, operación y mantenimiento (OPEX), y se encontró que:
- 3.1. Debido a los problemas de operación de la red de agua potable actual, es necesario realizar cambios en válvulas y tuberías, para corregir las deficiencias existentes por los aspectos de bajas velocidades, presiones elevadas y falta de mantenimiento.
- 3.2. Para la implementación de la alternativa 1, el volumen del tanque elevado que trabaje en paralelo al tanque elevado actual tiene un volumen aproximado de 400 m<sup>3</sup>.
- 3.3. Para la implementación de la alternativa 2, la potencia de la bomba requerida es de 90HP.
- 3.4. Para la implementación de la alternativa 3, el volumen del tanque elevado requerido es de 350 m<sup>3</sup>, con la potencia de la bomba requerida de 5 HP.
4. Se generaron los planos de cada una de las alternativas para la optimización del sistema de distribución de agua potable de la ESPOL, con su análisis ambiental y presupuesto referencial para su implementación, con lo cual se obtuvo que:
- 4.1. La alternativa 1, la cual consiste en la implementación de un nuevo tanque elevado, tiene un costo de construcción de USD90,835.61 y debe implementarse de manera obligatoria en el caso de que la ESPOL siga haciendo un mal uso del agua potable para el riego de ciertas áreas verdes.
- 4.2. La alternativa 2, que se basa en la implementación de un sistema de bombeo que utiliza el agua del lago de ingenierías para el riego de las áreas verdes de

las zonas de tecnologías y admisiones, tiene un costo de construcción de USD23,670.26 y un costo energético para el sistema de bombeo de USD7,420.80. Adicionalmente, se tiene un ahorro económico en los pagos anuales de agua de USD132,702.71.

- 4.3. La alternativa 3, que consiste en la creación de un sistema de bombeo mucho más pequeño (en comparación con la alternativa 2) que trabaje junto con un tanque elevado y distribuya agua del lago mediante gravedad hacia las zonas de riego, tiene un costo de construcción de USD90,120.29 y costo energético de USD288.00, lo cual hace que sea la alternativa más recomendable a implementar, ya que genera un menor gasto económico a largo plazo y la ESPOL se ahorra la cantidad de dinero que se pagando actualmente por el riego de ciertas áreas verdes en el campus.

## **6.2. Recomendaciones**

1. En base a los datos provisionados a través del catastro de válvulas, se conoce que varias de estas operan actualmente en un mal estado, por ello, se recomienda una revisión y cambio progresivo para el correcto funcionamiento de estas.
2. Se recomienda realizar los cambios de tubería paulatinamente, aprovechando las situaciones en que se tengan que realizar reparaciones en ciertos tramos de la red, ya que de esta manera se evita molestias en todo el campus durante la ejecución del trabajo y no es necesario contar con todo el presupuesto para realizar mejorar el sistema, sino que se lo puede hacer a largo plazo.
3. La condición actual del equipo de bombeo de la ESPOL consiste en 2 bombas en paralelo en configuración 1+1, lo cual, debido a las pérdidas e incapacidad de las mismas de llenar el tanque elevado actual diariamente, pueden llegar a operar hasta 21 horas diarias simultáneamente, lo cual reduce su vida útil, y para labores de mantenimiento o reemplazo implica el desabastecimiento de agua potable de todo el campus Gustavo Galindo. Por lo tanto, si se desea mantener el esquema actual, se recomienda implementar un nuevo equipo de bombeo de similares características de tal manera que trabaje como un sistema 2+1 para que siempre se encuentre una bomba disponible y que las mismas operen en los rangos adecuados de tiempo.

4. Las condiciones actuales del sistema de bombeo presentan problemas de operación. En base al análisis del sistema, los diámetros son superiores a los requeridos y se encuentran bajas velocidades y altas presiones, lo cual provoca fugas en las uniones o intersecciones de tramos de tuberías, por ello, se recomienda un mantenimiento constante del sistema o el cierre de las conexiones de tuberías destinadas al riego de áreas verdes y la implementación de un nuevo sistema de riego a través del agua del lago de la ESPOL.
5. El diseño estructural del nuevo tanque elevado para agua potable y para riego se encuentra fuera del alcance de este trabajo, por lo que se recomienda realizar un trabajo de tesis para el diseño definitivo de los tanques, considerando las solicitaciones de carga por peso propio y efectos de sismo debido a que la ubicación del proyecto se encuentra en una zona de alta sismicidad.
6. Se recomienda realizar un mantenimiento constante en el sistema de distribución de agua potable, para evitar el deterioro de las válvulas y tuberías. Además, es importante realizar este tipo de trabajos en las tuberías que, a pesar de reducir su diámetro para optimizar el funcionamiento del sistema, tienen bajas velocidades por la razón de que se debía mantener presiones adecuadas en los puntos de consumo. Esto debe realizarse con el fin de evitar sedimentación en su interior y no afectar la calidad del agua.
7. Para cada una de las alternativas ofrecidas en el presente informe, se recomienda atención y seguimiento de las indicaciones ofrecidas en el análisis ambiental, a fin de mitigar alteraciones en las zonas intervenidas y dar mantenimiento a las partes de los diseños que más lo requieran.

# REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARCONEL. (2020). *Pliego Tarifario para las Empresas Eléctricas de Distribución*. Quito.
- Ávalos, R. I., & Guerrero, R. A. (2020). *Diagnóstico y propuesta de soluciones técnicas para el sistema de aguas servidas del campus Gustavo Galindo*. Guayaquil.
- Bentley Institute. (2010). *WaterCAD/GEMS V8i, Curso de Modelación y Diseño de Sistemas de Distribución, Intermedio (sistema métrico)*. Bentley Systems Incorporated.
- Carrazón, J. (2007). *Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego*. Tegucigalpa.
- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. (2002). *Operación y mantenimiento de plantas*. Lima.
- CEPIS. (2005). *GUÍAS PARA EL DISEÑO DE RESERVORIOS ELEVADOS DE AGUA POTABLE*. Lima.
- CLIRSEN & SIGAGRO. (2011). *Generación de Geoinformación para la Gestión del Territorio a Nivel Nacional Escala 1:25000*. Guayaquil.
- CPE INEN 5. (1992). *NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE PARA POBLACIONES MAYORES A 1000 HABITANTES*. Quito.
- Cruz, O., & Hidalgo, K. (2021). *Plan Maestro de Agua Potable, Alcantarillado Sanitario y Pluvial para la ESPOL*. Guayaquil.
- Diebel, J., Norda, J., & Kretchmer, O. (2018). *Weather Spark*. Obtenido de Weather Spark: <https://es.weatherspark.com/y/19346/Clima-promedio-en-Guayaquil-Ecuador-durante-todo-el-a%C3%B1o#Sections-Humidity>
- Escuela Superior Politécnica del Litoral. (2019). *ESPOL Ecológico*. Obtenido de ESPOL Ecológico: <https://www.espol.edu.ec/es/espol-ecológico>
- Fundación Aqueae. (2021). *¿Cuánta agua potable hay en la Tierra?* Obtenido de <https://www.fundacionaqueae.org/cantidad-de-agua-potable-fuente-de-vida/>
- Government of National Unity (GONU). (2009). *Technical Guidelines for the Construction and Management of Drinking Water Distribution Networks*. Khartoum.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2014). *Agua potable. Requisitos*. Quito. doi:ICS: 13.060.20
- López Cualla, R. A. (1995). *Elementos de Diseño para Acueductos y Alcantarillados*. Bogotá: Centro Editorial, Escuela Colombiana de Ingeniería. doi:ISBN 958-95742-0-3
- Metcalf, & Eddy. (2004). *Wastewater Engineering Treatment and Reuse (International Edition)*. Singapur.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca; Consorcio TRACASA/NIPSA. (2015). *Levantamiento de Cartografía Temática escala 1:25000, Lote 2*.
- NEC, N. (2011). *NORMA HIDROSANITARIA NHE AGUA*. Quito.

- R. Qasim, S. (2002). *Water Works Engineering: Planning, Design And Operation*. New Delhi: Prentice Hall. doi:ISBN: 81-203-2153-7
- SEMARNAT, CONAGUA. (2016). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Diseño de Redes de Distribución de Agua Potable*. Tlalpan. doi:ISBN: 978-607-626-012-8
- WWAP (World Water Assessment Programme). (2012). *The United Nations World Water Development Report 4: Managing Water under Uncertainty and Risk*. (pág. 125). France: UNESCO Publishing.

