

**Propuesta de diseño de reservorio de agua para la ciudad de
Guatemala en el acueducto Xayá-Pixcayá**

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



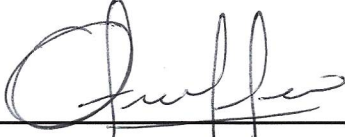
Propuesta de diseño de reservorio de agua para la ciudad de
Guatemala en el acueducto Xayá-Pixcayá

Trabajo de graduación presentado por Sergio Guillermo Fernando
Hernández González para optar al grado académico de Licenciado en
Ingeniería Civil

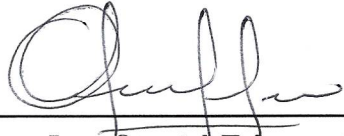
Guatemala,

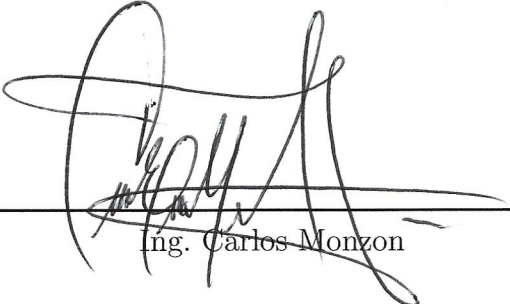
2020

Vo.Bo.:

(f) 
Ing. Otoniel Echeverría

Tribunal Examinador:

(f) 
Ing. Otoniel Echeverría

(f) 
Ing. Carlos Monzon

(f) 
Ing. Rodrigoandrés Morales

Fecha de aprobación: Guatemala, 10 de diciembre de 2020.

La elaboración de este trabajo escrito ha sido posible, gracias a la preocupación de la sobre explotación de los recursos hídricos y escasez a futuro en la ciudad de Guatemala. La idea de este trabajo comenzó como una prevención de los recursos hídricos de la ciudad de Guatemala, considerando el almacenaje como una de las soluciones. Este trabajo tuvo como referencia principal el megaproyecto de graduación realizado por Elio Emanuel Berganza Sandoval sobre el “Estudio de la subcuenca del acueducto Xayá-Pixcayá con enfoque en el aprovechamiento del recurso hídrico”.

Quiero agradecer principalmente a Dios, que me ha dado fortaleza, sabiduría y fuerza de voluntad en el trayecto de mi preparación profesional. A mis padres, Verónica González Cuellar y Sergio David Hernández González, por su amor incondicional y guiarme para ser una persona de bien. A mi hermano, Pablo David Hernández González por sus consejos de bien y ser un ejemplo para seguir como profesional. A mi grupo de amigos, que me han alentado a seguir adelante para cumplir mis metas. Al ingeniero Otoniel Echeverria, por darle seguimiento a este trabajo y solucionar dudas que surgieron a lo largo de este; Al ingeniero Rodrigo Morales y al arquitecto Al Moshe Asturias por estar disponibles a resolver cualquier duda y su apoyo profesional a lo largo de este trabajo. Al ingeniero Roberto Godo por mostrarme la pasión de esta carrera de ingeniería civil y su apoyo durante los 5 años de universidad. Finalmente, a la Universidad del Valle de Guatemala que forjó mi criterio y me brindó herramientas a lo largo de la carrera universitaria.

Lista de siglas y acrónimos

Acrónimo	Español	Inglés
CATIE	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza	
CONRED	Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres	
DEM	Modelo de Elevación Digital	Digital Elevation Model
EMPAGUA	Empresa Municipal de Agua	
GNSS	Sistema Satelital de Navegación Global	Global Navigation Satellite System
GPS	Sistema de Posicionamiento Global	Global Positioning System
INSIVUMEH	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala.	
MAGA	Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación	
PTAR	Planta de tratamiento de aguas residuales	Wastewater treatment plant
QGIS	Quantum GIS	Quantum GIS
SEGEPLAN	Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia de la República de Guatemala	
SHP	Archivo de tipo forma	Shapefile
SIG	Sistema de Información Geográfica	Geographic Information System

Prefacio	v
Lista de siglas y acrónimos	vii
Lista de figuras	xiv
Lista de cuadros	xv
Resumen	xviii
Abstract	xx
1. Introducción	1
2. Antecedentes	3
3. Justificación	5
4. Objetivos	7
4.1. Objetivo general	7
4.2. Objetivos específicos	7
5. Objeto de estudio	9
6. Alcance	11
6.1. Teórico	11
6.2. Metodología y aplicaciones	11
6.3. Propuesta de solución	11
7. Marco teórico	13
7.1. Ciclo hidrológico	13
7.1.1. Precipitación	14
7.1.2. Evapotranspiración	15
7.1.3. Escorrentía	15

