

# **UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

**Análisis y diseño de una obra de captación de agua desde la Laguna de Mojanda por medio de sifones para un sistema de riego en los sectores altos de la comunidad de San Rafael – Otavalo.**

**Edison David Burga Amaguaña**

**Ingeniería Civil**

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito  
para la obtención del título de  
Ingeniero Civil

Quito, 21 de mayo de 2021

# **UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

## **HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

**Análisis y diseño de una obra de captación de agua desde la Laguna de Mojanda por medio de sifones para un sistema de riego en los sectores altos de la comunidad de San Rafael – Otavalo.**

**Edison David Burga Amaguaña**

**Nombre del profesor, Título académico**

**Sixto Durán Ballén, PhD.**

Quito, 21 de mayo de 2021

## © DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Edison David Burga Amaguaña

Código: 00132495

Cédula de identidad: 100438539-7

Lugar y fecha: Quito, 21 de mayo de 2021

## **ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN**

**Nota:** El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

## **UNPUBLISHED DOCUMENT**

**Note:** The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

## RESUMEN

El presente informe está enfocado en el análisis y diseño de un sistema de captación para riego de cultivos como un proyecto técnico, cuyos beneficiarios serán los agricultores de los sectores altos pertenecientes a las comunidades de San Rafael y Eugenio Espejo de la ciudad de Otavalo. Se realizó estudios topográficos e hidrológicos necesarios para un correcto análisis y diseño del sistema mediante el uso de programas computacionales (Excel) y correspondientes al área de ingeniería civil (AutoCAD Civil 3D, Global Mapper y Google Earth). Un análisis de costos para una estimación presupuestaria de la obra considerando los cambios actuales en la economía del Ecuador referentes al sector de la construcción a partir del Índice de Precios de la Construcción (IPCO). Finalmente, un estudio del impacto ambiental y socioeconómico que puedan causar la ejecución del proyecto dentro de las comunidades de estudio.

**Palabras clave:** topografía, hidrología, hidráulica, ecuación de Bernoulli, mecánica de fluidos, precipitación, sistema de tuberías, análisis de costos.

## ABSTRACT

This report is focused on the analysis and design of a catchment system for crop irrigation as a technical project, whose beneficiaries will be farmers from the high sectors belonging to the communities of San Rafael and Eugenio Espejo in the city of Otavalo. Topographic and hydrological studies were carried out necessary for a correct analysis and design of the system through the use of computer programs (Excel) and corresponding to the area of civil engineering (AutoCAD Civil 3D, Global Mapper and Google Earth). A cost analysis for a budget estimate of the work considering the current changes in the economy of Ecuador regarding the construction sector based on the Construction Price Index (IPCO). Finally, a study of the environmental and socioeconomic impact that the execution of the project may cause within the study communities.

**Key words:** topography, hydrology, hydraulics, Bernoulli equation, fluid mechanics, precipitation, piping system, cost analysis.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>Introducción .....</b>	<b>11</b>
<b>Desarrollo del Tema.....</b>	<b>12</b>
<b>CAPITULO 1: GENERALIDADES .....</b>	<b>12</b>
<b>1.1 Antecedentes.....</b>	<b>12</b>
1.1.1 Importancia de la Agricultura.....	12
1.1.2 Ubicación.....	12
1.1.3 Aspecto Legal.....	13
<b>CAPITULO 2: ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS E HIDROLÓGICOS.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1 Topografía del lugar .....</b>	<b>14</b>
2.1.1 Punto de interés y zona de estudio.....	14
2.1.2 Delimitación de la cuenca y área de estudio.....	15
<b>2.2 Estudio hidrológico: oferta hídrica .....</b>	<b>16</b>
2.2.1 Cobertura de suelo ( <i>c1</i> ).....	16
2.2.2 Intensidad de lluvia ( <i>i</i> ).....	18
2.2.3 Áreas de las Cuencas.....	19
2.2.4 Caudal producido.....	19
<b>2.3 Estudio hidrológico: demanda hídrica.....</b>	<b>21</b>
2.3.1 Área beneficiada.....	21
2.3.2. Productos propios del lugar.....	22
2.3.3 Rendimiento de productos.....	22
2.3.4 Aportación de la precipitación en los cultivos.....	24
<b>CAPITULO 3: ANÁLISIS Y DISEÑO DEL SISTEMA SIFÓN .....</b>	<b>29</b>
<b>3.1 Línea de tuberías .....</b>	<b>29</b>
<b>3.2 Análisis y diseño del sistema sifón.....</b>	<b>30</b>
3.2.1 Caudal del diseño.....	31
<b>CAPITULO 4: ANÁLISIS DE COSTOS. ....</b>	<b>39</b>
<b>4.1 Metodología .....</b>	<b>39</b>
<b>4.2 Presupuesto guía .....</b>	<b>40</b>
<b>4.3 Presupuesto del sistema de captación del proyecto.....</b>	<b>40</b>
<b>4.4 Presupuesto del sistema de almacenamiento del proyecto.....</b>	<b>42</b>
<b>4.5 Índice de Precios de la Construcción (IPCO).....</b>	<b>42</b>
<b>4.6 Reajuste de precios a futuro .....</b>	<b>43</b>
<b>CAPITULO 5: IMPACTO AMBIENTAL Y ECONÓMICO.....</b>	<b>46</b>
<b>5.1 Impacto ambiental por contaminación .....</b>	<b>46</b>
5.1.1 Ruido.....	46
5.1.2 Contaminación de la fuente.....	46
5.1.3 Contaminación del suelo.....	46
<b>5.2 Impacto ambiental por aprovechamiento de la fuente hídrica .....</b>	<b>47</b>
<b>5.3 Impacto Económico.....</b>	<b>48</b>
5.3.1 Población económicamente activa.....	48
5.3.2 Generación de empleos.....	50
5.3.3 Análisis Costo Beneficio.....	51
<b>Conclusiones .....</b>	<b>54</b>
<b>Referencias bibliográficas .....</b>	<b>56</b>
<b>Anexo A: Capítulo 1.....</b>	<b>58</b>

<b>A1. Zonas Protegidas del Ecuador .....</b>	<b>58</b>
<b>Anexo B: Capitulo 2.....</b>	<b>58</b>
<b>B1. Área de la Cuenca 1 (Procedimiento). .....</b>	<b>58</b>
<b>B2. Área de la Cuenca Laguna (Procedimiento). .....</b>	<b>61</b>
<b>B3. Isoyetas de Precipitación Media Multianual. ....</b>	<b>63</b>
<b>B4. Estaciones cercanas a la Laguna de Mojanda. ....</b>	<b>64</b>
<b>Anexo C: capitulo 3 .....</b>	<b>64</b>
<b>C1. Diagrama de Moody.....</b>	<b>65</b>
<b>C2. Tuberías Cedula 40. ....</b>	<b>65</b>
<b>Anexo D: capitulo 4.....</b>	<b>65</b>
<b>D1. Presupuesto Sifón Invertido. ....</b>	<b>66</b>
<b>Anexo E: capitulo 5 .....</b>	<b>4</b>
<b>E1. Análisis de Operación y Control del sistema sifón y reservorio. ....</b>	<b>4</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cobertura de suelo en la zona de San Rafael y sus alrededores. ....	17
Tabla 2: Factores climáticos de la parroquia .....	19
Tabla 3. Rendimiento de productos agrícolas.....	23
Tabla 4. Precipitación promedio mensual máxima en la zona de estudio. ....	24
Tabla 5. Resumen mensual de extracción de agua. ....	26
Tabla 6. Cantidad mensual de agua a extraer considerando la Cuenca 1. ....	27
Tabla 7. Cantidad mensual de agua a extraer considerando la Cuenca 1 .....	28
Tabla 8. Proceso de iteración para factor de fricción f .....	38
Tabla 9. Parámetros para el sistema de captación.....	38
Tabla 10. Rubros para construcción de un sifón invertido para el año 2017.....	40
Tabla 11. Estimación de costo de construcción de sifón normal para el año 2017. ....	41
Tabla 12. Estimación de costo de construcción de un reservorio para el año 2011 .....	42
Tabla 13. Estimación del índice de crecimiento (2016 – 2020) .....	44
Tabla 14. Resumen de estimación de costos para el año 2017 y 2020. ....	45
Tabla 15. Aporte de volumen de agua debido a las precipitaciones.....	47
Tabla 16. Flujo de Egresos del Proyecto .....	51
Tabla 17. Población de la comunidad San Rafael de la Laguna .....	52
Tabla 18. Análisis Costo Beneficio del proyecto.....	53

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación geográfica de la Laguna de Mojanda .....	13
Figura 2. Localización de la zona de estudio.....	15
Figura 3. Área de la Cuenca 1 .....	15
Figura 4. Área de la Cuenca Laguna.....	16
Figura 5. Cobertura de suelo en Cuenca 1 y Cuenca Lago.....	17
Figura 6. Precipitación media multianual en Mojanda.....	18
Figura 7. Áreas de la Cuenca 2 (Lago y Terreno).....	20
Figura 8. Área beneficiada.....	22
Figura 9. Principales productos en la parroquia San Rafael.....	22
Figura 10. Productividades y requerimientos de la agricultura bajo riego y de secano.....	24
Figura 11. Volumen de agua mensual a extraer de la fuente.....	26
Figura 12. Ruta o trayecto del sistema.....	29
Figura 13. Perfil de elevación del sistema.....	29
Figura 14. Esquema de sifón de conducción.....	30
Figura 15. Propiedades del Agua .....	31
Figura 16. Esquema de secciones de la tubería del sistema.....	33
Figura 17. Longitud equivalente en diámetro de tuberías para codos y válvulas.....	34
Figura 18. Factores de fricción $f_t$ según diámetro de tubería.....	34
Figura 19. Valores de Rugosidad de materiales.....	36
Figura 20. Rangos de iteración mediante Diagrama de Moody.....	37
Figura 21. Clasificación de la estimación de costos.....	39
Figura 22. Índice de Precios Promedio de la Construcción.....	43
Figura 23. Volumen de llenado y de extracción para las Cuencas de estudio.....	48
Figura 24. Población económicamente activa.....	49
Figura 25. Actividades económicas por ramas.....	49

## INTRODUCCIÓN

El estudio comprende de un proyecto técnico que busca impulsar la actividad agrícola a partir del mejoramiento de los métodos tradicionales de cultivo, optimizando la producción a través de la implementación de un sistema de captación de aguas mediante sifones para riego en aquellos sectores que no poseen el debido abastecimiento de agua. Por ello el siguiente informe se encuentra dividido en cinco capítulos. En el primer capítulo se presentará información correspondiente al sitio de estudio, así como el marco teórico correspondiente a cada área de la ingeniería civil aplicada en el proyecto. El segundo capítulo constará de los resultados obtenidos en cuanto al estudio topográfico e hidrológico del sitio de interés a través del uso de programas informáticos y de diseño. El tercer capítulo comprende los resultados del análisis y diseño del sistema de captación por sifones. El cuarto capítulo corresponde al análisis de costos donde se aplicará métodos de estimación presupuestaria para obtener una aproximación a la cotización de la obra. Finalmente el quinto capítulo contiene un breve resumen sobre el impacto ambiental y socioeconómico producto en caso de la realización futura del proyecto.

## DESARROLLO DEL TEMA

### CAPITULO 1: GENERALIDADES

#### 1.1 Antecedentes

##### 1.1.1 Importancia de la Agricultura.

La actividad agrícola se ha practicado desde tiempos antiguos la cual a partir de la revolución industrial ha ido desarrollándose continuamente debido a la alta demanda de las necesidades alimenticias. El tipo de técnica utilizada cumple un rol muy importante en cuanto a la productividad y la variación de los productos agrícolas. En la actualidad, la agricultura como modo de producción presenta 2 enfoques: el primero como modo de vida, siendo esta la forma más tradicional y el segunda como modo de ganarse la vida, es decir representando un modelo económico. Cabe recalcar que, el Ecuador es un país fundamentalmente agrícola y dentro de los niveles de vida urbano y rural han aumentando considerablemente. Tanto el subempleo como la pobreza se manifiestan en las familias de los sectores rurales con pequeñas posesiones obligados a migrar a la ciudad buscando una mejor calidad de vida (Eguez, 2018).

Según Mundoriego se ha demostrado que la implementación de un sistema de riego en la zona de cultivos ayudan a mejorar el rendimiento en cuanto a la producción de los mismos razón por lo cual anterior al sistema de riego se debe considerar una fuente cercana para la captación y transporte de agua. (Mundoriego, 2021).

##### 1.1.2 Ubicación

El lugar de Estudio donde se plantea implementar el sistema de captación por sifones corresponde al sector de la Laguna de Mojanda, ubicada en el límite entre la Provincia de Pichincha e Imbabura a 17 kilómetros al sur de la ciudad de Otavalo, cuya latitud y longitud son 0°7'60" N y 78°16'0" W respectivamente. La Figura 1 presenta una imagen con la ubicación de la Laguna de Mojanda.



Figura 1: Ubicación geográfica de la Laguna de Mojanda

Fuente: Google Maps.

### 1.1.3 Aspecto Legal

La realización de cualquier proyecto cuenta con su respectivo aspecto legal a manera de evitar sanciones debido al incumplimiento de ciertas leyes. En primer lugar se debe verificar que el área de intervención no pertenezca a una de las zonas protegidas del Ecuador, caso contrario no podrá elaborarse ningún tipo de proyecto. A partir del Anexo A1, donde se detallan las zonas protegidas se puede corroborar que la zona de estudio puede ser intervenida, debido a que no se encuentra dentro de estas áreas protegidas.

Respecto a la extracción del agua de la fuente hídrica de la Laguna de Mojanda cabe señalar que el EMAPA-O tiene en su poder una adjudicación para el uso de agua para esta fuente permitiendo de esta manera continuar con la elaboración del proyecto técnico.

## CAPITULO 2: ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS E HIDROLÓGICOS

Es necesario realizar estudios topográficos de las cuencas cercanas al lugar de la zona de estudio y su respectivo estudio hidrológico, de esta forma se conocen las características del terreno como su elevación y su aportación hídrica debido a las precipitaciones. Además, de un estudio sobre Laguna de Mojanda (fuente hídrica) para conocer la oferta hídrica o cantidad de agua que aportará al sistema de captación y la demanda hídrica o cantidad de agua requerida de la fuente, la necesaria para el buen crecimiento de los cultivos para los sectores beneficiados.

### 2.1 Topografía del lugar

El uso de programas computacionales como Google Earth permiten estimar parámetros como áreas, elevaciones y distancias en relación al sitio de construcción o punto de interés. Es común conocer la manera en la que está conformada el terreno de la zona de estudio a partir de la visualización donde se conformará la obra. A partir de curvas de nivel generadas por Global Mapper y su exportación a Civil 3D se estimar valores de las áreas de estudio.

#### 2.1.1 Punto de interés y zona de estudio

A partir de la Figura 2 se presenta una correcta visualización de la zona de estudio y el punto de interés en donde posiblemente sea el lugar de concentración de agua, teniendo en cuenta que el agua debe seguir un trayecto para su respectivo drenaje. La zona de estudio se encuentra ubicado en la zona 17 con coordenadas UTM de 805632 m E y 19825 m N.

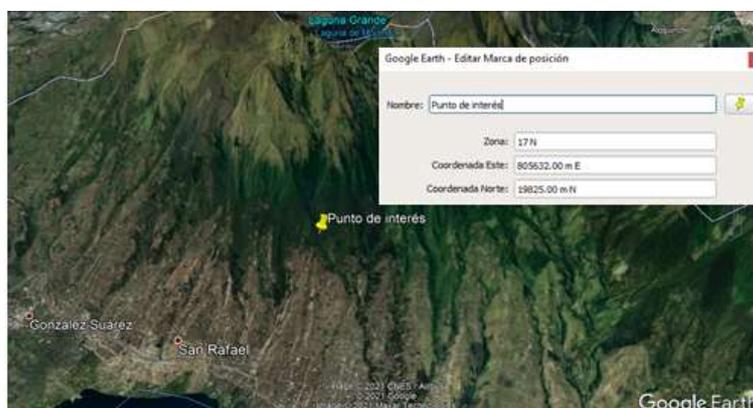


Figura 2. Localización de la zona de estudio.

Fuente: Google Earth, 2021

### 2.1.2 Delimitación de la cuenca y área de estudio

El presente estudio está conformado por la delimitación de 2 cuencas: *Cuenca 1* y *Cuenca Laguna*. La primera es la que permite el drenaje de agua directa en el punto de interés mientras que la segunda es la cuenca correspondiente a la fuente hídrica (Laguna de Mojanda). Es necesario la delimitación de ambas cuencas para estudios posteriores relacionados con la oferta hídrica o volumen de agua aportada por las precipitaciones en estas zonas por lo que es necesario conocer el área respectiva de cada cuenca.

El procedimiento para calcular el área correspondiente de cada cuenca se encuentra al final del documento en la secciones Anexo B1 y B2. A partir de las Figuras 3 y 4 se visualizan los resultados correspondientes al área de la Cuenca 1 y Cuenca Laguna respectivamente obtenidas por medio de programas como Global Mapper y AutoCAD Civil 3D.