# CAPÍTULO 7

## 7. ANEXOS

### FORMULARIO DE REGISTRO AMBIENTAL

<b>TRAMITE (suia)</b>	Registro Ambiental
<b>FECHA</b>	13/08/2021
<b>PROPONENTE</b>	Joel López y Carlos Zambrano
<b>ENTE RESPONSABLE</b>	Escuela Superior Politécnica del Litoral

1. INFORMACION DEL PROYECTO					
<b>Registro Ambiental</b>  <b>1. Información del proyecto</b> 2. Datos generales 3. Marco legal referencial 4. Descripción del proceso 5. Descripción del área de implantación 6. Principales impactos ambientales 7. Plan de manejo ambiental (PMA) 8. Inventario forestal 9. Finalización	<b>1.1 PROYECTO, OBRA O ACTIVIDAD</b> (Fases y nombre proyecto)  Análisis del Sistema Existente y Diseños de Optimización del Sistema Matriz de Agua Potable de la ESPOL.				
	<b>1.2 ACTIVIDAD ECONOMICA</b> (Según Catalogo de proyecto, obra o actividad)				
	<table border="1"> <tr> <th>Código de catalogo</th> <td>Ampliación, rehabilitación y mejoramiento de líneas de conducción de agua.</td> </tr> <tr> <td>23.4.2.1.2.2</td> <td></td> </tr> </table>	Código de catalogo	Ampliación, rehabilitación y mejoramiento de líneas de conducción de agua.	23.4.2.1.2.2	
	Código de catalogo	Ampliación, rehabilitación y mejoramiento de líneas de conducción de agua.			
	23.4.2.1.2.2				
<b>1.3 RESUMEN DEL PROYECTO, OBRA O ACTIVIDAD</b> (Según Catalogo de proyecto, obra o actividad)					
<p>Con base en las grandes pérdidas anuales de agua potable que tiene el campus Gustavo Galindo de la ESPOL, se crea la necesidad de realizar el diagnóstico del sistema matriz de agua potable actual, identificando las posibles fallencias y problemas que generan estos grandes desperdicios. Adicionalmente, se realiza un rediseño optimizado del sistema de distribución de agua potable a nivel de prefactibilidad, para poder cubrir con la demanda actual y futura con un período de diseño de 15 años, considerando criterios técnicos y de sostenibilidad, y haciendo uso de las normativas locales e internacionales, con el fin de poder obtener un presupuesto referencial para la implementación del proyecto.</p>					

2. DATOS GENERALES			
SISTEMA DE COORDENADAS (WGS-84)			
	ESTE (X)	NORTE (Y)	ALTITUD (msnm)
<b>Registro Ambiental</b>  <b>1. Información del proyecto</b> <b>2. Datos generales</b> 3. Marco legal referencial 4. Descripción del proceso 5. Descripción del área de implantación 6. Principales impactos ambientales 7. Plan de manejo ambiental (PMA) 8. Inventario forestal 9. finalización	614476.89	9762662.52	25.00 – 118.00
	614868.88	9762224.87	
	615575.73	9761809.19	
	616118.45	9761851.80	
	617050.86	9762200.00	
	617565.42	9762475.21	
	617544.92	9762890.97	
	617394.86	9763099.92	
	617137.13	9763204.28	
	616221.00	9763225.52	
615700.00	9763272.66		

	615143.69	9763345.75	
	614789.40	9763336.73	
	614575.58	9763106.16	
<b>ESTADO DEL PROYECTO, OBRA O ACTIVIDAD (FASE)</b>			
	<input checked="" type="checkbox"/>	Construcción	
	<input checked="" type="checkbox"/>	Rehabilitación y/o Ampliación	
	<input type="checkbox"/>	Operación y mantenimiento	
	<input type="checkbox"/>	Cierre y Abandono	
<b>DIRECCION DEL PROYECTO, OBRA O ACTIVIDAD</b>			
Km 30.5 de la vía Perimetral, Guayaquil, Ecuador.			
<b>PROVINCIA</b>	<b>CANTON</b>	<b>PARROQUIA</b>	
Guayas	Guayaquil	Tarqui	
<b>TIPO DE ZONA</b>			
	Urbana	<input checked="" type="checkbox"/>	
	Rural	<input type="checkbox"/>	