7.1.4.	Infiltración	16
7.2.	Abastecimiento de agua en la Ciudad de Guatemala	16
7.3.	Acueducto Nacional Xayá-Pixcayá	17
7.3.1.	Historia	17
7.3.2.	Características generales	18
7.3.3.	Problemática	20
7.4.	Planta de tratamiento de aguas residuales Lo de Coy	20
7.4.1.	Estructura operativa	21
7.5.	Definición de embalse	22
7.5.1.	Generación de un embalse	22
7.5.2.	Clasificación de los embalses según su ubicación	26
7.6.	Definición de reservorios	29
7.6.1.	Reservorios según la fuente de abastecimiento de agua	30
7.6.2.	Reservorios según el sistema de vaciado	31
7.6.3.	Reservorios según los materiales de construcción	34
7.6.4.	Reservorios según el método de construcción	35
7.6.5.	Tipos de reservorios	37
7.6.6.	Esquema de clasificación de tipos de reservorios	42
7.6.7.	Ventajas y desventajas en tipos de reservorios	43
7.6.8.	Clasificación tipo de reservorio según pendientes	44
7.6.9.	Elementos a considerar para la construcción de un reservorio	46
7.6.10.	Capacidad de almacenamiento	60
7.6.11.	Elementos complementarios de un reservorio	62
7.7.	Sistema de información geográfica (QGIS)	68
7.7.1.	Importancia	68
7.7.2.	Como funciona	68
7.8.	InfraWorks	71
7.8.1.	Función	71
7.9.	AutoCad Civil3D	71
7.9.1.	Función	71
7.10.	Matriz FODA	73
7.11.	Mantenimiento de infraestructura hidráulica	74
7.11.1.	Mantenimiento del sector sub sector hidráulico	74
7.11.2.	Tipo de mantenimiento	75
7.11.3.	Procedimiento para la planificación del mantenimiento	76
8.	Marco legal	77
8.1.	Ley de aguas	77
8.2.	Acuerdo gubernativo ley de aguas 236-2006	77
8.2.1.	Artículo 1: Objeto	77
8.2.2.	Artículo 2: Aplicación	78
8.2.3.	Artículo 3: Competencia	78
8.2.4.	Artículo 37: Recirculación interna de agua	78
8.3.	Acuerdo Gubernativo número 265-2004	78
8.3.1.	Artículo 1:	78
8.3.2.	Artículo 3.	79
8.4.	Política nacional para la reducción de riesgo a los desastres en Guatemala	79

9. Marco referencial	81
9.1. Localización del área de estudio	81
9.2. Lugares poblados cercanos al acueducto nacional Xayá-Pixcayá	84
9.3. Área propuesta	85
10. Metodología	87
10.1. Análisis de ubicación de propuesta	87
10.2. Análisis de pendientes longitudinales y transversales	90
10.3. Análisis FODA	91
10.4. Descripción del proyecto	93
10.5. Diseño del reservorio	94
11. Análisis de resultados	95
12. Conclusiones	97
13. Recomendaciones	99
14. Bibliografía	101
15. Anexos	107
16. Glosario	127

Figura	Página
1. “Esquema del ciclo hidrológico”	14
2. “Área de influencia de los sistemas de EMPAGUA”	17
3. “Plano Acueducto Nacional Xayá-Pixcayá”	19
4. “Embalse por derrumbe de laderas”	23
5. “Embalse por acumulación de hielo”	24
6. “Presa construida por castores”	25
7. “Presa construida por el hombre”	26
8. “Reservorio indirecto como regulación de flujo”	27
9. “Reservorio indirecto con canal de derivación”	27
10. “Embalse on-stream con presa de retención”	28
11. “Embalses en serie”	29
12. “Reservorio con fuente de agua de manantial”	30
13. “Reservorio de filtración”	30
14. “Reservorio de agua de escorrentía superficial”	31
15. “Embalses no drenables”	32
16. “Embalses no drenables”	32
17. “Reservorio drenable”	33
18. “Vaciado mediante bombeo drenable”	33
19. “Reservorio de tierra”	34
20. “Reservorio de muro”	34
21. “Reservorio drenable”	35
22. “Reservorio sumergido o excavados”	35
23. “Reservorio de terraplén”	36
24. “Reservorio de desmonte y relleno”	36
25. “Reservorio dique - represa con canal de derivación”	37
26. “Reservorio dique - represa con aliviadero”	38
27. “Reservorio dique - represa con gaviones”	38
28. “Reservorio excavado”	39
29. “Reservorio estanque”	40
30. “Reservorio estanque con revestimiento plástico”	40