Figura 3. Área de la Cuenca 1



Figura 4. Área de la Cuenca Laguna

Fuente: Global Mapper &amp; Autocad Civil 3D

Por lo tanto el área correspondiente a la Cuenca 1 cuenta con un total de 316.35 *ha* mientras que el área de la Cuenca Laguna posee un total de 824.26 *ha*.

## 2.2 Estudio hidrológico: oferta hídrica

La oferta hídrica en muchos casos es aquella porción de agua que después de haberse precipitado sobre la cuenca y satisfecho las cuotas de evapotranspiración e infiltración debido a la cobertura vegetal, escurre por los cauces mayores de los ríos y demás corrientes superficiales, alimentando lagos, lagunas y reservorios. (Corponariño, 2011).

Para esta sección se planea realizar el respectivo estudio hidrológico para cada cuenca que se evaluó anteriormente (Cuenca 1 y Cuenca Laguna) para calcular el caudal debido a las precipitaciones que ocurren en la zona. Para ello haremos uso del MÉTODO RACIONAL, el cual se utiliza en hidrología para determinar el Caudal Instantáneo Máximo de descarga de una cuenca hidrográfica a partir de la siguiente ecuación:

$$Q = ciA$$

Donde:

$c$  = *coeficiente de cobertura del suelo* [-]

$i$  = *intensidad de la lluvia* [mm/hr]

$A$  = *Área de la cuenca* [Ha]

### 2.2.1 Cobertura de suelo ( $c_1$ ).

Es importante conocer la manera en que está recubierto el suelo en las áreas de estudio ya que de ello depende como fluirá el agua durante su recorrido en el suelo hasta el punto de interés. Para seleccionar el correspondiente coeficiente de cobertura de suelo se recurrió en

primer lugar a investigar el tipo de cobertura presente a través de la Tabla 1 perteneciente al “Plan de desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia San Rafael 2015 – 2019”:

Cobertura vegetal	Actividades	Área (ha)	Porcentaje (%)
Bosques (Tierra Forestal)	Bosque Natural	73,80	4,07
Agropecuarias	Cultivos de ciclo corto	811,37	44,76
Agropecuarias	70% Maíz – 30% Pasto cultivado	132,72	7,32
Vegetación arbustiva y herbácea	Páramo	406,22	22,41
Vegetación arbustiva y herbácea	Vegetación arbustiva	229,94	12,69
Cuerpos de agua	Cuerpo de agua natural	158,62	8,75
<b>Total</b>		<b>1812,68</b>	<b>100</b>

Tabla 1. Cobertura de suelo en la zona de San Rafael y sus alrededores.

Fuente: Instituto Especial Ecuatoriano, 2012.

Se concluyó que en los sectores altos, específicamente en el sector de la fuente hídrica (Cuenca Lago) y la zona de interés de la Cuenca 1, el tipo de cobertura en el páramo es de tipo pasto natural la cual puede verificarse en la Figura 5, por lo que de acuerdo con el Apéndice C-1 del libro de Gribbin se tomará en cuenta un coeficiente de  $c = 0.40$  para este tipo de cobertura.



Figura 5. Cobertura de suelo en Cuenca 1 y Cuenca Lago.

Fuente: Fotografía propia.

### 2.2.2 Intensidad de lluvia (*i*)

La intensidad de lluvia representa la cantidad de agua que cae por unidad de tiempo en un lugar determinado cuya unidad es mm/hr.

Existe diversas formas de obtener las intensidades de lluvia de una zona, a través de isoyetas de precipitación media multianuales o mediante un análisis de las precipitaciones mensuales cuyos datos son proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidráulica (INAMHI). Para un análisis rápido sobre la oferta hídrica de ambas Cuencas de estudio se utiliza las isoyetas de precipitación del Anexo B3 y están debidamente detallada en la Figura 6.



Figura 6. Precipitación media multianual en Mojanada.

Fuente: Senagua, 2019.

Se puede verificar que los datos son correctos a través del PDOT de San Rafael de la Laguna el cual mediante la Tabla 2 correspondiente a los factores climáticos de la parroquia se encontró que abunda una precipitación entre 900 a 1000mm, la cual es cercana a los valores de 800 a 1000mm proporcionadas por las isoyetas. Cabe señalar que las unidades establecidas en la isoyetas se encuentran en mm/año.

Variable	Descripción
Precipitación	900-1000 mm
Temperatura	7-13 °C
Zona de vida	bh-M / bh-MB

Tabla 2: Factores climáticos de la parroquia

Fuente: Instituto Especial Ecuatoriano, 2012.

Se utiliza el valor proporcionado por el PDOT de San Rafael de la Laguna por lo tanto el valor de la intensidad será:

$$i = \frac{900 + 1000}{2} \text{ mm/año} = 950 \text{ mm/año} = 0.1085 \text{ mm/hr}$$

### 2.2.3 Áreas de las Cuencas.

A partir del estudio topográfico realizado en la Sección 2.1 se determinó que el área de la Cuenca 1 es igual a 316.5 *ha* mientras que el área de la Cuenca Laguna es de 824.26 *ha*.

### 2.2.4 Caudal producido

Obtenidos los datos necesarios (*c*, *i*, *A*) para cada Cuenca de estudio, como último paso es la aplicación de la ecuación del Método Racional. Cuando los valores de precipitación y Área de la cuenca cumplan con las siguiente unidades: *i* ( $\frac{\text{mm}}{\text{hr}}$ ) y *A* (*ha*). Se puede emplear una variación del Método Racional a manera de obtener el caudal en unidades de  $\text{m}^3/\text{s}$ .

$$Q = \frac{ciA}{360} [\text{m}^3/\text{s}]$$

Para la Cuenca 1:

$$Q_1 = \frac{0.40 * 0.1085 \text{ mm/hr} * 316.35 \text{ Ha}}{360} = 0.038 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_1 = 38 \text{ L/s}$$

Por lo tanto “La Cuenca 1” aportaría con un caudal de 38 L/s únicamente debido a las precipitaciones ocurridas en esa área de influencia.

Para la Cuenca 2:

Para el análisis del caudal para esta cuenca cabe señalar que el dato de la cobertura de suelo no aplica en la zona donde se ubica la Laguna (Figura 7). Por lo que se debe considerar áreas separadas (Lago y Terreno).

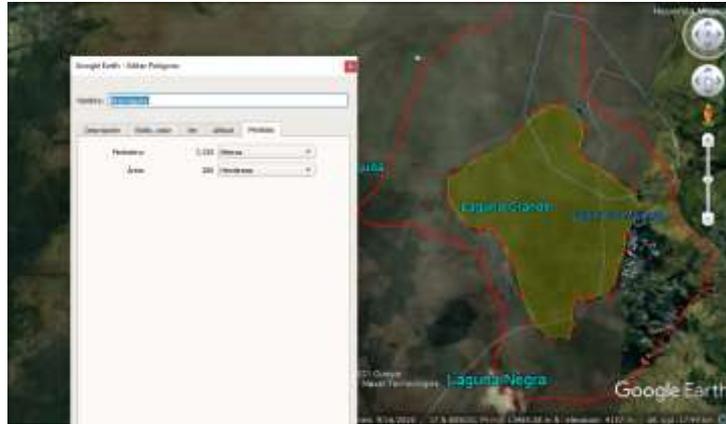


Figura 7. Áreas de la Cuenca 2 (Lago y Terreno)

Fuente: Google Earth, 2021.

A partir de este análisis se obtienen las siguientes áreas:

$$A_2 = A_{laguna} + A_{suelo} = 824.26 \text{ Ha}$$

$$A_{laguna} = 280 \text{ Ha}$$

$$A_{suelo} = 824.26 \text{ Ha} - 280 \text{ Ha} = 544.26 \text{ Ha}$$

Por lo tanto el caudal se calcula como:

$$Q_2 = \frac{iA_{laguna} + ciA_{suelo}}{360}$$

$$Q_2 = \frac{(0.1085 \text{ mm/hr} * 280 \text{ Ha}) + (0.40 * 0.1085 \text{ mm/hr} * 544.26 \text{ Ha})}{360} = 0.15 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_2 = 150 \text{ L/s}$$

Por lo tanto la “Cuenca Laguna” aporta con un caudal de 150 L/s únicamente debido a las precipitaciones ocurridas en esa área de influencia.

## 2.3 Estudio hidrológico: demanda hídrica

La demanda hídrica en este caso permite calcular o estimar la cantidad de agua necesaria para cubrir con las actividades agrónomas de los agricultores o beneficiarios del proyecto. Para ello se realizará un análisis sobre la cantidad de agua requerida para los productos más frecuentes cultivados a nivel nacional. Posteriormente se realizará una comparación entre la oferta y la demanda hídrica mensual, en este caso a través del uso de las precipitaciones mensuales del INAHMI con el objetivo de conocer la cantidad necesaria de agua a extraer directamente de la fuente hídrica, “Laguna de Mojanda”, o si los productos pueden sustentarse únicamente con el agua debido a las precipitaciones ocurridas en el lugar.

### 2.3.1 Área beneficiada

El área beneficiada inicialmente estaba propuesta para abastecer una zona de cultivos de 70 *ha* cuyo valor se redujo debido a la una cantidad excesiva de extracción de agua de la fuente para su correcto abastecimiento. La Figura 8 indica el área inicialmente establecida cercana al punto de interés donde se almacenará la cantidad de agua extraída u acumulada por las precipitaciones. Con el objetivo de reducir el costo de construcción del reservorio para el volumen de agua se disminuyó el área beneficiaria reduciendo la cantidad de extracción de agua consiguiendo una obra óptima, económica y ambientalmente amigable, considerando a futuro la expansión del sistema o nuevas obras para aumentar las áreas beneficiarias.

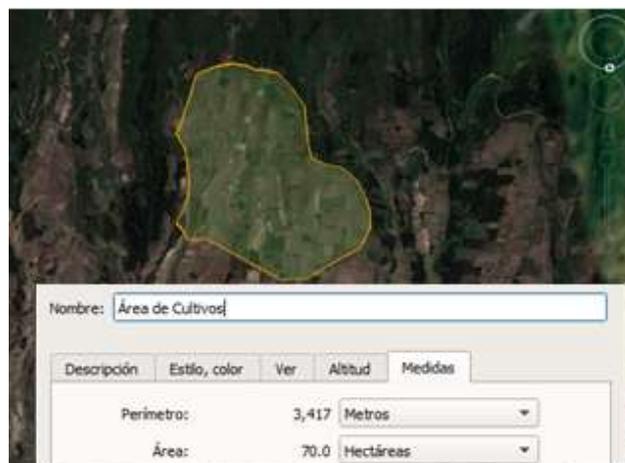


Figura 8. Área beneficiada.

Fuente: Google Earth, 2021.

### 2.3.2. Productos propios del lugar.

De acuerdo con el PDOT de San Rafael de la Laguna cerca del 36% de la población se dedica a la agricultura como actividad económica. En la Figura 9 se encuentran plasmados los principales productos agrícolas que se cultivan en la parroquia. (PDOT San Rafael de la Laguna, 2015).



Figura 9. Principales productos en la parroquia San Rafael.

Fuente: PDOT San Rafael de la Laguna, 2015.

Cultivos tradicionales como el maíz, frijol, arveja, cebada y trigo se ubican en las partes altas como en San Miguel Alto, Tocagon y Cachimuel, que destinan su producción para el autoconsumo y el poco excedente que generan se venden en Otavalo. A diferencia de los sectores bajos como Huaycopungo, Cuatro Esquinas, San Miguel Bajo y Cachiviro que por los beneficios del agua han logrado implementar cultivos no tradicionales dentro de sus parcelas como frutilla y tomate de árbol, además el cultivo de totora en estas comunidades genera un movimiento productivo a las orillas del Lago San Pablo (PDOT San Rafael, 2015). Por esta razón el estudio se enfoca en los productos que se siembran en las partes altas: maíz, fréjol, trigo, cebada y alverja.

### 2.3.3 Rendimiento de productos

A partir de varias consultas realizadas en sitios web y documentos relacionados a la producción de alimentos en el Ecuador se estableció el rendimiento de los productos mencionados en la sección 2.3.2 las cuales se encuentran resumidas en la Tabla 3.

De acuerdo con el sitio web Agroecuador.org: “el rendimiento nacional del cultivo de maíz duro seco para el verano 2017 fue de 6.28 ton/ha”(Agroecuador, 2017). Por otro lado Ecuador siembra aproximadamente 113.212 ha/año de fréjol ya sea solo o asociado para cosecha en tierno o en seco con una producción aproximada de 200kg/ha anualmente. (Matute, 2013). En el país el rendimiento del cultivo de trigo cada año es de 2.5 ton/ha. (Pullas, 2017). El promedio de rendimiento de la cebada fue de 3.93 ton/ha (Garofalo, 2012). En el Ecuador también existe una importante producción que fue de 11,769 toneladas en un área cosechada de 7,556 hectáreas con un rendimiento de 1.56 toneladas por hectárea. (Leopoldo, 2013).

Producto	Rendimiento [ton/ha/año]
Maíz	6.28
Fréjol	0.3
Trigo	2.5
Cebada	3.93
Alverja	1.56

Tabla 3. Rendimiento de productos agrícolas.

Fuente: Elaboración Propia.

A partir de la Tabla 3 se tendrá en cuenta el rendimiento de cultivo de maíz (6ton/ha) ya que es el producto con mayor importancia a nivel nacional y en este caso para la zona de estudio.

Mediante la Figura 10 proporcionada por la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) se estima la cantidad de agua utilizada a partir del rendimiento del producto y el tipo de riego del cultivo.

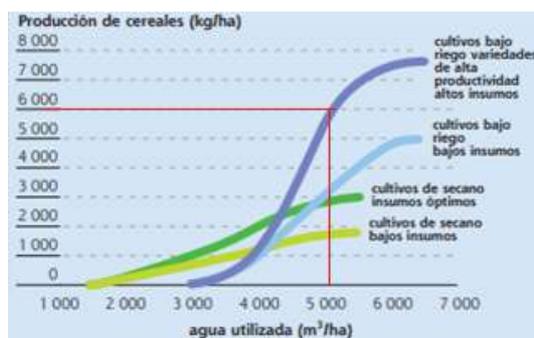


Figura 10. Productividades y requerimientos de la agricultura bajo riego y de secano.

Fuente: FAO, 2002

En este caso se supone que los agricultores de la zona cuentan con los insumos necesarios para obtener buenas cosechas por lo que a partir del rendimiento del producto más sobresaliente (maíz) y la curva azul se encuentra que la cantidad de agua requerida es de 5000 m<sup>3</sup>/ha para producir 6 ton/ha de maíz. Para resumir podemos decir que en la zona del proyecto se planea el cultivo de granos por lo que se necesita de una cantidad de 250000 m<sup>3</sup> de agua anuales para que la producción sea eficiente y satisfaga con el área de cultivos de 50 ha.

### 2.3.4 Aportación de la precipitación en los cultivos

No todo el requerimiento hídrico de los cultivos se debe a la proporción directa de los usuarios sino también debido a las precipitaciones en la zona, la capacidad de absorción del suelo y la evapotranspiración de los cultivos. Para la estimación solo se considera las cantidades proporcionadas directamente por las precipitaciones. De acuerdo con el documento de “precipitaciones mensuales máximas” proporcionadas por el INAMHI se promedió la máxima precipitación mensual desde el año 1961 – 2015 para las estaciones cercanas a la zona de estudio (Anexo B4) cuyos resultados se muestran en la Tabla 4.

<b>Precipitación Mensual: Zona de estudio</b>		
Enero	19.5	mm
Febrero	20.6	mm
Marzo	22.2	mm
Abril	23.1	mm
Mayo	18.9	mm
Junio	11.5	mm
Julio	7.3	mm
Agosto	6.7	mm
Septiembre	16.3	mm
Octubre	22.2	mm
Noviembre	22.5	mm
Diciembre	19.8	mm

Tabla 4. Precipitación promedio mensual máxima en la zona de estudio.

Fuente: INAMHI, 2015.

A partir de la cantidad de agua estimada a utilizar en los cultivos (5000m<sup>3</sup>/ha) y de las precipitaciones mensuales se estima la cantidad de agua faltante o déficit para la producción anual. Una socialización con los agricultores de la zona estimó un porcentaje medido del uso de agua durante la cosecha de uno o varios productos recaudando la siguiente información:

- El mes de siembra para el maíz es en Septiembre cuando al culminar el verano.
- Al no contar con sistemas de riego la cosecha tiende a tardar entre 6 a 8 meses dependiendo de la disponibilidad de agua lluvia.
- En un sistema de riego la cantidad de agua utilizada suele ser mayor durante su tiempo de floración que durante su desarrollo vegetativo y esta mayor a su etapa de siembra y germinación.
- Los sistemas de riego reducen el ciclo de madurez de los productos por ejemplo el maíz el cual “en promedio se demora entre 130 y 150 días después de sembrado para que el grano este seco para ser cosechado” es decir el tiempo de cosecha varia de 4 a 5 meses si se cuenta con sistemas de riego de tal manera que se puede cosechar 2 veces al año. (Pioneer, 2015).
- Considerando 2 ciclos de cultivo en el año y la cantidad de agua utilizada durante el ciclo de crecimiento de la planta de maíz se distribuye los 5000 m<sup>3</sup> de agua utilizada anualmente de la siguiente manera:
  - 5% para el ciclo de siembra y germinación
  - 10% para el tiempo de desarrollo vegetativo
  - 15% para el ciclo de floración y madurez
  - 2% y 3% para otros cultivos de periodos cortos como es el caso de la arveja mientras el maíz se encuentra en proceso de obtención de fruto seco.