<b>Registro Ambiental</b> 1. Información del proyecto 2. <b>Datos generales</b> 3. Marco legal referencial 4. Descripción del proceso 5. Descripción del área de implantación 6. Principales impactos ambientales 7. Plan de manejo ambiental (PMA) 8. Inventario forestal 9. Finalización	<b>DATOS DEL PROMOTOR</b>					
	<b>NOMBRE</b>					
	M.Sc. Carola María Gordillo Vera					
	<b>CORREO ELECTRONICO DEL PROMOTOR</b>		<b>TELEFONO/CELULAR</b>			
	cgordill@espol.edu.ec		0981130986			
	<b>DOMICILIO DEL PROMOTOR</b>					
	Campus Gustavo Galindo Velasco Km 30.5 Vía Perimetral					
	<b>CARACTERISTICAS DE LA ZONA</b>					
	<b>Infraestructura:</b>					
		<input type="checkbox"/>	Industrial			
		<input checked="" type="checkbox"/>	Otros: Saneamiento (Diseño de red primaria de distribución AAPP)			
	<b>DESCRIPCION DE LA ZONA</b>					
	El campus Gustavo Galindo es una ciudad universitaria ubicada en Guayaquil, Ecuador, situado en el Bosque Protector Prosperina; zona de gran biodiversidad. El campus tiene una extensión de 151 hectáreas de las 711 totales que comprende la ESPOL.					
	<b>ESPACIO FISICO DEL PROYECTO</b>					
	Área del proyecto (m <sup>2</sup> )		1510000	Área de implantación (m <sup>2</sup> )	690	
Agua potable	X	SI	NO	Consumo de agua por mes (m <sup>3</sup> )	17.964	
Energía eléctrica	X	SI	NO	Consumo energía eléctrica por mes (Kw/h)	---	
Acceso vehicular	X	SI	NO	Tipo de vías:	Vías Principales	X
Alcantarillado	x	SI	NO		Vías Secundarias	X
<b>SITUACION DEL PREDIO</b>						
	<input type="checkbox"/>	Alquiler				
	<input type="checkbox"/>	Concesionadas				
	<input checked="" type="checkbox"/>	Propia				
	<input type="checkbox"/>	Otros				

<b>Registro Ambiental</b>	<b>3. MARCO LEGAL REFERENCIAL</b>	
	Usted deberá ajustarse al siguiente marco legal	
	<b>NORMATIVAS</b>	
Constitución de la República del Ecuador		