31.	“Reservorio derivación - Terreno inclinado”	41
32.	“Reservorio derivación - Terreno llano”	42
33.	“Elementos necesarios a considerar para construir un reservorio”	46
34.	“Depresión natural que podría servir como un reservorio”	47
35.	“Clasificación de los tipos de suelo”	50
36.	“Inclinación de los taludes según tipo de suelo”	50
37.	“Ejemplo área de influencia para captación de agua por escorrentía”	53
38.	“Zona de estudio de las distintas estaciones meteorológicas”	57
39.	“Curvas IDF generadas para períodos de retorno en años por el INSIVUMEH”	58
40.	“Tipo de reja”	63
41.	“Tipo de reja”	63
42.	“Representación de mapas”	69
43.	“Representación de datos”	69
44.	“Representación de análisis”	70
45.	“Representación de aplicaciones”	70
46.	“Matriz FODA”	73
47.	“Mantenimiento”	74
48.	“Tipos de mantenimiento”	75
49.	“Continuación tipos de mantenimiento”	75
50.	“Pasos a seguir el plan de mantenimiento”	76
51.	“Pasos a seguir el plan de mantenimiento”	76
52.	“Google Earth Pro. puntos georreferenciados: del Acueducto Nacional Xayá- Pixcayá”	82
53.	“Mapa Recorrido Acueducto Nacional Xayá-Pixcayá”	83
54.	“Mapa lugares poblados cercanos al acueducto Nacional Xayá-Pixcayá”	84
55.	“Mapa área propuesta 1”	85
56.	“Mapa área propuesta 2”	86
57.	“DEM del recorrido del Acueducto Nacional Xayá-Pixcayá InfraWorks”	88
58.	“DEM del recorrido del Acueducto Nacional Xayá-Pixcayá en Civil3D”	89
59.	“Análisis FODA - Reservorio de derivación”	91
60.	“Análisis FODA - Reservorio de excavación”	92
61.	“Análisis FODA - Reservorio de estanque”	93
62.	Anexo 1 - “Sección longitudinal del acueducto nacional Xayá-Pixcayá”	107
63.	Anexo 2 - “Sección transversal 24+900”	108
64.	Anexo 3 - “Sección transversal 25+000”	108
65.	Anexo 4 - “Sección transversal 25+100”	109
66.	Anexo 5 - “Sección transversal 25+200”	109
67.	Anexo 6 - “Sección transversal 25+300”	110
68.	Anexo 7 - “Sección transversal 25+400”	110
69.	Anexo 8 - “Sección transversal 25+500”	111
70.	Anexo 9 - “Sección transversal 25+600”	111
71.	Anexo 9 - “Sección transversal 25+700”	112
72.	Anexo 9 - “Sección transversal 25+800”	112
73.	Anexo 9 - “Megaproyecto Recarga Hídrica”	113

Cuadro	Página
1. “Clasificación tipos de reservorios según varios parámetros”	42
2. “Ventajas y deventajas en los tres tipos de reservorios”	43
3. “Pendientes transversales”	44
4. “Pendientes longitudinales”	45
5. “Rango de tamaño según tipo de suelo”	49
6. “Eficiencia de escurrimiento estimado en superficies”	52
7. “Período de retorno para presas o reservorios”	55
8. “Coeficiente de ajuste de intensidad de lluvia para la estación INSIVUMEH” .	56
9. “Coeficiente de escorrentía para una cobertura vegetal ligera”	58
10. “Coeficiente de escorrentía según capacidad de infiltración del suelo”	59
11. “Valores de infiltración diario”	62
12. “Consideraciones de diseño para canal de reja de limpieza manual”	63
13. “Ecuaciones utilizadas en el diseño”	64
14. “Principios de sedimentación”	64
15. “Consideraciones de diseño para desarenador”	65
16. “Ecuaciones utilizadas en el diseño”	65
17. “Definición ancho de garganta (W)”	66
18. “Sección transversal desarenador y Parshal”	66
19. “Análisis de pendientes para tramo 24+900 al 25+800 del acueducto”	90

Como es sabido, que todos los sistemas naturales para ser sostenibles dependen del agua. Las poblaciones necesitan agua para el consumo diario para cubrir distintos usos como; higiénico, doméstico, recreacional, comercial y producción de energía. El agua se considera como un recurso estratégico para el desarrollo poblacional.