Con la información obtenida es posible estimar la cantidad de agua que se debe extraer de la fuente hídrica para cubrir el déficit hídrico debido a la falta de agua por parte de las precipitaciones durante todo el año en la zona de cultivo. Para ello se elaboró la Tabla 5 que resume estas cantidades y la Figura 11 expresa los resultados en un diagrama de barras:

AÑO	PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)	VOLUMEN POR PRECIPITACIONES MENSUALES (m3/mes) V= Prep (m)*1ha (m2)	%De uso mensual	DEMANDA MENSUAL (D) (m3/mes)	DÉFICIT HÍDRICO MENSUAL (m3/mes) Def = D-V	Área de Estudio (A) (ha)	Volumen Mensual Que Extraer de la Fuente (m3) V <sub>o</sub>
ENERO	19.5	194.70	2%	100.00	0.00	50	0.00
FEBRERO	20.6	205.99	3%	150.00	0.00	50	0.00
MARZO	22.2	221.88	5%	250.00	28.12	50	1405.84
ABRIL	23.1	231.22	10%	500.00	268.78	50	13439.13
MAYO	18.9	188.65	15%	750.00	561.35	50	28067.59
JUNIO	11.5	115.47	15%	750.00	634.53	50	31726.30
JULIO	7.3	73.11	2%	100.00	26.89	50	1344.33
AGOSTO	6.7	67.48	3%	150.00	82.52	50	4125.86
SEPTIEMBRE	16.3	162.91	5%	250.00	87.09	50	4354.54
OCTUBRE	22.2	222.41	10%	500.00	277.59	50	13879.35
NOVIEMBRE	22.5	225.35	15%	750.00	524.65	50	26232.41
DICIEMBRE	19.8	197.61	15%	750.00	552.39	50	27619.65
<b>Total</b>		2106.78	100%	5000.00	3043.90		152195

Tabla 5. Resumen mensual de extracción de agua.

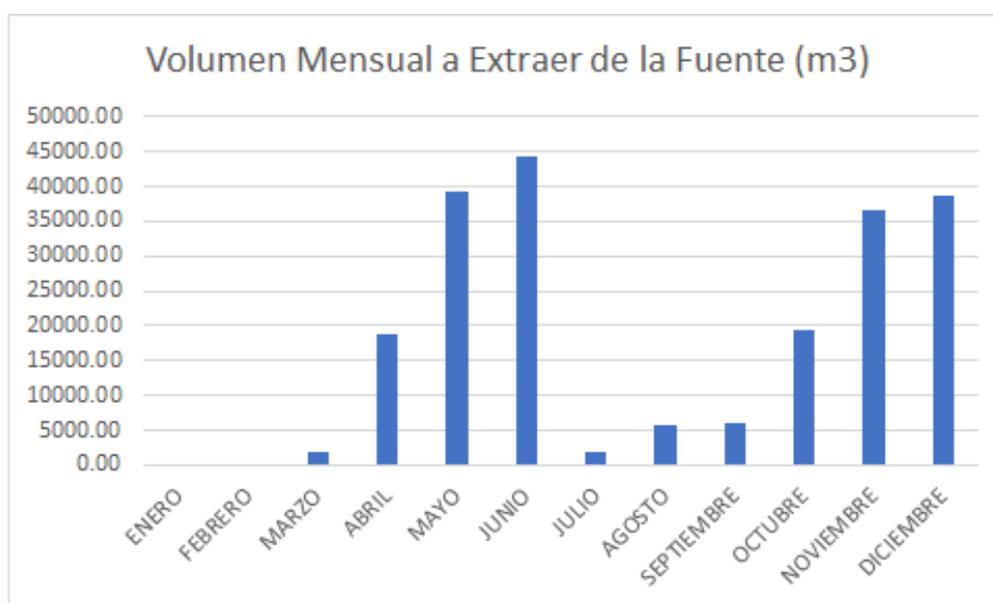


Figura 11. Volumen de agua mensual a extraer de la fuente.

Fuente: Elaboración propia.

A partir de la Tabla 5 se encontró que el rendimiento de extracción de la fuente es de  $3043.90 \text{ m}^3/\text{ha}$ , para el proyecto con un área de cultivo de  $50 \text{ ha}$  se necesita una extracción de al menos  $152195 \text{ m}^3$  de agua para abastecer a los cultivos durante su producción anual. En los meses correspondientes a Enero y Febrero no es necesario la captación de agua de la fuente ya que las precipitaciones abastecen lo necesario, en el resto de meses del año especialmente Mayo, Junio, Noviembre y Diciembre se necesita más abastecimiento debido a que el cultivo se encuentra en su etapa de floración y maduración.

A continuación se empleará un análisis el cual permite conocer la cantidad de extracción de agua de la fuente hídrica en el caso que también consideremos el volumen de agua aportado por la “Cuenca 1” cuyo estudio topográfico se realizó anteriormente en la Sección 2.1 de este informe. Para determinar el volumen aportado por la “Cuenca 1” se realizó un estudio similar a como se estimó el volumen aportado por la zona de cultivo a partir de las precipitaciones y el uso del método racional. La Tabla 6 indica un resumen de las cantidades:

Área Cuenca 1		316.25	ha				
Aporte				Necesidad			
AÑO	Precipitación mensual i (mm)	ÁREA CUENCA1 A1 (ha)	Caudal Q Q=ciA (m3/mes)	Volumen de Extracción sin aporte de Cuenca 1 (m3)	Volumen Que Extraer con aporte de Cuenca (m3)	Cantidad Que Almacenar para Reservorio (m3)	Check
ENERO	19.5	316.25	18472	0.00	0.00	18472	Alcanza
FEBRERO	20.6	316.25	19543	0.00	0.00	19543	Alcanza
MARZO	22.2	316.25	21051	1405.84	0.00	21051	Alcanza
ABRIL	23.1	316.25	21937	13439.13	0.00	21937	Alcanza
MAYO	18.9	316.25	17898	28067.59	10169.59	10170	Se Necesita
JUNIO	11.5	316.25	10956	31726.30	20770.69	20771	Se Necesita
JULIO	7.3	316.25	6937	1344.33	0.00	6937	Alcanza
AGOSTO	6.7	316.25	6402	4125.86	0.00	6402	Alcanza
SEPTIEMBRE	16.3	316.25	15456	4354.54	0.00	15456	Alcanza
OCTUBRE	22.2	316.25	21101	13879.35	0.00	21101	Alcanza
NOVIEMBRE	22.5	316.25	21380	26232.41	4852.17	4852	Se Necesita
DICIEMBRE	19.8	316.25	18748	27619.65	8871.69	8872	Se Necesita
Total			199881	152195	44664		

Capacidad Reservorio **20771** m3

Tabla 6. Cantidad mensual de agua a extraer considerando la Cuenca 1.

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto considerando el volumen de agua lluvia aportado por la *Cuenca 1* se debe extraer un total de 44644 m<sup>3</sup> anuales empleándolos en aquellos meses donde se observa un déficit considerable que en este caso sería los meses de Mayo, Junio, Noviembre y Diciembre. Una vez considerado la cantidad de volumen de extracción se debe buscar el lugar donde almacenarla. Una solución será el de considerar un reservorio que pueda almacenar la cantidad máxima mensual a extraer de la fuente cuyo análisis se encuentra en la Tabla 6 la cual considera el aporte del agua de la “Cuenca 1” y la extracción de agua debido al déficit existente. Concluyendo que el volumen mensual de agua que debe almacenarse en el reservorio para cubrir las necesidades hídricas de los cultivos es de 20771 m<sup>3</sup>.

Finalmente se debe realizar un análisis similar para el agua aportada por la Cuenca de la Laguna de tal manera de comprobar que la cantidad agua producida en la Laguna corresponda a la mínima que se deba extraer mensualmente.

Area Cuenca Laguna		824.26	ha			
AÑO	Precipitación mensual i (mm)	Área Cuenca Laguna (ha)	Caudal Q Q=ciA (m3/mes)	Volumen a Extraer con aporte de Cuenca(m3)	Check	
ENERO	19.5	824.26	48144	0.00		
FEBRERO	20.6	824.26	50936	0.00		
MARZO	22.2	824.26	54867	0.00		
ABRIL	23.1	824.26	57175	0.00		
MAYO	18.9	824.26	46649	10169.59	Cumple	
JUNIO	11.5	824.26	28554	20770.69	Cumple	
JULIO	7.3	824.26	18079	0.00		
AGOSTO	6.7	824.26	16687	0.00		
SEPTIEMBRE	16.3	824.26	40284	0.00		
OCTUBRE	22.2	824.26	54998	0.00		
NOVIEMBRE	22.5	824.26	55725	4852.17	Cumple	
DICIEMBRE	19.8	824.26	48864	8871.69	Cumple	
			520961	44664		

Tabla 7. Cantidad mensual de agua a extraer considerando la Cuenca 1

### CAPITULO 3: ANÁLISIS Y DISEÑO DEL SISTEMA SIFÓN

En este capítulo se desarrollará el diseño de la obra de captación, transporte y almacenamiento de agua. Para ello en primer lugar se planea realizar un estudio sobre la línea de tubería o sistema del sifón para después proceder a calcular el caudal de diseño del sifón acorde a un diseño preliminar el cual permitirá realizar un respectivo análisis del sistema de captación y conducción.

#### 3.1 Línea de tuberías

Establecer la ruta o trayecto que debe tener el sistema sifón permite tener una buena esquematización del mismo. La Figura 12 y 13 permiten conocer la ruta del sistema de tubería en la zona de estudio y una vista en perfil de elevación del mismo respectivamente.



Figura 12. Ruta o trayecto del sistema

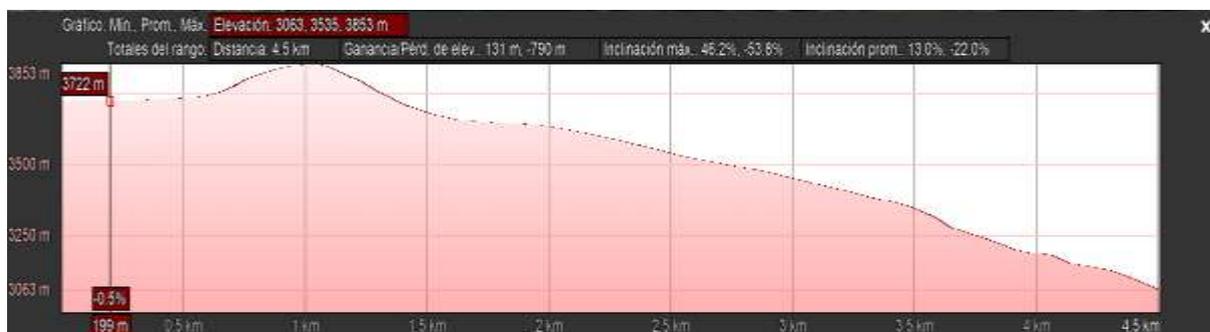


Figura 13. Perfil de elevación del sistema.

Fuente: Google Earth, 2021.

A partir del trazado de la línea de tubería se obtiene que el recorrido total es de 4350 m pero se usará un total de 4400 m en caso de necesitar mas longitud al momento de introducir la tubería en la fuente hídrica. El perfil de elevación considera las elevaciones del nivel del agua, el punto de interés o salida del caudal y la elevación máxima, correspondiendo a 3722msnm, 3063msnm y 3853msnm respectivamente.

### 3.2 Análisis y diseño del sistema sifón

Para realizar el predimensionamiento y a su vez su respectivo análisis se considera el tipo de sistema en este caso corresponde a un sifón normal o sifón de conducción (Figura 14) porque “toma el agua del lago y esta agua tiene que subir hasta la cresta o estación de vacío que está a un nivel de altura superior que el del lago y que las válvulas de entrega del sifón” (Rojas & Tibamoso, pag.15).

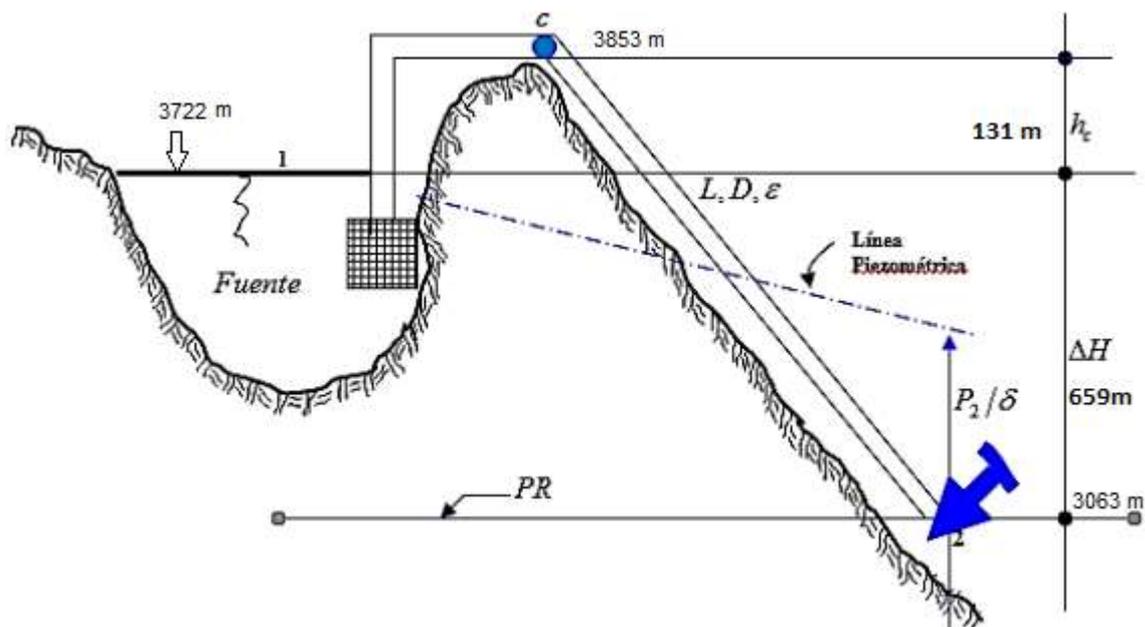


Figura 14. Esquema de sifón de conducción.

Fuente: Macías, 2015.

### 3.2.1 Caudal del diseño.

#### *Propiedades del fluido.*

La Laguna de Mojanda es considerada una fuente hídrica compuesta por agua en su mayoría en estado puro por lo tanto sus propiedades fueron consideradas del libro de Mecánica de Fluidos de Mott y resumidas en la Figura 15.

Temperatura (°C)	Peso específico $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	Densidad $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Viscosidad dinámica $\eta$ (Pa·s)	Viscosidad cinemática $\nu$ (m <sup>2</sup> /s)
0	9.81	1000	$1.75 \times 10^{-3}$	$1.75 \times 10^{-6}$
5	9.81	1000	$1.52 \times 10^{-3}$	$1.52 \times 10^{-6}$
10	9.81	1000	$1.30 \times 10^{-3}$	$1.30 \times 10^{-6}$
15	9.81	1000	$1.15 \times 10^{-3}$	$1.15 \times 10^{-6}$
20	9.79	998	$1.02 \times 10^{-3}$	$1.02 \times 10^{-6}$

Figura 15. Propiedades del Agua

Fuente: Mecánica de Fluidos by Mott, 2016

Ya que la temperatura del agua en la laguna de Mojanda es de 8°C su peso específico equivale a 9.81 kN/m<sup>3</sup>, su densidad específica de 1000kg/m<sup>3</sup> y para la obtención de la viscosidad absoluta y cinemática a través de una una interpolación se obtiene un valor 1.39E-03 Pa\*s y 1.39E-06 m<sup>2</sup>/s respectivamente.

#### *Metodología.*

El cálculo del caudal de diseño se basa a partir del MÉTODO II-C del libro de Mott conocido como “*Enfoque iterativo para resolver problemas de tuberías en serie de clase II*” debido a que se desconoce el factor de fricción y la velocidad actuante en la tubería las cuales dependen entre sí (Mott, 2016). A continuación se presentará un resumen del método.

1. Escribir la ecuación de la energía para el sistema.
2. Evaluar las cantidades conocidas, tales como las cargas de presión y de elevación.

3. Expresar las pérdidas de energía en términos de la velocidad desconocida  $v$  y el factor de fricción  $f$ .
4. Despejar la velocidad en términos de  $f$ .
5. Expresar el número de Reynolds en términos de la velocidad.
6. Calcular la rugosidad relativa  $D/e$ .
7. Seleccionar un valor para el intento de  $f$  con base en la incógnita  $D/e$ , y un número de Reynolds en el rango de turbulencia.
8. Calcular la velocidad por medio de la ecuación del paso 4.
9. Determinar el número de Reynolds con la ecuación del paso 5.
10. Evaluar el factor de fricción  $f$  para el número de Reynolds obtenido en el paso 9 y el valor conocido de  $D/e$ , con el diagrama de Moody del Anexo C1.
11. Si el valor nuevo de  $f$  es diferente del valor que se empleó en el paso 8, se repiten los pasos 8 a 11, con el empleo del valor nuevo de  $f$ .
12. Si no hay cambio significativo de  $f$  al valor supuesto, entonces la velocidad que se halló en el paso 8 es la correcta.