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Información del proyecto</li> <li>2. Datos generales</li> <li><b>3. Marco legal referencial</b></li> <li>4. Descripción del proceso</li> <li>5. Descripción del área de implantación</li> <li>6. Principales impactos ambientales</li> <li>7. Plan de manejo ambiental (PMA)</li> <li>8. Inventario forestal</li> <li>9. Finalización</li> </ol>	<p>Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, <i>sumak kawsay</i>. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.</p> <p>Art. 66.- Se reconoce y garantizará a las personas: 27. El derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado, libre de contaminación y en armonía con la naturaleza.</p> <p>Art. 276.- El régimen de desarrollo tendrá los siguientes objetivos: 4. Recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural</p>
	<p><b>Ley de Gestión Ambiental</b></p> <p>Art. 19.- Las obras públicas, privadas o mixtas, y los proyectos de inversión públicos o privados que puedan causar impactos ambientales, serán calificados previamente a su ejecución, por los organismos descentralizados de control, conforme el Sistema Único de Manejo Ambiental, cuyo principio rector será el precautelatorio.</p> <p>Art. 20.- Para el inicio de toda actividad que suponga riesgo ambiental se deberá contar con la licencia respectiva, otorgada por el Ministerio del ramo</p>
	<p><b>Ley de Fomento y Desarrollo Agropecuario</b></p> <p>Art. ...- Los centros agrícolas, cámaras de agricultura y organizaciones campesinas sujetas de crédito del Banco Nacional de Fomento y las empresas importadoras de maquinaria, equipos, herramientas e implementos de uso agropecuario, nuevos de fábrica, podrán también importar dichos bienes reconstruidos o repotenciados, que no se fabriquen en el país, dotados de los elementos necesarios para prevenir la contaminación del medio ambiente, previa autorización del Ministerio de Agricultura y Ganadería, con la obligación de mantener una adecuada provisión y existencia de repuestos para estos equipos, así como del suministro de servicios técnicos de mantenimiento y reparación durante todo el período de vida útil de estos bienes, reconociéndose como máximo para el efecto, el período de diez años desde la fecha de la importación. El Ministerio de Agricultura y Ganadería sancionará a las empresas importadoras de equipos reconstruidos o repotenciados, que no suministren inmediatamente los repuestos o servicios, con una multa de mil a cinco mil dólares de los Estados Unidos de Norteamérica y, dichas empresas quedarán obligadas a indemnizar al comprador tanto por daño emergente como por lucro cesante, por todo el tiempo que la maquinaria o equipos estuvieren paralizados por falta de repuestos o servicios de reparación</p>
	<p><b>Acuerdo Ministerial 134</b></p> <p>Mediante Acuerdo Ministerial 134 publicado en el Suplemento del Registro Oficial No. 812 de 18 de octubre de 2012, se reforma el Acuerdo Ministerial No. 076, publicado en Registro Oficial Segundo Suplemento No. 766 de 14 de agosto de 2012, se expidió la Reforma al artículo 96 del Libro III y artículo 17 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, expedido mediante Decreto Ejecutivo No. 3516 de Registro Oficial Edición Especial No. 2 de 31 de marzo de 2003; Acuerdo Ministerial No. 041, publicado en el Registro Oficial No. 401 de 18 de agosto de 2004; Acuerdo Ministerial No. 139, publicado en el Registro Oficial Suplemento No. 164 de 5 de abril de 2010, con el cual se agrega el Inventario de Recursos Forestales como un capítulo del Estudio de Impacto Ambiental</p>
	<p><b>Reglamento de Seguridad para la Construcción y Obras Públicas</b></p> <p>Art. 150.- Los constructores y contratistas respetarán las ordenanzas municipales y la legislación ambiental del país, adoptarán como principio la minimización de residuos en la ejecución de la obra. Entran dentro del alcance de este apartado todos los residuos (en estado líquido, sólido o gaseoso) que genere la propia actividad de la obra y que en algún momento de su existencia pueden representar un riesgo para la seguridad y salud de los trabajadores o del medio ambiente.</p> <p>Art. 151.- Los constructores y contratistas son los responsables de la disposición e implantación de un plan de gestión de los residuos generados en la obra o centro de trabajo que garantice el cumplimiento legislativo y normativo vigente</p>
	<p><b>Acuerdo Ministerial No. 061</b></p> <p>Art. 262 "De los Informes Ambientales de Cumplimiento.- Las actividades regularizadas mediante un Registro Ambiental serán controladas mediante un Informe Ambiental de Cumplimiento, inspecciones, monitoreos y demás establecidos por la Autoridad Ambiental Competente. Estos Informes, deberán evaluar el cumplimiento de lo establecido en la normativa ambiental, plan de manejo ambiental, condicionantes establecidas en el permiso ambiental respectivo y otros que la autoridad ambiental lo establezca. De ser el caso el informe ambiental contendrá un Plan de Acción que contemple medidas correctivas y/o de rehabilitación.</p> <p><b>Art. 263 De la periodicidad y revisión.-</b> Sin perjuicio que la Autoridad Ambiental Competente pueda disponer que se presente un Informe Ambiental de Cumplimiento en cualquier momento en función del nivel de impacto y riesgo de la actividad, una vez cumplido el año de otorgado el registro ambiental a las actividades, se deberá presentar el primer informe ambiental de cumplimiento; y en lo posterior cada dos (2) años contados a partir de la presentación del primer informe de Cumplimiento.</p>
	<p><b>Reglamento para Funcionamiento de Aeropuertos en Ecuador</b></p>
	<p><b>Ordenanza que Regula la Aplicación del Subsistema de Manejo Ambiental, Control y Seguimiento Ambiental en el cantón Guayaquil</b></p>
	<p>He leído y comprendo las Normativas <input checked="" type="checkbox"/></p>