Según la Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia [SEGEPLAN] (2006). El agua es un derecho básico que debe de cumplirse a todos los ciudadanos, se debe garantizar y gestionar su uso, porque sin ella la vida y el desarrollo no existe. La escasez de agua es un problema existente a nivel mundial, esto no cambiará si no se logra un buen manejo y gestión integral de los recursos hídricos.

Guatemala es un país solvente de riesgo hídrico puesto que tiene una oferta total estimada de 97 mil 120 millones de metros cúbicos de agua dulce, en donde solo se utiliza el 10 % (Patzán, 2019). Guatemala con gran potencial hídrico, no cuenta con una ley de gestión integrada de los recursos hídricos. Lastimosamente muchos sectores han brindado propuestas por motivos de beneficio propio. Por ende, el aprovechamiento y gestión integrada del agua es de suma importancia a considerar, aportando información sobre su captación, almacenamiento y distribución; ayudaría de forma directa al desarrollo poblacional de Guatemala.

Desde la antigüedad la naturaleza y el hombre han construido embalses para la retención y almacenaje del agua, pero no hasta muy recientemente que el auge de construcciones de embalses y reservorios han aumentado considerablemente. La creciente demanda de agua y energía han impulsado a la creación de nuevas obras hidráulicas. El proyecto tiene como propósito asistir y complementar información sobre el diseño de almacenaje y captación hídrica en el país.

Para la propuesta realizada de los reservorios de revestimiento de concreto y natural para la ciudad de Guatemala, se tomaron como fuentes de abastecimiento el acueducto nacional Xayá-Pixcayá y la precipitación del sitio. Se definió como objetivo principal el almacenaje hídrico y así como solventar la demanda a futuro de la ciudad de Guatemala, en caso de un mantenimiento hidráulico del acueducto. Este diseño contó con cuatro fases principales: en la primera fase se realizó una recopilación de información sobre el acueducto que trasvasa el agua captada, de los ríos Xayá y Pixcayá hacia la planta Lo de Coy, incluyendo su distribución y caudal de diseño.

En la segunda fase, se utilizó un software de sistema información geográfica (Qgis), para ubicar la propuesta de diseño según las poblaciones cercanas al acueducto Xayá-Pixcayá. Además, con la ayuda de InfraWorks y Civil3D se categorizaron los tipos de reservorios posibles según las pendientes del trayecto del acueducto. En la tercera fase se determinó el tipo de reservorio más factible para el área propuesta mediante un análisis FODA, luego se realizaron los diseños de reservorios, tomando en cuenta ciertos criterios constructivos (revestimiento de concreto y natural). Por último, en la cuarta fase, se realizó un análisis comparativo de ambos diseños y los planos constructivos preliminares.

It is well known that all natural systems depend on water for their sustainability. Populations need water for daily consumption to cover different uses such as; hygienic, domestic, recreational, commercial and energy production. Water is considered a strategic resource for population development.

According to the Secretariat of Planning and Programming of the Presidency [SEGEPLAN] (2006). Water is a basic right that must be fulfilled for all citizens, its use must be guaranteed and managed, because without it, life and development do not exist. Water scarcity is a worldwide problem, and this will not change unless water resources are well managed and comprehensively managed.

Guatemala is a solvent country of water risk since it has an estimated total supply of 97,120 million cubic meters of fresh water, where only 10% is used (Patzán, 2019). Guatemala, with great water potential, does not have an integrated water resources management law. Unfortunately, many sectors have made proposals for their own benefit. Therefore, the use and integrated management of water is of utmost importance to consider, providing information on its capture, storage and distribution; it would directly help the population development of Guatemala.

Since ancient times, nature and man have built reservoirs for the retention and storage of water, but it was not until very recently that the construction of reservoirs and reservoirs has increased considerably. The growing demand for water and energy has prompted the creation of new hydraulic works. The purpose of the project is to assist and complement information on the design of water storage and catchment in the country.