**Calculos.**

Mediante la aplicación de los pasos anteriores se realizó los siguientes cálculos:

*Ecuación de Bernoulli.*

$$\frac{P_A}{\gamma_{fluido}} + z_A + \frac{v_A^2}{2g} - h_L = \frac{P_B}{\gamma_{fluido}} + z_B + \frac{v_B^2}{2g}$$

Para las cargas de velocidad y las cargas de presión se consideró los siguientes parámetros:

$$p_1 = 0; v_1 = 0; z_1 = 3722m$$

$$p_4 = 0; v_4 = v_B; z_4 = 3063m$$

$$\gamma_{agua} = 9.81 \text{ kN/m}^3; g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

Por lo tanto la Ecuación de Bernoulli se reduce a la forma:

$$z_1 - z_4 = \frac{(v_B)^2}{2g} + h_{Ltotal}$$

*Perdidas de energía.*

La pérdida de energía total  $h_{Ltotal}$  dependen de las perdidas provocadas por los componentes que actúan en el sistema ocurriendo: perdidas en la entrada, por fricción en la tubería, por conexiones de codos y por válvulas de compuerta cuyas expresiones son:

$$\text{Pérdida en la entrada: } h_1 = 1.0x \frac{(v_B)^2}{2g}$$

$$\text{Pérdida por fricción en la tubería : } h_2 = f x \frac{L}{D} x \frac{(v_B)^2}{2g}$$

$$\text{Pérdida en codos de radio largo: } h_3 = f_T x \frac{L_e}{D} x \frac{(v_B)^2}{2g} * \#conexiones$$

$$\text{Válvula de compuerta abierta (mitad): } h_4 = f_T x \frac{L_e}{D} x \frac{(v_B)^2}{2g}$$

A diferencia de la pérdida de energía producida en la entrada del sistema los demás tipos de energía dependen de parámetros como la longitud de la línea de tubería L, la longitud efectiva  $L_e$  y el diámetro de la tubería empleada, este sistema está predimensionado para un total de 4400m de línea de tubería (L) cédula 40 con un tamaño nominal de 4 *pulg* el cual tiene un diámetro interno de 90.1mm según el Anexo C2 correspondiente a las dimensiones de tuberías, y se supuso que el sistema cuenta con 6 conexiones (codos) para los cambios de pendiente y una válvula de salida estimadas a partir del esquema de la Figura 16.

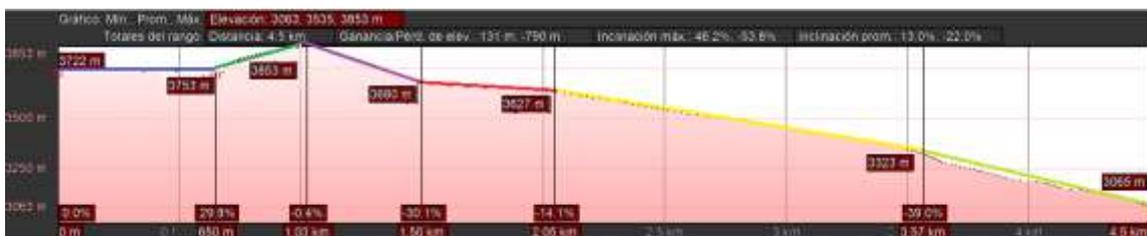


Figura 16. Esquema de secciones de la tubería del sistema.

Fuente: Google Earth, 2021.

Las relaciones  $\frac{L_e}{D}$  para los codos y las válvulas empleadas se obtienen a partir de la Figura 17.

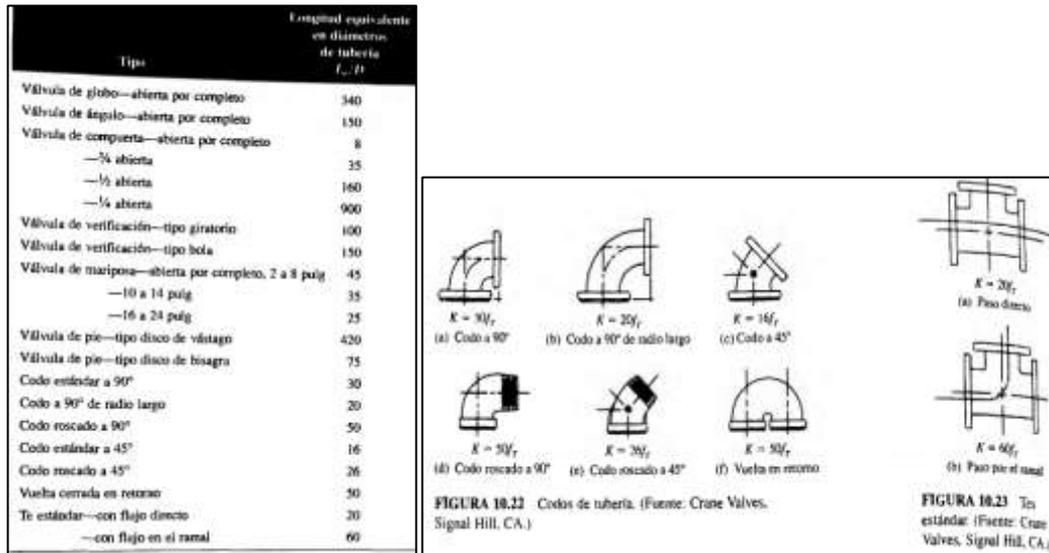


Figura 17. Longitud equivalente en diámetro de tuberías para codos y válvulas.

Fuente: Mecánica de Fluidos por Mott, 2016

Para codos de 90° de radio largo la relación  $L_e/D$  equivale a 20, mientras que la válvula de compuerta abierta a la mitad corresponde a un factor de 160 de tal manera que la expresión de la pérdida total de energía en términos de la velocidad  $v_B$  es:

$$h_L = (1.0 + 48834.6f + (20f_T * 6) + 160f_T) \times \frac{(v_B)^2}{2g}$$

Los factores  $f_T$  se obtienen de la Figura 18, los cuales dependen del diámetro de tubería utilizada por lo que para un tubería de acero de  $3\frac{1}{2}$  in el valor de  $f_T$  es igual a 0.017.

Tamaño nominal de la tubería (pulg)	Factor de fricción $f_T$	Tamaño nominal de la tubería (pulg)	Factor de fricción $f_T$
$\frac{1}{2}$	0.027	$3\frac{1}{2}$ , 4	0.017
$\frac{3}{4}$	0.025	5	0.016
1	0.023	6	0.015
$1\frac{1}{4}$	0.022	8-10	0.014
$1\frac{1}{2}$	0.021	12-16	0.013
2	0.019	18-24	0.012
$2\frac{1}{2}$ , 3	0.018		

Figura 18. Factores de fricción  $f_T$  según diámetro de tubería.

Fuente: Mecánica de Fluidos por Mott, 2016

Entonces tenemos:

$$h_L = (5.76 + 48834.6f)x \frac{(v_B)^2}{2g}$$

Sustituyendo la expresión en la ecuación reducida de Bernoulli anteriormente:

$$z_1 - z_4 = \frac{(v_B)^2}{2g} + (5.76 + 48834.6f)x \frac{(v_B)^2}{2g}$$

En termino de  $v_B$  se expresa como:

$$v_B = \sqrt{\frac{2g(z_1 - z_4)}{6.76 + 48834.6f}}$$

Y finalmente reemplazando las alturas conocidas se obtiene:

$$v_B = \sqrt{\frac{2g(659)}{6.76 + 43010.8f}}$$

Esta expresión será de gran importancia más adelante permitiendo la iteración del factor de fricción para determinar la velocidad de flujo en la tubería.

#### *Número de Reynolds y rangos de iteración del factor de fricción $f$*

El Número de Reynolds (NR) representa un parámetro adimensional cuyo valor indica si el flujo sigue un modelo laminar o turbulento (Mott, 2016). Depende de otros parámetros como velocidad de flujo, diámetro de tubería, densidad y viscosidad.

El número de Reynolds se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$NR = \frac{vD\rho}{\eta} = \frac{vD}{\nu}$$

Donde:

$v$ : Es la velocidad de flujo

$D$ : es el diámetro de la tubería

$\rho$ : es la densidad del fluido (agua)

$\eta$ : es la viscosidad dinámica del fluido (agua)

$v$ : Es la velocidad cinemática (agua)

Por lo tanto si:

$$NR < 2000; \text{ el flujo es laminar}$$

$$NR > 4000; \text{ el flujo es turbulento}$$

Expresamos el Número de Reynolds en función de la velocidad  $v_B$  de la siguiente manera:

$$NR = \frac{v_B D}{\nu}$$

Reemplazando los datos del sistema de captación se obtiene el NR en función de  $v_B$ :

$$NR = \frac{v_B(0.0901m)}{0.00000139 \text{ m}^2/\text{s}} = 64820v_B$$

*Coefficiente de Rugosidad  $\epsilon$ .*

Todo material posee un efecto debido a su rugosidad que influye en las pérdidas de energía del agua. La Figura 19 contiene una lista de los valores de rugosidad de distintos materiales. Para el sistema se utilizará tubería de Acero comercial con un rugosidad  $\epsilon = 4.6E-05$  m

Material	Rugosidad $\epsilon$ (m)
Vidrio	Liso
Plástico	$3.0 \times 10^{-7}$
Tubo extruido; cobre, latón y acero	$1.5 \times 10^{-6}$
Acero, comercial o soldado	$4.6 \times 10^{-5}$
Hierro galvanizado	$1.5 \times 10^{-4}$
Hierro dúctil, recubierto	$1.2 \times 10^{-4}$
Hierro dúctil, no recubierto	$2.4 \times 10^{-4}$
Concreto, bien fabricado	$1.2 \times 10^{-4}$
Acero remachado	$1.8 \times 10^{-3}$

Figura 19. Valores de Rugosidad de materiales.

Fuente: Mecánica de Fluidos by Mott, 2016

*Factor de Fricción  $f$*

El coeficiente o factor de fricción es un parámetro de diseño importante al considerar las pérdidas de energía mecánica en el transporte de fluidos a través de tuberías, ya sea para

evaluar la potencia necesaria, o para estimar el diámetro del conducto, entre otros aspectos. (Ibarz et al., 2001; Vélez, 2003a)

Recordemos que una forma de obtener el factor de fricción es por medio del diagrama de Moody a través de la relación del diámetro de la tubería con el coeficiente de rugosidad del material.

A partir del diagrama de Moody y la relación  $\frac{D}{\epsilon} = \frac{0.0901 \text{ m}}{4.60E-05 \text{ m}} = 1959$ , se observa que el valor más bajo posible de  $f$  es 0.017 para números de Reynolds muy altos, y el más alto posible es de 0.04 para un número de Reynolds iguales a 4000.

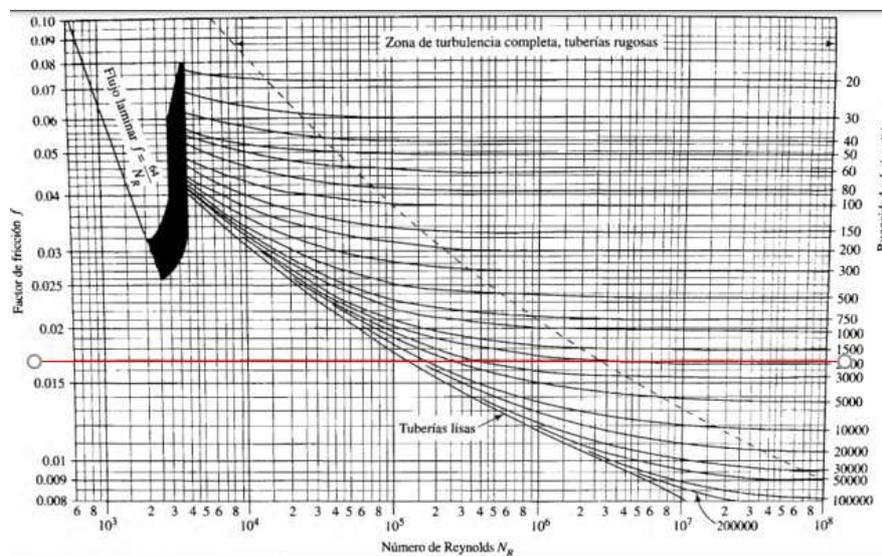


Figura 20. Rangos de iteración mediante Diagrama de Moody.

Fuente: Mecánica de Fluidos by Mott, 2016

Por lo tanto decimos que el factor de fricción se encontrará dentro de este rango de valores [0.017; 0.04] identificados en la Figura 20. Se comienza el proceso de iteración comenzando con un factor de fricción de 0.030 obteniendo así un valor de velocidad  $v_B$  inicial y un número de Reynolds  $NR$  y mediante la aplicación de la fórmula del factor de fricción (Figura 21) se calcula un nuevo valor de  $f$  el cual no debe variar del seleccionado anteriormente.

$$f = \frac{0.25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3.7(D/\epsilon)} + \frac{5.74}{NR^{0.9}} \right) \right]^2}$$

Figura 21. Factor de Fricción  $f$  para flujo turbulento.

Fuente: Mecánica de Fluidos by Mott, 2016

De manera de que cumpla con las condiciones necesarias se continuó con el proceso de iteración el cual se evidencia en la Tabla 7 obteniendo los siguientes resultados:

Factor $f_1$	Velocidad $v$ (m/s)	N. Reynolds	Factor $f_2$
0.0300	2.96	192122	0.0191
0.0191	3.71	240466	0.0187
0.0187	3.75	243005	0.0187
0.0187	3.75	243005	0.0187
0.0187	3.75	243005	0.0187
0.0187	3.75	243005	0.0187

Tabla 8. Proceso de iteración para factor de fricción  $f$ 

De la Tabla 7 se concluye que el factor de fricción comienza a ser constante en un valor de 0.0187 a una velocidad de 3.75 m/s. Una vez obtenido la velocidad de diseño, procedemos a calcular el caudal a partir de la ecuación:

$$Q = v * A_{tubería}$$

De tal forma que con una velocidad ( $v$ ) de 3.75 m/s y un área de tubería ( $A$ ) de 0.00638 m<sup>2</sup> debido a que el diámetro interno de la tubería de 3½ in Cédula 40 es de 0.0901 m se concluye que el caudal de diseño corresponde a 23.9 L/s.

$$Q = 3.75 \text{ m/s} * \frac{\pi}{4} (0.0901 \text{ m})^2$$

$$Q = 0.0239 \text{ m}^3/\text{s} = 23.9 \text{ L/s}$$

A partir del análisis realizado el sistema de captación mantienen los siguientes parámetros:

Resultados		
<b>Diámetro de diseño (D)</b>	3_1/2	In.
<b>Velocidad de diseño (v)</b>	3.75	m/s
<b>Caudal de diseño (Q)</b>	23.9	L/s
<b>Factor de fricción <math>f</math></b>	0.0187	
<b>Número de Reynolds NR</b>	243076	Turbulento

Tabla 9. Parámetros para el sistema de captación.

Fuente: Elaboración Propia.

## CAPITULO 4: ANÁLISIS DE COSTOS.

Para preparar un presupuesto o estimar los costos para el trabajo de construcción, se debe tener presente que el cálculo del costo es fundamental a lo largo del proceso de planificación. En esta sección se desarrolló una estimación presupuestaria de los costos directos para la construcción de la obra de captación o sistema sifón debido a que la mayor parte del estudio está enfocado en este sistema.

### 4.1 Metodología

La metodología se realiza a partir de “*Estimaciones Aproximadas de Costos*” el cual permite estimar los costos del proyecto en base a los costos de otro proyecto similar, es un proceso comúnmente utilizado al momento de estimar el costo de un proyecto para sus diferentes fases de construcción. (AACE International, 2005).

Las estimaciones aproximadas de costos se clasifican en 5 niveles en donde cada nivel resulta de conocer que tan definido está el proyecto al momento de hacer un presupuesto. A continuación se presenta la Figura 21 en donde se muestran los niveles de estimación.

<b>Estimate class</b>	<b>Level of project definition</b>	<b>End usage— Typical purpose of estimate</b>	<b>Expected accuracy range</b>
Class 5	0% to 2%	Concept screening	-50% to 100%
Class 4	1% to 5%	Study or feasibility	-30% to +50%
Class 3	10% to 40%	Budget, authorization, or control	-20% to +30%
Class 2	30% to 70%	Control or bid/tender	-15% to +20%
Class 1	50% to 100%	Check estimate or bid/tender	-10% to +15%

Association for Advancement of Cost Engineering International

Figura 21. Clasificación de la estimación de costos.

Fuente: AACE International, 2005.

El proyecto no se encuentra definido completamente, sino más bien entre el 1% al 5% del total es decir se encuentra en una fase de conceptualización y de factibilidad por lo tanto se realizará una estimación clase 5 y clase 4 permitiendo conocer un poco más a detalle su cotización respecto a costos directos.

## 4.2 Presupuesto guía

Se utilizó como referencia el presupuesto del Anexo D1 y se extrajo la información necesaria para el proyecto cuyos rubros se encuentran plasmados en la Tabla 9.