**4. DESCRIPCION DE PROCESOS – FASES**



	<b>Demografía (población más cercana)</b>	
<b>Registro Ambiental</b> 1. Información del proyecto 2. Datos generales 3. Marco legal referencial 4. Descripción del proceso 5. <b>Descripción del área de implantación</b> 6. Principales impactos ambientales 7. Plan de manejo ambiental (PMA) 8. Inventario forestal 9. Finalización	Demografía <input type="checkbox"/> Entre 0 y 1.000 hbts.	<input type="checkbox"/> Entre 1.001 y 10.000 hbts.
	<input checked="" type="checkbox"/> Entre 10.001 y 100.000 hbts.	<input type="checkbox"/> Más de 100.000 hbts.
	<b>Abastecimiento de agua población</b>	
	Abastecimiento de agua población <input type="checkbox"/> Agua lluvia	<input checked="" type="checkbox"/> Agua potable
	<input type="checkbox"/> Conexión domiciliaria	<input checked="" type="checkbox"/> Cuerpo de aguas superficiales
	<input type="checkbox"/> Grifo publico	<input type="checkbox"/> Pozo profundo
	<input type="checkbox"/> Tanquero	
	<b>Evacuación de aguas servidas población</b>	
	Evacuación de aguas servidas población <input checked="" type="checkbox"/> Alcantarillado	<input type="checkbox"/> Cuerpos de aguas superficiales
	<input checked="" type="checkbox"/> Fosa séptica	<input type="checkbox"/> Letrina
<input type="checkbox"/> Ninguno		
<b>Electrificación</b>		
Electrificación <input checked="" type="checkbox"/> Planta eléctrica	<input checked="" type="checkbox"/> Red publica	
<input type="checkbox"/> Otra		
<b>Vialidad y acceso a la población</b>		
Vialidad y acceso a la población <input type="checkbox"/> Caminos vecinales	<input checked="" type="checkbox"/> Vías principales	
<input checked="" type="checkbox"/> Vías secundarias	<input type="checkbox"/> Otras	
<b>Organización social</b>		
Organización social <input checked="" type="checkbox"/> Primer grado (comunal, barrial, urbanización)	<input type="checkbox"/> Segundo grado (Cooperativa, Pre-cooperativa)	
<input type="checkbox"/> Tercer grado (Asociaciones, recintos)		
<b>Componente fauna</b>		
Piso zoo geográfico donde se encuentra el proyecto <input checked="" type="checkbox"/> Tropical Noroccidental (0-800 msnm)	<input type="checkbox"/> Tropical Oriental (0-800 msnm)	
Grupos faunísticos <input checked="" type="checkbox"/> Anfibios	<input checked="" type="checkbox"/> Aves	
<input checked="" type="checkbox"/> Insectos	<input checked="" type="checkbox"/> Mamíferos	

	<input checked="" type="checkbox"/> Peces	<input checked="" type="checkbox"/> Reptiles
	<input type="checkbox"/> Ninguna	

<b>Registro Ambiental</b>  1. Información del proyecto 2. Datos generales 3. Marco legal referencial 4. Descripción del proceso 5. Descripción del área de implantación <b>6. Principales impactos ambientales</b> 7. Plan de manejo ambiental (PMA) 8. Inventario forestal 9. Finalización	6. PRINCIPALES IMPACTOS AMBIENTALES		
	MATERIALES E INSUMOS		
	ACTIVIDAD	FACTOR	IMPACTO
	Limpieza inicial (desbroce) y retiro de escombros.	FLORA FAUNA	Retiro de flora endémica y alteración del hábitat de fauna silvestre, perturbación del paisaje.
	Trazado, replanteo y nivelación.	HUMANO SUELO	Contaminación del suelo por utilización de cal.
	Excavación y Movimiento de tierras.	AIRE SUELO HUMANO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contaminación del aire por emisión de gases de combustión de vehículos y maquinaria.</li> <li>- Contaminación del aire por material particulado suspendido.</li> <li>- Alteración del paisaje.</li> <li>- Accidentes o enfermedades del personal por no guardar medidas de seguridad y aparatos de protección.</li> </ul>
	Relleno y Compactación.	AIRE SUELO HUMANO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contaminación del aire por emisión de gases de combustión de vehículos y maquinaria.</li> <li>- Contaminación del aire por material particulado suspendido.</li> <li>- Erosión del suelo por remoción de cobertura vegetal existente.</li> </ul>
	Construcción de obras civiles varias (tanque elevado, colocación de tuberías y válvulas).	AIRE SUELO AGUA HUMANO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contaminación del aire por emisión de gases de combustión de vehículos y maquinaria.</li> <li>- Contaminación del aire por material particulado suspendido.</li> <li>- Mejora de la disponibilidad de agua potable para los usuarios del campus Gustavo Galindo.</li> </ul>
	Mantenimiento de tuberías, válvulas, reservorios.	AIRE SUELO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contaminación del aire por emisión de gases de combustión de vehículos y maquinaria.</li> <li>- Contaminación del aire por material particulado suspendido.</li> </ul>

			- Contaminación del suelo por mal manejo de desperdicios.
	Desalojo de escombros.	AGUA SUELO HUMANO	- Deterioro de cuerpo de agua o zona donde se arrojen los residuos sin adecuado tratamiento. - Alteración del ecosistema y zonas aledañas por desechos contaminantes. - Enfermedades por mala calidad del agua.