PROYECTO SIFÓN invertido (AÑO 2017)						
Presupuesto Construcción de Sifón 2017						
Proyecto:	MEJORAMIENTO Y AMPLIACION DEL SERVICIO DE AGUA PARA RIEGO DEL CANAL MATRIZ DE CARHUASCANCHA DEL DISTRITO DE CHAVIN DE HUANTAR-HUARI-ANCASH					
Año de construcción:	2017					
Cliente	MUNICIPALIDAD DE CHAVIN DE HUANTAR					
Ubicación:	ANCASH - HUARI - CHAVIN DE HUANTAR					
ITEM	USD	%	Unidad	Cantidad	Nivel 5	Nivel 4
					USD/u	USD/u
<b>Sifón Invertido PR. 10+270 A 11+516</b>	\$ 506,030.59	100.0%	m	1249.25	\$405	
Obras Preliminares	\$ 2,335.08	0.5%	m2	957		\$2.44
Movimiento de Tierras	\$ 10,108.05	2.0%	m2	1357.68		\$7.45
Tubería HDPE Polietileno	\$ 401,083.22	79.3%	m	1250		\$320.87
Accesorios en Tubería HDPE (Suministro e instalación)	\$ 57,903.82	11.4%	unidad	23		\$2,517.56
Obras de Concreto Simple	\$ 988.73	0.2%	m2	35.63		\$27.75
Obras de Concreto Armado	\$ 28,015.05	5.5%	m2	131.62		\$212.85
Prueba Hidráulica	\$ 5,596.64	1.1%	m	1249.25		\$4.48

Tabla 10. Rubros para construcción de un sifón invertido para el año 2017.

Fuente: Elaboración Propia.

## 4.3 Presupuesto del sistema de captación del proyecto

Se debe buscar la manera de relacionar los rubros del presupuesto guía con la del proyecto. Por tal motivo se emplea un factor que modifique las cantidades de obra en relacion

a las del presupuesto dado así se podrá usar los mismo precios unitarios para todos los costos dentro del presupuesto.

Para encontrar este factor se consideró el tamaño de construcción de ambos proyectos llegando a concluir que el proyecto es 3.5 veces más grande que el otro, por lo que estimaremos para cada rubro que las cantidades son 3.5 veces mayores a las requeridas para el proyecto modelo. En la Tabla 10 se muestra las estimaciones consideradas para el proyecto.

PROYECTO SIFÓN normal (AÑO 2017)					
Presupuesto Construcción de Sifón normal 2017					
Proyecto:	OBRA DE CAPTACION POR MEDIO DE SIFON NORMAL DE LA LAGUNA DE MOJANDA PARA SECTORES ALTOS DE SAN RAFAEL Y GONZALES SUAREZ				
Año de construcción:	2017				
Cliente	GAD MUNICIPAL DE OTAVALO				
Ubicación:	MOJANDA				
Factor	3.5				
				Costo Directo	
				Nivel 5	Nivel 4
				USD	USD
<b>Sifon Normal PR. 0+000 A 4+350</b>	m	100.0%	4350	\$1,762,043.68	
Obras Preliminares	m2	0.5%	3349.5		\$8,172.78
Movimiento de Tierras	m2	2.0%	4751.88		\$35,378.18
Tubería HDPE Polietileno	m	79.1%	4350		\$1,395,769.61
Accesorios en Tubería HDPE (Suministro e instalación)	unidad	11.6%	81		\$203,922.15
Obras de Concreto Simple	m2	0.2%	124.705		\$3,460.56
Obras de Concreto Armado	m2	5.6%	460.67		\$98,052.68
Prueba Hidráulica	m	1.1%	4350		\$19,488.00
				Total	\$1,764,243.94

Tabla 11. Estimacion de costo de construcción de sifón normal para el año 2017.

Fuente: Elaboración Propia.

Se debe tener en cuenta que este presupuesto obtenido está pensado para el caso en que la obra se hubiera construido en el año 2017.

#### 4.4 Presupuesto del sistema de almacenamiento del proyecto

De manera similar al sistema de captación se realizó una estimación presupuestaria para la construcción del reservorio para una capacidad de almacenamiento de 1500 m<sup>3</sup> cuyos resultados se muestran en la Tabla 11.

PROYECTO RESERVORIO (AÑO 2017)					
Presupuesto Construcción de Sifón normal 2017					
Proyecto:	OBRA DE ALMACENAMIENTO DE AGUA DE LA LAGUNA DE MOJANDA				
Año de construcción:	2011				
Cliente	GAD MUNICIPAL DE OTAVALO				
Ubicación:	MOJANDA				
Factor	1.5				
				Costo Directo	
				Nivel 5	Nivel 4
ITEM	Unidad	%	Cantidad	USD	USD
Reservorio Elevado	m3	100.0%	1500	\$519,150.53	
Obras Preliminares	m2	0.4%	650.61		\$2,010.05
Movimiento de Tierras	m2	5.4%	650.61		\$27,897.18
Concreto Simple y Armado	m3	78.8%	1500		\$409,299.59
Revoques y enlucidos	m2	1.2%	900		\$6,088.47
Carpintería Metálica	m2	0.3%	650.61		\$1,308.05
Varios	m2	5.5%	650.61		\$28,547.64
Equipamiento Hidráulico	m3	8.5%	1500		\$43,999.56
				Total	\$519,150.53

Tabla 12. Estimación de costo de construcción de un reservorio para el año 2011.

Fuente: Elaboración Propia, Excel 2010.

#### 4.5 Índice de Precios de la Construcción (IPCO)

El IPCO es un indicador que mide mensualmente la evolución de los precios, a nivel de productor y/o importador, de los materiales, equipo y maquinaria de la construcción para

ser aplicados en las fórmulas polinómicas de los reajustes de precios de los contratos de la obra pública. (INEC, 2021).

Tal como se menciona la forma de reajustar los precios relacionándolos al proyecto es mediante las Tablas del IPCO obtenidas de la página del INEC. El cual mediante su respectivo análisis se determinó el índice de precios promedio para cada año cuyos resultados se plasman en la Figura 22.

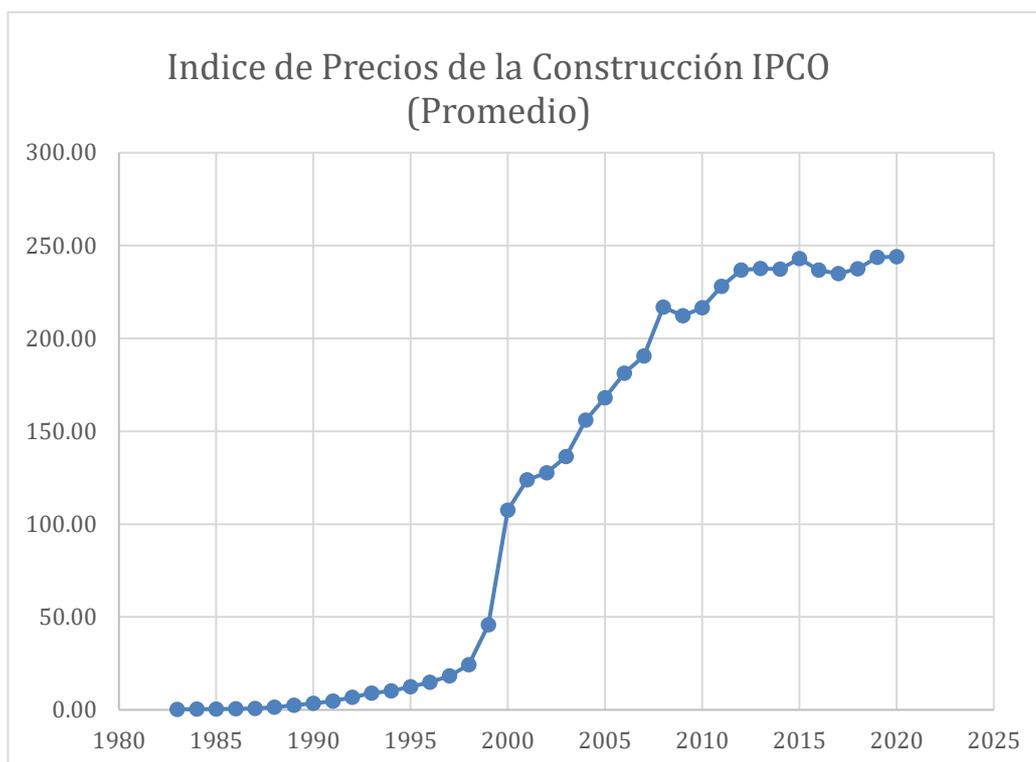


Figura 22. Índice de Precios Promedio de la Construcción.

Fuente: INEC, 2021.

#### 4.6 Reajuste de precios a futuro

El reajuste se lo realizará para el año 2020 ya que cuenta con mayor información que el año 2021. Una vez obtenido el IPCO promedio es necesario estimar los valores a futuro de construcción a partir de la siguiente fórmula:

$$F = P(1 + i)^n$$

Siendo:  $F$  el valor futuro,  $P$  el valor pasado,  $n$  el número de años e  $i$  el índice de crecimiento.

De esta expresión se debe obtener el índice de crecimiento  $i$  para calcular el costo a futuro en el año 2020 de esta manera la expresión se representa de la siguiente manera:

$$i = \sqrt[n]{\frac{F}{P}} - 1$$

La siguiente tabla muestra los parámetros necesarios para el cálculo de la tasa de crecimiento aplicando la respectiva ecuación:

Estimación del Índice de Crecimiento	
Año	IPCO
2016	236.81
2020	243.99
<b>F</b>	243.99
<b>P</b>	236.81
<b>n</b>	4
<b>i</b>	0.750%

Tabla 13. Estimación del índice de crecimiento (2016 – 2020)

Fuente: Elaboración Propia

A partir de los parámetros de la Tabla 12 y la aplicación de la fórmula de estimación futura en términos de  $i$  se obtuvo que la tasa de crecimiento es de 0.750% entre los años 2016 al 2020.

La Tabla 13 muestra un resumen del presupuesto del sifón y del reservorio para una estimación clase 5 y clase 4 a partir de la misma fórmula de estimación futura y el índice de crecimiento obtenido anteriormente junto con sus respectivos rangos de aproximación.

Estimación de Precios para Sistema de Captación				
Año	Tipo Estimación	Costo Total USD	Rango de aproximación	
2017	Nivel 5	\$1,762,043.68	(-50%)	\$ 881,000.00
			(+100%)	\$ 3,524,100.00
	Nivel 4	\$1,764,243.94	(-30%)	\$ 1,235,000.00
			(+50%)	\$ 2,646,400.00
2020	Nivel 5	\$1,801,979.60	(-50%)	\$ 901,000.00
			(+100%)	\$ 3,604,000.00
	Nivel 4	\$1,804,229.72	(-30%)	\$ 1,263,000.00
			(+50%)	\$ 2,706,300.00

Estimación de Precios para Sistema de Almacenamiento				
Año	Tipo Estimación	Costo Total USD	Rango de aproximación	
2011	Nivel 5	\$519,150.53	(-50%)	\$ 259,600.00
			(+100%)	\$ 1,038,300.00
	Nivel 4	\$519,150.53	(-30%)	\$ 363,400.00
			(+50%)	\$ 778,700.00
2020	Nivel 5	\$555,255.53	(-50%)	\$ 277,600.00
			(+100%)	\$ 1,110,500.00
	Nivel 4	\$555,255.53	(-30%)	\$ 388,700.00
			(+50%)	\$ 832,900.00

Tabla 14. Resumen de estimación de costos para el año 2017 y 2020.

Por lo tanto a medida que va creciendo el IPCO anual el presupuesto va incrementando o viceversa. Se realiza la estimación para el año 2020 debido a que para el año 2021 no existen los suficientes datos referentes al IPCO.

Se concluye que el costo de construcción para el *sistema de captación* tiene una estimación nivel 5 con un costo total de \$1,801,979.60 con un rango de variación de su costo total entre (-50% a +100%), mientras que para una estimación un poco más detallada o de nivel 4 su costo de construcción equivale a \$1,804,229.72 con un rango de variación de su costo total entre (-30% a +50%). El mismo análisis para el costo de construcción para el *sistema de almacenamiento* se considerará la estimación nivel 4 con un costo total de \$555,225.53 con un rango de variación de su costo total entre (-30% a +50%).

Por lo tanto se estima que el costo total del proyecto equivaldría como mínimo a un costo directo total de \$1'651,700 y un máximo de \$3'539,200 considerando los costos mínimos de la estimación clase 4.

## **CAPITULO 5: IMPACTO AMBIENTAL Y ECONÓMICO**

El impacto ambiental es la alteración del medio ambiente, provocada directa o indirectamente por un proyecto o actividad en un área determinada, en términos simples el impacto ambiental es la modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza. (GRN, 2020). Existen diversos tipos de impacto ambiental, para este estudio se consideró el impacto ambiental debido a la contaminación y al aprovechamiento de los recursos naturales, los cuales son los que más sobresalen al desarrollar un proyecto constructivo. Además se hablará en como la obra beneficia a los moradores de las comunidades o sectores cercanos.

### **5.1 Impacto ambiental por contaminación**

#### **5.1.1 Ruido.**

Debido a que la obra se encuentra en una zona alejada de las comunidades no se percibe el factor de ruido que sea molesto para los moradores de las comunidades de San Rafael y Gonzales Suarez por tal razón no es innecesario realizar un estudio de ruido que genere la obra tanto durante su construcción y operación del mismo.

#### **5.1.2 Contaminación de la fuente.**

En la zona de la fuente hídrica debido a que el sistema está planeado a que su funcionamiento no requiera de motores por lo tanto no existen efectos que alteren la fuente hídrica manteniendo que el agua siga manteniéndose pura. A futuro podría considerarse la oxidación de las tuberías de acero por tal motivo se debería pensar en el uso de recubrimientos para las tuberías o su debido cambio al momento de presentarse el posible desgaste.

#### **5.1.3 Contaminación del suelo.**

Existen diversas formas de contaminar o dañar el suelo, la más perjudicial corresponde a que el sistema produzca humedad en el caso en que existan fugas o malas conexiones en el

sistema. Por ello es recomendable monitorear y realizar inspecciones de tal manera de evitar estos perjuicios además de colocar en el sistema válvulas de cierre de forma que se pueda realizar un correcto mantenimiento a lo largo de la línea de tubería.

## 5.2 Impacto ambiental por aprovechamiento de la fuente hídrica

Para este tipo de impacto es fundamental analizar si la cantidad de agua que se extrae es mayor a la cantidad de agua que se produce en la fuente hídrica ocasionando que la fuente llegue a un punto en el que se drene más de lo que se llena. Para este análisis se partirá del estudio de oferta y demanda hídrica realizada en el Capítulo 2.

Del estudio hidrológico realizado en la “Cuenca Laguna” de Mojanda a partir de las precipitaciones medias multianuales se estimó que el caudal producido en esa cuenca era igual a 132 L/s pero para hacer una estimación más precisa usaremos las precipitaciones de las estaciones cercanas al lugar, calculando el aporte de la cantidad de volumen de agua que aporta la Cuenca de la Laguna en su respectiva área de 824.26 ha y el uso del método racional ( $Q=ciA$ ). En la Tabla 13 se indica el volumen total de agua que aporta anualmente las precipitaciones según las estaciones hidrológicas cercanas al lugar.

AÑO	Precipitación mensual i (mm)	ÁREA LAGUNA A1 (ha)	Volumen proporcionado por Cuenca Laguna (m3)	Volumen de Extracción sin aporte de Cuenca1 (m3)	Volumen Que Extraer con aporte de Cuenca1 (m3)
ENERO	19.5	824.26	48144	0.00	0
FEBRERO	20.6	824.26	50936	0.00	0
MARZO	22.2	824.26	54867	1405.84	0
ABRIL	23.1	824.26	57175	13439.13	0
MAYO	18.9	824.26	46649	28067.59	10170
JUNIO	11.5	824.26	28554	31726.30	20771
JULIO	7.3	824.26	18079	1344.33	0
AGOSTO	6.7	824.26	16687	4125.86	0
SEPTIEMBRE	16.3	824.26	40284	4354.54	0
OCTUBRE	22.2	824.26	54998	13879.35	0
NOVIEMBRE	22.5	824.26	55725	26232.41	4852
DICIEMBRE	19.8	824.26	48864	27619.65	8872
<b>TOTAL</b>			<b>520961</b>	152195	44664

Tabla 15. Aporte de volumen de agua debido a las precipitaciones.

Fuente: Elaboración Propia.

A partir de estos resultados se concluye que la cantidad de agua que aporta la “Cuenca Laguna” es de 520961 m<sup>3</sup> anuales (fila color azul). Al relacionar este resultado y comparándolos con estudio de la demanda hídrica realizada anteriormente se obtuvo el siguiente gráfico de barras:

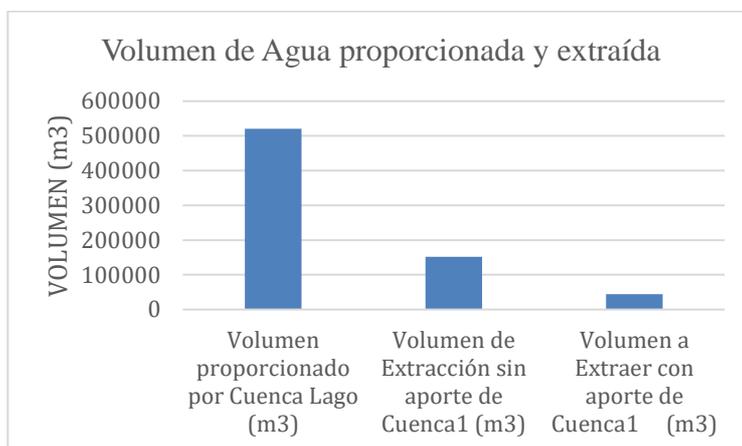


Figura 23. Volumen de llenado y de extracción para las Cuencas de estudio.

En el estudio de la demanda hídrica para conocer la cantidad de volumen a extraer se estimó que sin considerar el aporte de volumen de agua de la Cuenca 1 se necesitaba extraer un total de 152195 m<sup>3</sup> que representa el 30% de la cantidad de agua producida. En caso de considerar la Cuenca 1 se debe extraer 44664 m<sup>3</sup> representando un 8.57% de la cantidad de agua producida de esta manera se concluye que la “Cuenca Laguna” proporciona la debida cantidad de agua la cual puede ser extraída para solventar las necesidades del sistema de captación sin que afecte la fuente hídrica de manera que se drene.

### 5.3 Impacto Económico

#### 5.3.1 Población económicamente activa.

A partir de los datos proporcionados por el PDTTO de San Rafael de la Laguna expresados en la Figura 24 donde se evidencia que la relación entre la población ocupada y la población asalariada, en donde se indica que del 36,84% de la población se dedica a la actividad agrícola y que de ese porcentaje el 15,52% son personas asalariados, por lo tanto la mayoría de las

personas dedicadas a esta actividad no tienen un salario fijo porque la actividad agrícola es desarrollada a nivel familiar en las comunidades, sin generar ningún compromiso ni obligación de pago.

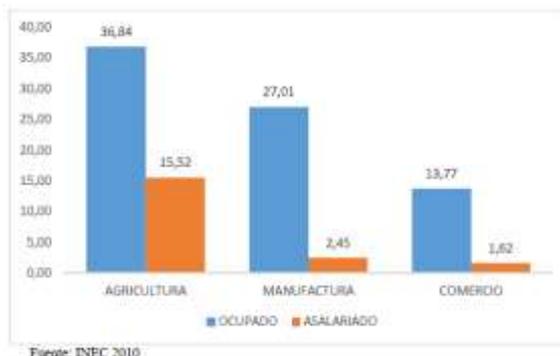


Figura 24. Población económicamente activa.

Fuente: PDTO de San Rafael, 2015.

Al clasificar a la población económicamente activa por rama de actividad principal (Figura 25), se determina que la de mayor importancia es la agricultura y ganadería con una participación del 38,81%. La actividad agrícola sigue siendo una de las más importantes a nivel parroquial, la cultura de la siembra, cosecha y el intercambio ha permitido que la práctica de esta actividad se mantenga a través del tiempo.

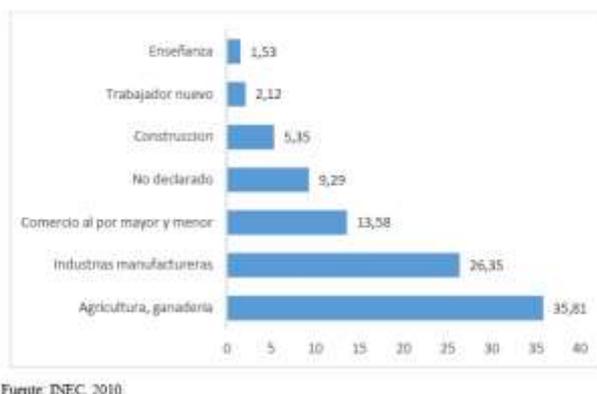


Figura 25. Actividades económicas por ramas.

En base a estos resultados se busca mejorar la productividad en los cultivos lo cual ayudará a muchas familias que viven de esta actividad económica. Un estudio realizado a los agricultores de la zona permitió descubrir que solo para el cultivo de maíz se demoran entre 6

a 8 meses para cosechar el fruto seco a comparación con los agricultores que usan sistemas de riego los cuales mencionan que se demoran entre 5 a 6 meses para cosechar el maíz en su fase de fruto seco. Por tal razón un sistema de riego ayuda a mejorar la productividad en los cultivos no solo únicamente de maíz sino en todos los productos que se siembran en esta zona, reduciendo los tiempos de cosecha y aumentando la cantidad de cultivos anuales.

### **5.3.2 Generación de empleos.**

Otro beneficio de la construcción de esta obra es la generación de plazas de trabajo considerando la opción de monitorear el funcionamiento y operación del sistema de captación y almacenamiento. Como se mencionó anteriormente la cantidad total a extraer de la fuente es de 44664 m<sup>3</sup> por lo cual se necesitaría la construcción de un reservorio muy grande para almacenarla por tal razón se buscó la manera de “reducir” esta cantidad de almacenamiento a través de un control u operación del sistema. El análisis de operación y control para el sistema se encuentra en el Anexo E1.

Este estudio esta realizado para la construcción de un reservorio con dimensiones de 20m x 15m x 5m obteniendo una capacidad de almacenamiento de volumen de agua de un total de 1500 m<sup>3</sup>. Mientras que en la sección de “control de operación” del Anexo E1 busca la forma de controlar el flujo de agua considerando una operación de 5, 10 y 20 veces al mes por un número de horas continuas para que pueda cubrir con la necesidad de agua para cada mes. De esta forma se llevo a reducir la capacidad de almacenamiento de tal manera que cubra con las necesidades de agua para los cultivos. Para el sistema se escogió que se debería operar el flujo alrededor de 20 veces al mes, de los cuales en los meses de Marzo, Abril, Octubre y Noviembre, (meses donde más cantidad de agua se necesita debido a la etapa de floración y maduración) se debe operar el flujo durante 13 horas continuas para cubrir con la demanda de agua requerida. Es por esta razón que el reservorio debería almacenar por lo menos una capacidad máxima de 1118.7 m<sup>3</sup> de agua.

### 5.3.3 Análisis Costo Beneficio.

De acuerdo a los costos directos del proyecto se concluyó que como mínimo corresponderían a \$1'651,700. En cuanto a los costos indirectos será de 10% de los costos directos debido a que la elaboración del proyecto es de carácter público realizado por el Municipio de Otavalo y el EMAPAO y la mayoría de estos costos es cubierta por esta entidad.

$$\text{Costos Directos} = \$1'651.700$$

$$\text{Costos Indirectos} = 10\% * (CD) = \$165.170$$

$$\text{COSTOS TOTALES} = \$1'817.400$$

Se supondrá que el tiempo horizonte del proyecto es de 3 años por lo que para su respectivo flujo de egresos se considerará en 6 semestres: en el primer semestre está enfocado en la fase de planificación del proyecto. Entre el segundo al quinto semestre se desarrollará la fase de ejecución del proyecto y el último semestre en la entrega y cierre del proyecto.

#### *Flujo de Egresos*

La Tabla 16 indica el flujo de egresos del proyecto en donde la cantidad invertida está considerada de acuerdo a la importancia de cada fase del proyecto.

Flujo de Egresos	
Año	Valor
1	\$605.700
2	\$708.700
3	\$503.000

Tabla 16. Flujo de Egresos del Proyecto

#### *Flujo de Ingresos*

Se debe considerar los ingresos en base al costo de la cantidad de agua consumida, el costo de inversión y el costo por control y mantenimiento del proyecto. Para el caso del costo

del m<sup>3</sup> de agua se tomará como referencia el costo mínimo por m<sup>3</sup> de agua el cual es 0.30 ctvs en el sector urbano y el 50% en los sectores rurales. (La Hora, 2019).

Por lo tanto:

$$\text{Costo por consumo} = \frac{0.15 \text{ctvs}}{\text{m}^3} * 250000 \frac{\text{m}^3}{\text{año}} * 15 \text{ años}$$

$$\text{Costo por consumo} = \$562.500$$

En cuanto al costo de inversión y costo de operación y mantenimiento se cubrirá a través del cobro de un 25% del costo total mensual de la planilla de agua de los residentes del sector rural suponiendo que pagarían como 20 dólares como máximo.

Para este análisis se consideró la Tabla en donde se indica el número de familias del sector rural el cual según el PDOT de San Rafael el total de familias es de 1875 en el 2015 y que a futuro podría incrementarse hasta unas 2200 familias además se asume que el tiempo de vida de los sistemas de captación y almacenamiento tiene un periodo de 15 años.

<b>Comunidades / Barrios</b>	<b>Familias</b>	<b>Pueblo</b>
Huaycopungo	500	Kichwa
Tocagón	400	Kichwa
Cachiviro	240	Kichwa
Cachimuel	85	Kichwa
Capilla Pamba	85	Kichwa
Cuatro Esquinas	150	Kichwa
Centro parroquial, Barrios: Central y barrio la Estación.	130	Kichwa/ mestizo
MushukÑan	55	Kichwa
San Miguel Alto	110	Kichwa
San Miguel Bajo	120	Kichwa
Total familias	1875 familias	
Total población (Promedio de 5 miembros por familia)	9375 hab.	

Fuente: Diagnóstico participativo GAD, San Rafael, 2015.

Tabla 17. Población de la comunidad San Rafael de la Laguna.

Por lo tanto:

$$\text{Costo inv. op y mantenimiento} = 25\% * \frac{\$20 * fmla}{mes} * 12 \text{ meses} * 2200 \text{ fmla} * 15 \text{ años}$$

$$\text{Costo inv. op y mantenimiento} = \$1'980.000$$

De tal manera que:

$$\text{Costo Total de ingresos} = \text{Costo por consumo} + \text{Costo inv. op y mantenimiento}$$

$$\text{Costo Total de ingresos} = \$562.500 + \$1'980.000$$

$$\text{Costo Total de ingresos} = \$2'542.500$$

A manera de conocer la viabilidad del proyecto se realizó la relación costo – beneficio en base al valor neto actual de los egresos e ingresos del proyecto referentes a la vida útil del proyecto obteniendo los siguiente resultados:

<b>Análisis Costo - Beneficio</b>	
<b>Tasa de descuento</b>	10%
<b>VNA egresos</b>	\$1.514.250,19
<b>VNA ingresos</b>	\$1.289.230,48
<b>Costo - beneficio</b>	0,851

Tabla 18. Análisis Costo Beneficio del proyecto.

Fuente: Elaboración propia, Excel 2010.

Debido a que la razón costo beneficio del proyecto es inferior a 1 se concluye que el proyecto no es viable es decir que los ingresos generados son pequeños a comparación con el costo del proyecto, por lo que se debería buscar maneras de generar más ingresos o disminuir los costos del proyecto.

## CONCLUSIONES

En conclusión para la propuesta de cualquier proyecto u obras siempre se requieren de diversos tipos de estudios que están ligados al área de la Ingeniería Civil algunos requieren estudios más detallados que otros. Para la investigación de un sistema sifón para riego se necesitó estudios topográficos para conocer la geología del lugar, estudios hidrológicos para obtener información de las precipitaciones ocurridas y las necesidades hídricas de los beneficiarios, análisis de costos para estimar un aproximado de la construcción del proyecto entre otros estudios.

De la investigación se concluyó que un sistema de captación por sifones en el sector de la Laguna de Mojanda resulta ser amigable con el ambiente cuando no se permite el uso motores, esto implica el uso de sistema adicionales como tanques de depósito conectados al sistema para su correcto funcionamiento. El sistema de sifones permite el transporte de agua hacia lugares donde no tienen fuentes de agua cercanas, además de tener ciertas desventajas como el humedecimiento del suelo también tiene ventajas significativas como el de generar plazas de trabajo, el aumentar de la producción en los cultivos el cual ayuda a la actividad agrícola de varias familias ya que se concluyó que la mayor parte de familias en estos sectores se dedican a esta actividad económica ya sea para su propio sustento o como una fuente de ingresos.

Referente a su costo de construcción cabe señalar que dependiendo en cuantos meses o años se demore su posible ejecución su costo puede ir variando a lo largo del tiempo dependiendo de como se encuentre la economía del país, aunque gracias a los datos proporcionadas por las entidades nacionales es posible una correcta estimación presupuestaria la cual puede ir incrementando o disminuyendo dependiendo de los casos.

Como proyección al futuro señalo que podría del mismo sistema construirse nuevos ramales de tal manera de llevar agua a otros puntos donde se requiera el uso de este servicio es más este

proyecto no debe pensarse únicamente hacia los beneficiarios directos como los agricultores de las zonas de cultivo sino que también puede tener más alcance incluso hasta el punto de tener su propia red de distribución de agua para otros sectores debido a que el aporte de agua por las precipitaciones abastecen continuamente a la fuente aunque para ello se debe realizar un correcto estudio de la demanda hídrica el cual se verá afectado por que resultara en un incremento suamamente inmenso.

El presente proyecto de investigación se enfocó en brindar el proceso respectivo en cuanto al análisis y diseño de un sistema de captación y almacenamiento por lo que no se abarcaron otros temas como análisis de costos, impacto ambiental y económico a detalle aunque un estudio minucioso de estas áreas ayudarían a determinar la viabilidad del proyecto aunque su realización requiere de mayor disponibilidad de tiempo para su correcta realización.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arévalo, H. (2013). Evaluación de cinco variedades de arveja bajo condiciones de invernadero en Tumbaco – Pichincha. Quito: Universidad San Francisco de Quito.
- Cámara de Agricultura (2017). Rendimiento Nacional Del Cultivo De Maíz Duro Seco. Obtenido el 20 de abril 2021 de <https://agroecuador.org/index.php/blog-noticias/item/154-rendimiento-nacional-del-cultivo-de-maiz-duro-seco-2017#:~:text=El%20rendimiento%20nacional%20del%20cultivo,fue%20de%206.28%20t%20Fha.>
- Cevallos, M (2015). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia San Rafael de la Laguna 2015 – 2019. Imbabura: GAD Parroquial San Rafael.
- Corponariño. (2011). Oferta y demanda hídrica. Obtenido el 20 de abril 2021 de <https://corponarino.gov.co/expedientes/descontaminacion/porhmirafloresp3.pdf>
- Garófalo, J. (2012). Extracción de nutrientes por cultivo de cebada. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- Gestión en Recursos Naturales. (2020). Impactos Ambientales. Obtenido el 20 de abril 2021 de <https://www.grn.cl/impacto-ambiental.html#:~:text=Definici%C3%B3n%20de%20impacto%20ambiental,hombre%20o%20de%20la%20naturaleza.>
- INEC (2021). Índices de Precios de la Construcción. Obtenido el 20 de abril 2021 de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/indice-de-precios-de-la-construccion/>

Matute, C. (2013). Evaluación agronómica de quince cultivares de fréjol arbustivo. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.

Mott, R. (2006). Mecánica de Fluidos. México: Pearson.

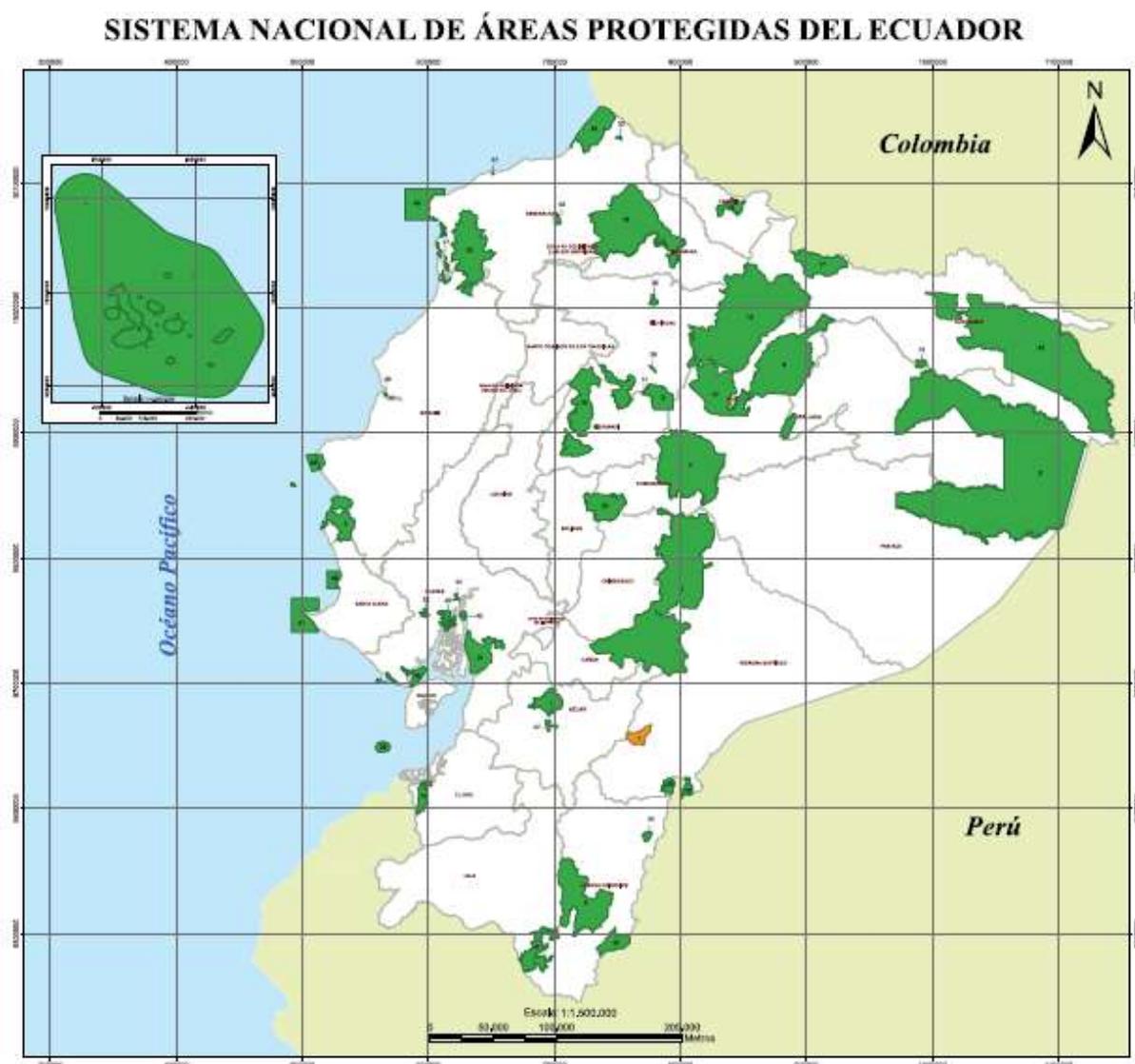
Rojas, J & Tibamoso, F. (2017). Estudio para la optimización del sistema de captación de agua del Lago de Tota a cargo de COSERVICIOS S.A. E.S.P. Duitama, Colombia: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2002). Agua y Cultivos: Logrando el uso óptimo del agua en la agricultura. Obtenido el 20 de abril 2021 de <http://www.fao.org/3/y3918s/Y3918S.pdf>

Pullas, E. (2017). Relación del sector agrícola del trigo en la producción de harina en la provincia de Pichincha – Ecuador. Quito: Universidad Central del Ecuador.