## ETAPA DE CONSTRUCCIÓN

7. PLAN DE MANEJO AMBIENTAL					
(ingresar los planes que apliquen a su proyecto, obra o actividad)					
Plan de prevención y mitigación de impactos (PPM)					
Registro Ambiental	Actividad, Impacto Ambiental y Medida	Responsable	Fecha inicio	Fecha fin	Presupuesto
1. Información del proyecto 2. Datos generales 3. Marco legal referencial 4. Descripción del proceso 5. Descripción del área de implantación 6. Principales impactos ambientales 7. <b>Plan de manejo ambiental (PMA)</b> 8. Inventario forestal 9. Finalización	<b>Emisión de material particulado</b> Humedecimiento de los caminos de acceso a la zona de trabajo con el fin de evitar la dispersión de partículas de tierra en zonas con edificios. Así mismo en el transporte de materiales de préstamo importado o en el transporte de escombros se realizará un humedecimiento y cubrimiento con lona en la parte superior del vehículo. Mantenimiento periódico de los vehículos para el buen estado de estos y reducir la emisión de materiales particulados.	Constructor Fiscalizador	Mes 1	Mes 6	\$ 2388.60
	<b>Emisión de gases de combustión</b> Uso de vehículos y maquinarias en buen estado que generen la menor cantidad de gases durante su funcionamiento. Mantenimiento periódico de las maquinarias y demás equipos para evitar el mal funcionamiento y la emisión de gases. Control y prohibición de la incineración de residuos generados en el personal de obra durante la rehabilitación.	Constructor Fiscalizador Técnico ambiental	Mes 1	Mes 6	\$ 3570.58
	<b>Control en la generación de ruido</b> Los equipos motorizados deberán contar con silenciadores en buen estado para la reducción de ruido durante su funcionamiento. El personal de obra del proyecto deberá contar con el equipo de protección necesario de acuerdo con la actividad a realizar. Prohibición del uso innecesario de sirenas o bocinas durante las horas de trabajo.	Constructor Fiscalizador Técnico ambiental	Mes 1	Mes 6	\$ 815.65

<b>Plan de manejo de desechos (PMD)</b>				
<b>Actividad, Impacto Ambiental y Medida</b>	<b>Responsable</b>	<b>Fecha inicio</b>	<b>Fecha fin</b>	<b>Presupuesto</b>
<b>Manejo de desechos de construcción y escombros:</b> Los desechos líquidos y sólidos producidos durante la etapa de construcción serán desalojados de manera inmediata y transportados al relleno sanitario municipal.	Constructor	Mes 1	Mes 6	\$ 2963.42
<b>Plan de relaciones comunitarias (PRC)</b>				
<b>Actividad, Impacto Ambiental y Medida</b>	<b>Responsable</b>	<b>Fecha inicio</b>	<b>Fecha fin</b>	<b>Presupuesto</b>
<b>Información y participación ciudadana:</b> Capacitación a las personas del lugar a través de charlas y talleres, para dar a conocer la gestión ambiental del proyecto.	Técnico ambiental	Mes 1	Mes 2	\$ 650.00
<b>Plan de contingencias (PC)</b>				
<b>Actividad, Impacto Ambiental y Medida</b>	<b>Responsable</b>	<b>Fecha inicio</b>	<b>Fecha fin</b>	<b>Presupuesto</b>
<b>Accidentes laborales durante la construcción</b> Se deben colocar puestos de emergencia cerca de la zona de construcción.	Fiscalizador Constructor	Mes 1	Mes 11	\$ 1450.25
<b>Derrame de desechos combustible por falta de mantenimiento en las maquinarias</b> Se debe realizar un reemplazo inmediato la maquinaria que está presentando problemas de derrame de combustible, o se le debe dar el debido mantenimiento lo antes posible para seguir con las actividades de construcción.	Fiscalizador Constructor	Mes 1	Mes 11	\$ 2350.00
<b>En caso de producirse algún incendio:</b> Se debe contar con extintores en la zona de trabajo, y estos tienen que estar completamente llenos o deben ser recargados en caso de haber sido usados previamente.	Fiscalizador Constructor	Mes 1	Mes 11	\$ 795.20
<b>Plan de comunicación y capacitación (PCC)</b>				
<b>Actividad, Impacto Ambiental y Medida</b>	<b>Responsable</b>	<b>Fecha inicio</b>	<b>Fecha fin</b>	<b>Presupuesto</b>
<b>Capacitación ambiental al personal de obra</b> Se deberán realizar charlas sobre las medidas ambientales que se aplicarán durante la etapa de construcción del	Técnico ambiental	Mes 1	Mes 11	\$ 950.00