## ANEXO A: CAPITULO 1

### A1. Zonas Protegidas del Ecuador



## ANEXO B: CAPITULO 2

### B1. Área de la Cuenca 1 (Procedimiento).

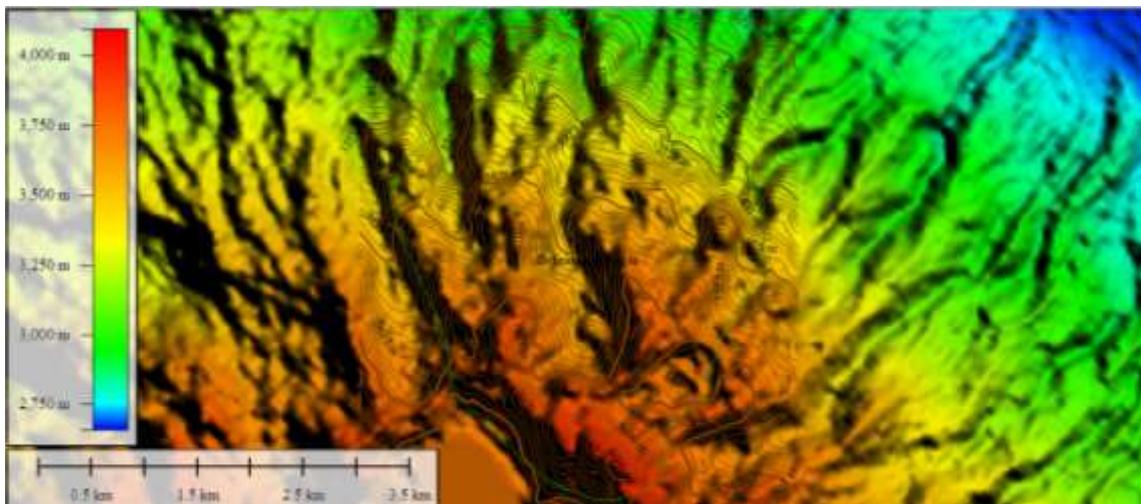
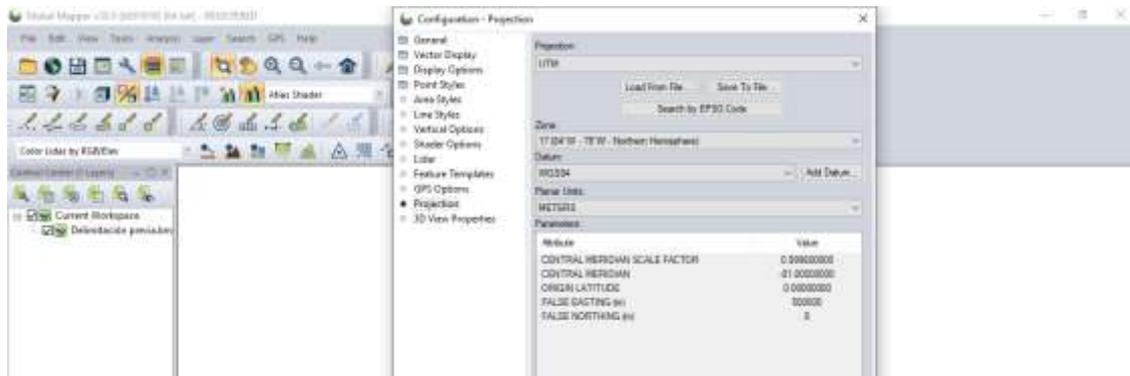
#### Delimitación de la cuenca

Se delimita la cuenca donde se drena el agua directamente en el punto de interés. Mediante las opciones de Google Earth podemos dibujar las posibles trayectorias principales y secundarias que ayudan a visualizar los límites de la cuenca seleccionada y un área provisional la cual será

de gran utilidad para conocer las curvas de nivel donde se sitúa la cuenca 1 a través del programa Global Mapper.



Configuramos el programa Global Mapper de tal manera que trabaje en las mismas coordenadas de Google Earth para este caso serán en coordenadas UTM en la zona 17.

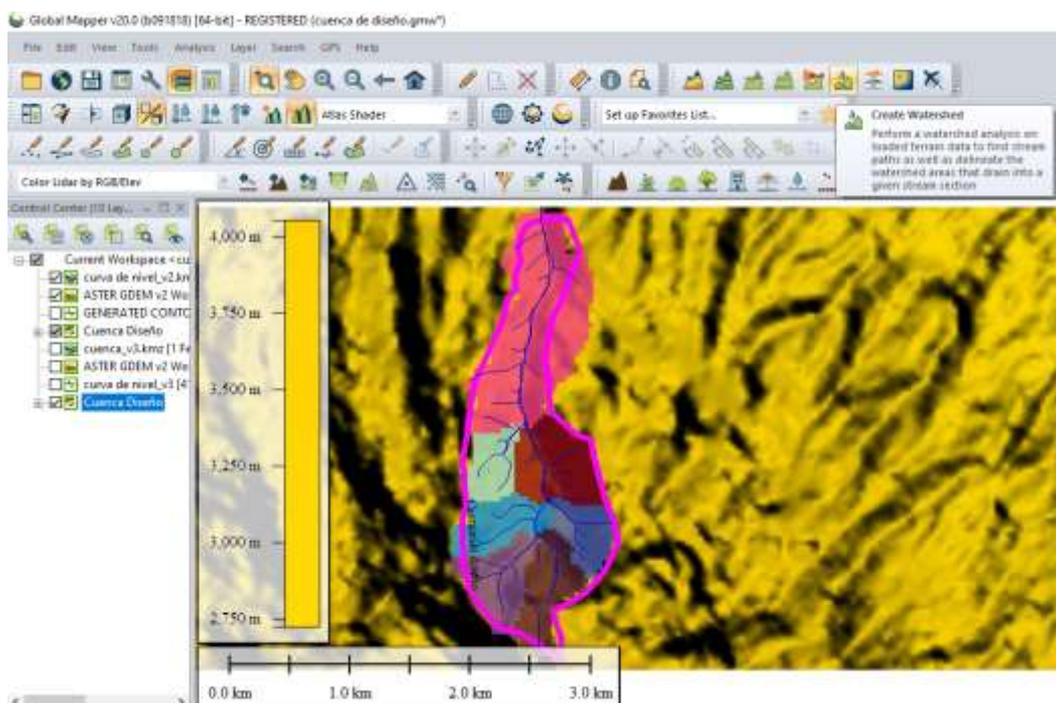


Se procedió a exportar las curvas de nivel al archivo actual de Google Earth de tal forma que se superpongan y así poder realizar una correcta delimitación de la cuenca 1.



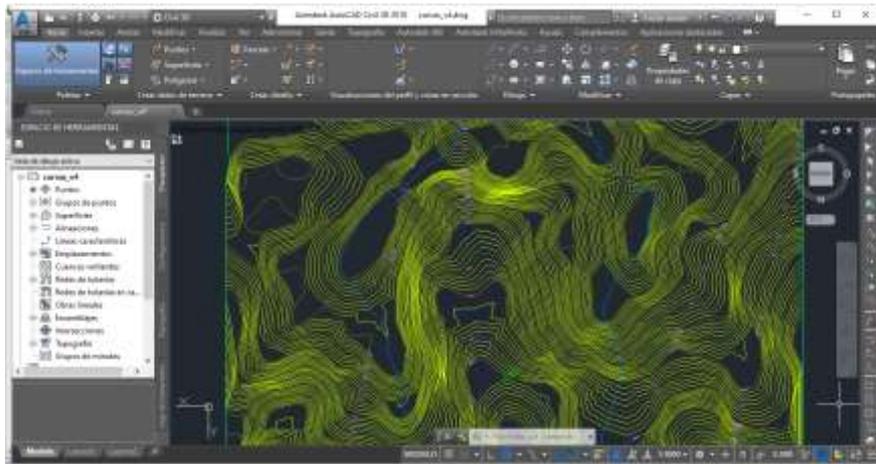
### Área de la Cuenca 1.

Verificamos que la delimitación de la cuenca es correcta exportando nuevamente el archivo con la delimitación hecha a Global Mapper y empleamos el comando que permite crear posibles rutas que puede tomar la precipitación en la cuenca.

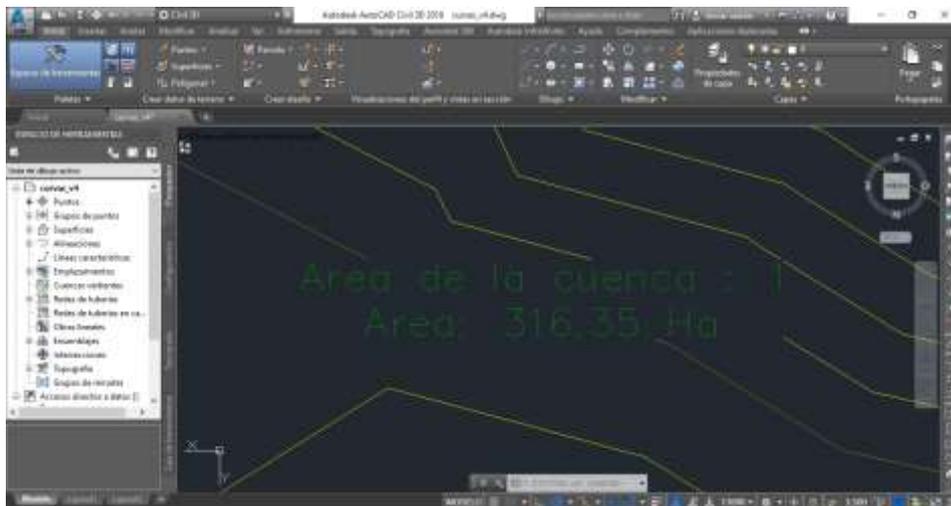


*Nota: La cuenca se ve invertida debido a que en Google Earth cambia el sentido de la coordenada norte.*

Lo guardamos de tal manera que pueda abrirse en AutoCAD Civil3D programa el cual nos ayuda a visualizar la superficie de terreno y de la misma manera delimitar cuencas hidrográficas a partir de la trayectoria del agua y el punto de interés.



Finalmente para conocer el Área de la Cuenca 1 se aplicó el comando de Civil 3D para realizar “*parcelas a través de objetos*”. Obteniendo un área de 316.35 Ha.



## **B2. Área de la Cuenca Laguna (Procedimiento).**

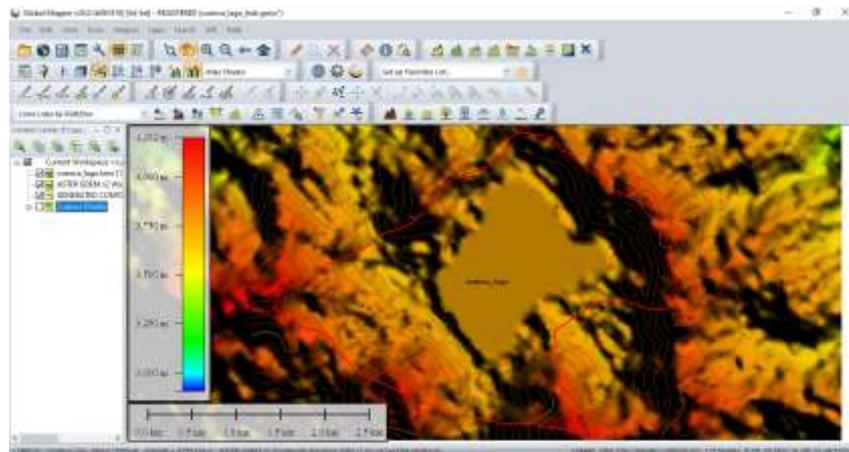
### Delimitación de la Cuenca Laguna.

Recapitulando, se debe realizar el mismo proceso para delimitar el Área respectiva de la hoya hidrográfica donde se encuentra la Laguna de Mojanda.

1) Delimitación previa en Google Earth para obtener curvas de nivel.

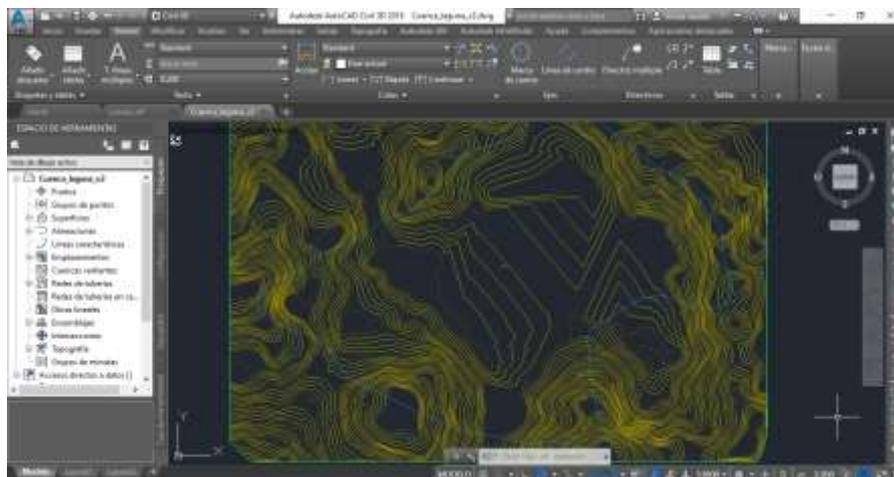


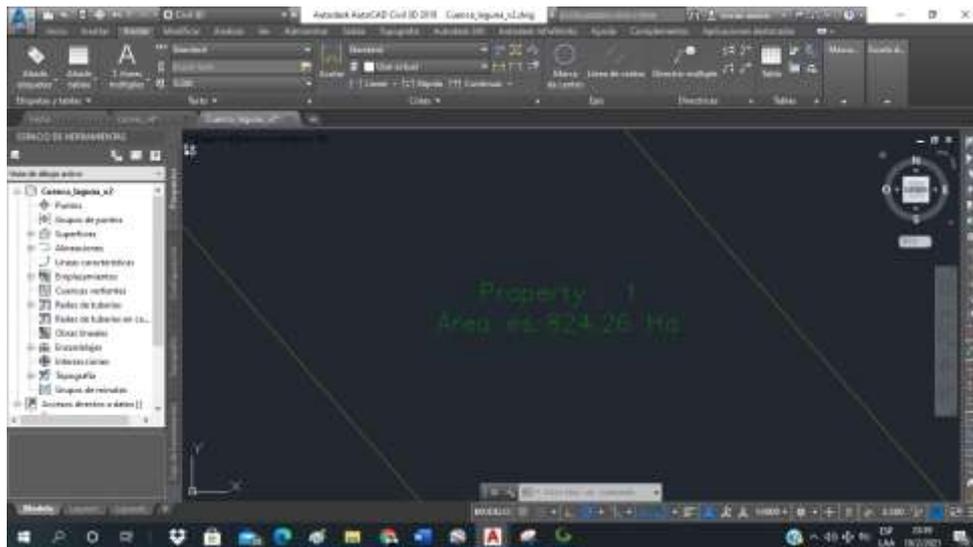
2) Obtención de curvas de nivel en Global Mapper y delimitación verdadera de la cuenca.