	proyecto, siguiendo el plan de manejo ambiental.				
<b>Plan de seguridad y salud ocupacional (PSSO)</b>					
<b>Actividad, Impacto Ambiental y Medida</b>	<b>Responsable</b>	<b>Fecha inicio</b>	<b>Fecha fin</b>	<b>Presupuesto</b>	
<b>Control de riesgo y uso de equipos de seguridad</b> Todo el personal debe usar vestimenta de seguridad EPP, para salvaguardar la vida. Además, se debe realizar un control del uso adecuado del resto de los equipos de seguridad, dependiendo del tipo de trabajo que se vaya a realizar.	Constructor Fiscalizador	Mes 1	Mes 11	\$ 1680.98	
<b>Colocación de señalética en la zona de trabajo</b> Se debe colocar las respectivas señales de peligro (zona en construcción) como: conos, letreros, señales de desvío (en caso de que se estén realizando trabajos en la calle), cinta para delimitar la zona de trabajo.	Constructor Fiscalizador	Mes 1	Mes 11	\$ 1500.00	
<b>Plan de monitoreo y seguimiento (PMS)</b>					
<b>Actividad, Impacto Ambiental y Medida</b>	<b>Responsable</b>	<b>Fecha inicio</b>	<b>Fecha fin</b>	<b>Presupuesto</b>	
<b>Control de material particulado en el aire</b> Aplicación de agua al momento de realizar alguna excavación. Se debe monitorear la cantidad de polvo en el aire, mediante el uso de equipos adecuados y previamente calibrados.	Constructor Fiscalizador	Mes 1	Mes 11	\$ 2150.50	
<b>Seguimiento al Plan de Manejo Ambiental</b> Debe llevarse un monitoreo constante del cumplimiento del PMA durante toda la etapa de construcción.	Constructor Técnico ambiental	Mes 1	Mes 11	\$ 1850.00	
<b>Plan de rehabilitación (PR)</b>					
<b>Actividad, Impacto Ambiental y Medida</b>	<b>Responsable</b>	<b>Fecha inicio</b>	<b>Fecha fin</b>	<b>Presupuesto</b>	
<b>Reforestación en zonas que fueron afectadas inevitablemente en la construcción</b> Plantación de árboles en aquellas zonas que se tuvo que talar por cuestión de espacio y actividades de obra.	Técnico ambiental Fiscalizador	Mes 11	Mes 12	\$ 2180.00	
<b>Reparación de vías y aceras en tramos intervenidos</b> Se deben reparar las calles y aceras que fueron destruidas durante el cambio de tuberías en las zonas requeridas.	Constructor Fiscalizador	Mes 11	Mes 12	\$ 10000.00	

Plan de cierre, abandono y entrega del área (PCA)														
Actividad, Impacto Ambiental y Medida	Responsable	Fecha inicio	Fecha fin	Presupuesto										
<b>Plan de abandono</b> Se debe verificar que la obra terminada se encuentre en buen estado y funcionando correctamente, y luego realizar el retiro, cierre de campamento, y limpieza de la zona. Además, se debe verificar no haya habido ninguna alteración al medio ambiente no prevista después de la finalización de la obra, y que se haya cumplido con el plan de manejo ambiental en toda la etapa de construcción.	Constructor Fiscalizador Técnico ambiental	Mes 12	Mes 12	\$ 1780.00										
Cronograma del Plan de Manejo Ambiental														
PMA	meses												Costo \$	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
<i>Plan de Prevención y Mitigación de Impactos.</i>														\$ 6774.83
<i>Plan de Manejo de Desechos.</i>														\$ 2963.42
<i>Plan de Relaciones Comunitarias</i>														\$ 650.00
<i>Plan de Contingencias</i>														\$ 4595.45
<i>Plan de Comunicación y Capacitación</i>														\$ 950.00
<i>Plan de Seguridad y Salud Ocupacional.</i>														\$ 3180.98
<i>Plan de Monitoreo y Seguimiento.</i>														\$ 4000.50
<i>Plan de Rehabilitación</i>														\$ 12180.00
<i>Plan de Cierre, abandono y entrega del área.</i>														\$ 1780.00
<b>TOTAL</b>													<b>\$ 37075.18</b>	

8. INVENTARIO FORESTAL	
<b>Registro Ambiental</b> 1. Información del proyecto 2. Datos generales 3. Marco legal referencial 4. Descripción del proceso 5. Descripción del área de implantación 6. Principales impactos ambientales 7. Plan de manejo ambiental (PMA) <b>8. Inventario forestal</b> 9. Finalización	<p style="text-align: center;"><b>¿Su proyecto tiene remoción de cobertura vegetal nativa?</b></p> <p style="text-align: center;"> <input checked="" type="checkbox"/> SI      <input type="checkbox"/> NO         </p>