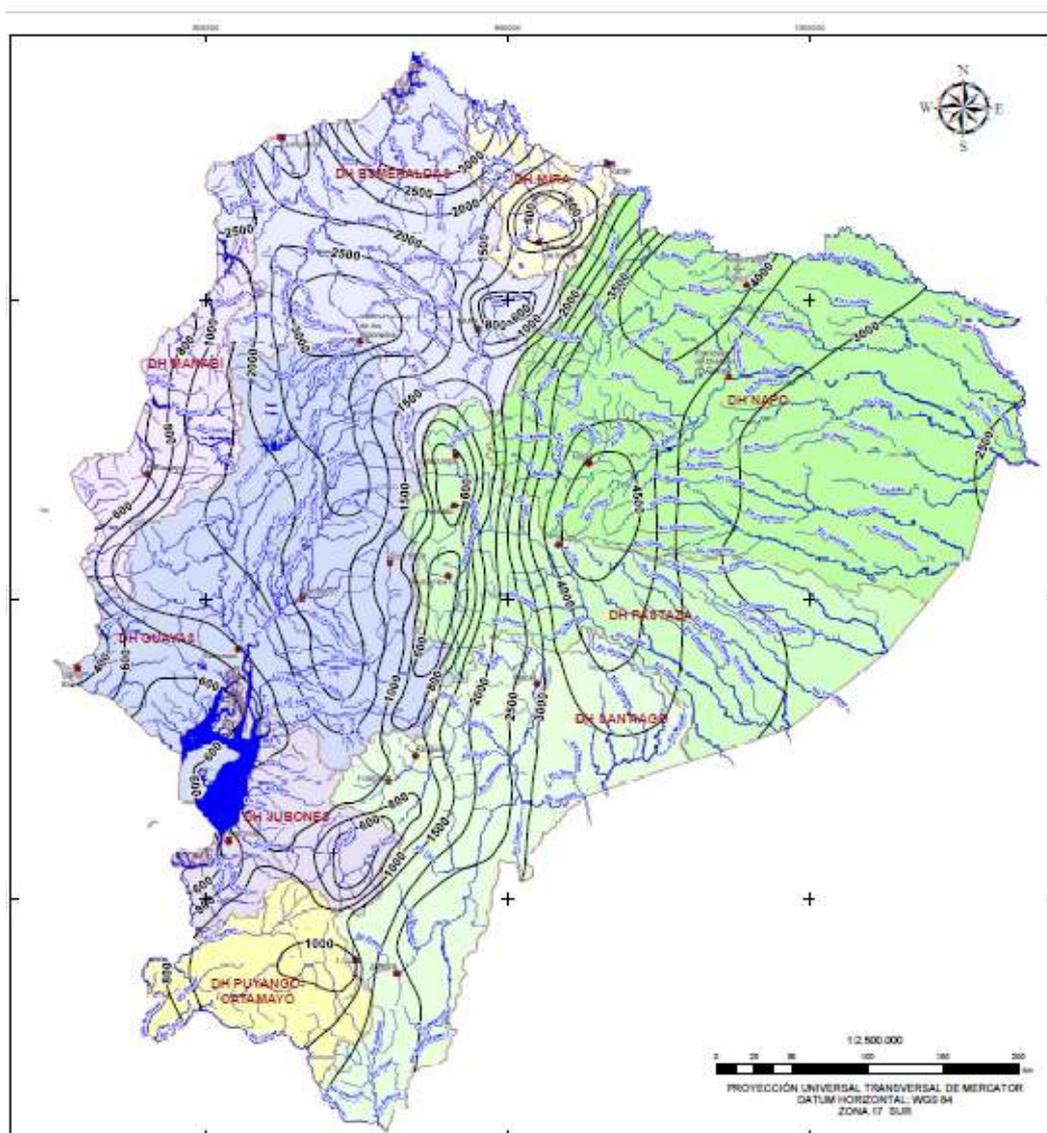
3) Exportación a Civil 3D y obtención de área por medio de parcelas.

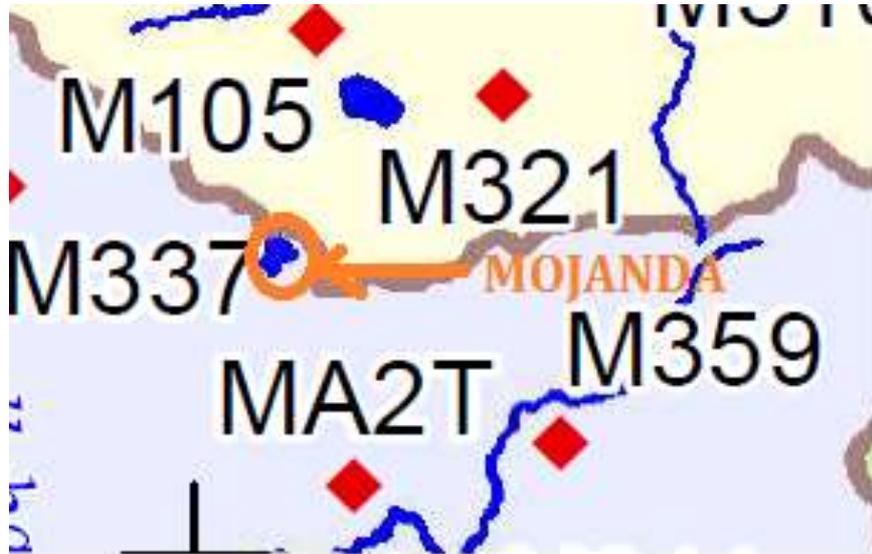
Al final obtenemos un área de: 824.26 hectáreas.





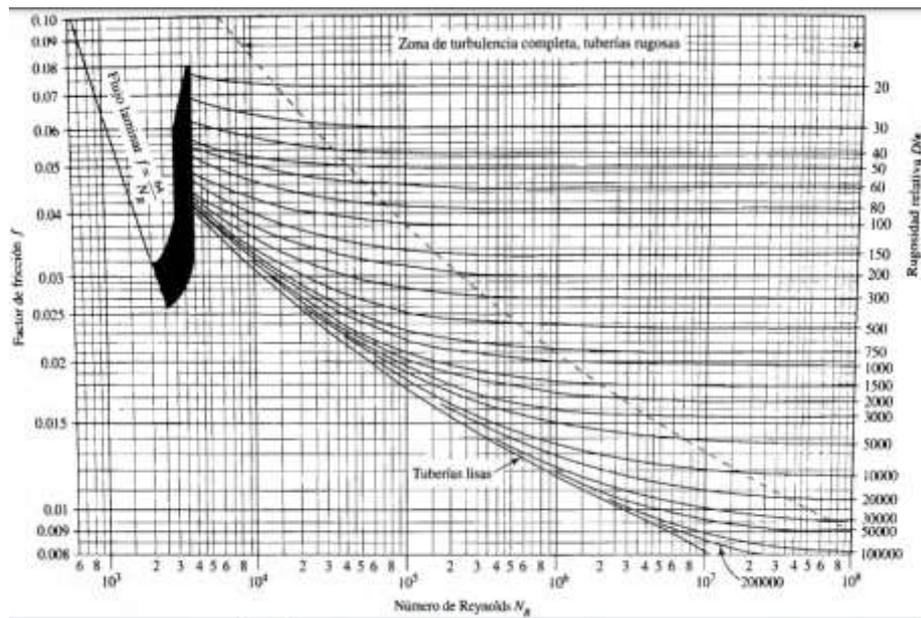
### B3. Isoyetas de Precipitación Media Multianual.



**B4. Estaciones cercanas a la Laguna de Mojanda.**

ANEXO C: CAPITULO 3

## C1. Diagrama de Moody.



## C2. Tuberías Cedula 40.

Tamaño nom. de tubería (pulg.)	Diámetro exterior		Espesor de pared		Diámetro interior			Flujo de área	
	(pulg.)	(mm)	(pulg.)	(mm)	(pulg.)	(pies)	(mm)	(pies <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )
1/8	0.405	10.3	0.068	1.73	0.269	0.0224	6.8	0.000 394	$3.660 \times 10^{-5}$
1/4	0.540	13.7	0.088	2.24	0.364	0.0303	9.2	0.000 723	$6.717 \times 10^{-5}$
3/8	0.675	17.1	0.091	2.31	0.493	0.0411	12.5	0.001 33	$1.236 \times 10^{-4}$
1/2	0.840	21.3	0.109	2.77	0.622	0.0518	15.8	0.002 11	$1.960 \times 10^{-4}$
3/4	1.050	26.7	0.113	2.87	0.824	0.0687	20.9	0.003 70	$3.437 \times 10^{-4}$
1	1.315	33.4	0.133	3.38	1.049	0.0874	26.6	0.006 00	$5.574 \times 10^{-4}$
1 1/4	1.660	42.2	0.140	3.56	1.380	0.1150	35.1	0.010 39	$9.653 \times 10^{-4}$
1 1/2	1.900	48.3	0.145	3.68	1.610	0.1342	40.9	0.014 14	$1.314 \times 10^{-3}$
2	2.375	60.3	0.154	3.91	2.067	0.1723	52.5	0.023 33	$2.168 \times 10^{-3}$
2 1/2	2.875	73.0	0.203	5.16	2.469	0.2058	62.7	0.033 26	$3.090 \times 10^{-3}$
3	3.500	88.9	0.216	5.49	3.068	0.2557	77.9	0.051 32	$4.768 \times 10^{-3}$
3 1/2	4.000	101.6	0.226	5.74	3.548	0.2957	90.1	0.068 68	$6.381 \times 10^{-3}$
4	4.500	114.3	0.237	6.02	4.026	0.3355	102.3	0.088 40	$8.213 \times 10^{-3}$
5	5.563	141.3	0.258	6.55	5.047	0.4206	128.2	0.139 0	$1.291 \times 10^{-2}$
6	6.625	168.3	0.280	7.11	6.065	0.5054	154.1	0.200 6	$1.864 \times 10^{-2}$
8	8.625	219.1	0.322	8.18	7.981	0.6651	202.7	0.347 2	$3.226 \times 10^{-2}$
10	10.750	273.1	0.365	9.27	10.020	0.8350	254.5	0.547 9	$5.090 \times 10^{-2}$
12	12.750	323.9	0.406	10.31	11.938	0.9948	303.2	0.777 1	$7.219 \times 10^{-2}$
14	14.000	355.6	0.437	11.10	13.126	1.094	333.4	0.939 6	$8.729 \times 10^{-2}$
16	16.000	406.4	0.500	12.70	15.000	1.250	381.0	1.227	0.1140
18	18.000	457.2	0.562	14.27	16.876	1.406	428.7	1.553	0.1443
20	20.000	508.0	0.593	15.06	18.814	1.568	477.9	1.931	0.1794
24	24.000	609.6	0.687	17.45	22.626	1.886	574.7	2.792	0.2594

## ANEXO D: CAPITULO 4

## D1. Presupuesto Sifón Invertido.

S10

Página

8

### Presupuesto

Presupuesto	1101129	MEJORAMIENTO Y AMPLIACION DEL SERVICIO DE AGUA PARA RIEGO DEL CANAL MATRIZ DE CARHUASCANCHA DEL DISTRITO DE CHAVIN DE HUANTAR-HUARI-ANCASH		
Subpresupuesto	001	MEJORAMIENTO Y AMPLIACION DEL SERVICIO DE AGUA PARA RIEGO DEL CANAL MATRIZ DE CARHUASCANCHA DEL DISTRITO DE CHAVIN DE HUANTAR-HUARI-ANCASH		
Cliente	MUNICIPALIDAD DE CHAVIN DE HUANTAR			Costo al
Lugar	ANCASH - HUARI - CHAVIN DE HUANTAR			31/07/2017

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/	Parcial S/
16.03.03	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO CARAVISTA DE OBRAS HIDRAULICAS	m²	2.76	52.71	145.48
16.03.04	CONCRETO FC=210 KG/CM2 PARA ANCLAJES	m³	1.13	638.68	721.71
16.03.05	ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm2 GRADO 60	kg	92.11	4.31	396.99
16.04	<b>MONTAJE DE CRUCE AEREO</b>				<b>40,483.51</b>
16.04.01	ESTRUCTURA METALICA PARA CRUCE AEREO TIPO VIGA	und	1.00	32,839.09	32,839.09
16.04.02	JUNTA DE EXPANSIÓN	glo	1.00	7,644.42	7,644.42
17	<b>SIFON INVERTIDO PR. 10+270 A 11+516</b>				<b>508,030.50</b>
17.01	<b>OBRAS PRELIMINARES</b>				<b>2,335.08</b>
17.01.01	DESBROCE DE MALEZAS	m²	957.00	2.44	2,335.08
17.02	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>				<b>10,108.05</b>
17.02.01	EXCAVACION A MANO EN MATERIAL SUELTO	m³	29.06	30.51	886.62
17.02.02	REFINE Y NIVELACION	m²	1,357.68	4.79	6,503.29
17.02.03	RELLENO COMPACTADO C/MATERIAL TRANSPORTADO	m³	19.08	142.46	2,718.14
17.03	<b>TUBERIA HDPE POLIETILENO</b>				<b>401,083.22</b>
17.03.01	SUMINISTRO E INSTALAC. TUBERIA HDPE PE100 PN 5 Ø450 mm	ml	598.90	287.44	172,147.82
17.03.02	SUMINISTRO E INSTALAC. TUBERIA HDPE PE100 PN 6 Ø450 mm	ml	114.95	300.39	34,529.83
17.03.03	SUMINISTRO E INSTALAC. TUBERIA HDPE PN 8 Ø450 mm	ml	617.69	314.73	194,405.57
17.04	<b>ACCESORIOS EN TUBERIA HDPE</b>				<b>57,903.82</b>
17.04.01	SUMINISTRO E INSTALACION DE VALVULA DE PURGA	und	2.00	2,577.66	5,155.32
17.04.02	SUMINISTRO E INSTALACION VALVULA DE AIRE	und	2.00	7,077.66	14,155.32
17.04.03	SUMINISTRO E INSTALACION DE CODOS HDPE	und	13.00	1,215.52	15,801.76
17.04.04	SUMINISTRO E INSTALACION DE CODOS METALICOS	und	3.00	7,057.78	21,173.34
17.04.05	SUMINISTRO E INSTALACION DE REJILLA METALICA	und	3.00	539.36	1,618.08
17.05	<b>OBRAS DE CONCRETO SIMPLE</b>				<b>988.73</b>
17.05.01	CONCRETO Fc= 100 Kg/cm2 EN SOLADO e = 0.05 m.	m²	35.63	27.75	988.73
17.06	<b>OBRAS DE CONCRETO ARMADO</b>				<b>28,015.05</b>
17.06.01	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO CARAVISTA DE OBRAS HIDRAULICAS	m²	131.62	52.71	6,937.69
17.06.02	DADO DE CONCRETO FC=210 KG/CM2 PARA ANCLAJES	m³	23.81	638.68	15,206.97
17.06.03	ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm2 GRADO 60	kg	1,362.04	4.31	5,870.39
17.07	<b>PRUEBA HIDRAULICA</b>				<b>5,596.64</b>
17.07.01	PRUEBA HIDRAULICA	m	1,249.25	4.48	5,596.64

## ANEXO E: CAPITULO 5

### E1. Análisis de Operación y Control del sistema sifón y reservorio.

#### Diseño preliminar del reservorio

Caudal de diseño	23.9	L/s
Área de Cultivo	50	ha

#### Volumen de Almacenamiento

Ingresar datos:

Dimensiones:	
Largo	20
Ancho	15
Profundidad	5

<i>Resultados</i>	
Cap. Total	1500
Cap. Máx	1118.7
Verificación	CUMPLE

#### Control de operación continua de flujo por partes

Año	DÉFICIT HÍDRICO MENSUAL (m3)	Caudal de diseño (m3/hr)	Tiempo de operación (hr)	[1 vez] Cant. Llena (m3)	Tiempo de operación (hr)	[5 veces] Cant. Llena (m3)	Tiempo de operación (hr)	[10 veces] Cant. Llena (m3)	Tiempo de operación (hr)	[20 veces] Cant. Llena (m3)
Enero	18471.8	86.05	215	18500.7	43.0	3700.2	25	2151.3	11	946.6
Febrero	19543.0	86.05	228	19619.3	46.0	3958.3	23	1979.2	12	1032.6
Marzo	21051.2	86.05	245	21082.2	49.0	4216.5	25	2151.3	13	1118.7
Abril	21936.7	86.05	255	21942.7	51.0	4388.6	26	2237.3	13	1118.7
Mayo	10169.6	86.05	119	10239.9	24.0	2065.2	12	1032.6	6	516.3
Junio	20770.7	86.05	242	20824.0	49.0	4216.5	25	2151.3	13	1118.7
Julio	6936.6	86.05	81	6970.1	17.0	1462.9	9	774.5	5	430.3
Agosto	6402.4	86.05	75	6453.8	15.0	1290.8	8	688.4	4	344.2
Septiembre	15456.0	86.05	180	15488.9	36.0	3097.8	18	1548.9	9	774.5
Octubre	21101.4	86.05	246	21168.2	50.0	4302.5	25	2151.3	13	1118.7
Noviembre	4852.2	86.05	57	4904.9	12.0	1032.6	6	516.3	3	258.2
Diciembre	8871.7	86.05	104	8949.2	21.0	1807.1	11	946.6	6	516.3