For the proposal of the concrete and natural lined reservoirs for Guatemala City, the sources of supply were the national aqueduct Xayá-Pixcayá and the precipitation of the site. The main objective was defined as water storage and to meet the future demand of Guatemala City, in case of hydraulic maintenance of the aqueduct. This design had four main phases: in the first phase, information was gathered on the aqueduct that transfers the water collected from the Xayá and Pixcayá rivers to the Lo de Coy plant, including its distribution and design flow.

In the second phase, a geographic information system software (Qgis) was used to locate the design proposal according to the populations near the Xayá-Pixcayá aqueduct. In addition, with the help of InfraWorks and Civil3D, the types of possible reservoirs were categorized according to the slopes of the aqueduct route. In the third phase, the most feasible type of reservoir for the proposed area was determined through a SWOT analysis, then the reservoir designs were made, taking into account certain construction criteria (concrete and natural lining). Finally, in the fourth phase, a comparative analysis of both designs and preliminary construction plans was carried out.

El agua es un recurso natural indispensable para la humanidad, ya que se encuentra presente en la mayoría de todos los procesos que se realizan. Desde los procesos biológicos como el consumo propio hasta los procesos industriales, como la producción de materia prima. Este recurso es de mucha importancia desde el punto de vista de una población nacional, así mismo, a nivel departamental y municipal. El incremento poblacional dentro de las áreas urbanas ha provocado que el abastecimiento del recursos hídricos se haya incrementado, por cual, las entidades encargadas se han preocupado por encontrar nuevas alternativas que mejoren y aumentan el agua distribuida, como los es, el caso de la ciudad capital de Guatemala.

Es importante reconocer que el 39% del agua que se consume en la ciudad capital de Guatemala proviene de dos subcuencas hidrográficas ubicadas en el departamento de Chimaltenango. El cual es trasvasado por un acueducto nacional llamado Xayá-Pixcayá, con una longitud aproximada de 40 kilómetros hacia la planta de tratamiento Lo De Coy, ubicada en el municipio de Mixco, en el departamento de Guatemala.

Para llevar a cabo la propuesta de diseño, el trabajo se ha estructurado en cuatro fases. En la primera fase, se encuentra la recopilación de información de las condiciones del sitio sobre el acueducto nacional Xayá-Pixcayá y sus elementos que lo componen. En la segunda fase se explica la ubicación y categorización de la propuesta según varios criterios, utilizando QGis, InfraWorks y Civil3D. En la tercera fase, se determina el tipo de reservorio más factible para el área mediante un análisis FODA, para luego realizar los diseños de los sistemas de reservorios (revestimiento de concreto y natural). Por último, en la cuarta a fase se realiza un análisis comparativo de ambos diseños propuestos para proseguir con los planos constructivos preliminares.

Este trabajo tuvo como referencia principal el megaproyecto de graduación realizado por Elio Emanuel Berganza Sandoval, presentando como tema principal el “Estudio de la subcuenca del acueducto Xayá-Pixcayá con enfoque en el aprovechamiento del recurso hídrico” y como subtema “Identificación y caracterización de las zonas de recarga hídrica en el área de influencia de las subcuencas de los ríos Xayá y Pixcayá”.

A nivel mundial se percibe una demanda del recurso hídrico. Lo que conlleva considerarlo una amenaza y un riesgo próximo a nivel nacional. Se deben tomar en cuenta los trabajos alternos que ayuden a la gestión, producción y almacenaje de los recursos hídricos. Esto aporta promueven una preparación a futuro sobre la obtención del agua, incluyendo un desarrollo socioeconómico del país.

Según el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación [MAGA] (2016). Se históricamente que, el acueducto Xayá-Pixcayá se propuso como proyecto en, 1961 con el fin de ayudar a enfrentar la falta de agua potable, se decidió trasvasar el agua de los ríos Xayá y Pixcayá por un acueducto. Este acueducto tiene una extensión aproximadamente de 40 km, que cruza por 3 departamentos; Chimaltenango, Sacatepéquez y ciudad de Guatemala. El acueducto desemboca en la planta de tratamiento Lo De Coy, ubicada en el municipio de Mixco, departamento de Guatemala, la cual tiene mucha importancia ya que cubre una demanda 39% de la ciudad de Guatemala.

Para esta propuesta de reservorio, se utilizó el shape del recorrido del acueducto nacional Xayá-Pixcayá establecido por el estudio ya mencionado. El reservorio es considerado fuera del flujo y funciona paralelamente al acueducto (bypass hidráulico). Además, el sistema del reservorio tiene como fuente principal de llenado el mismo acueducto y secundario la precipitación del sitio.

De acuerdo a SEGEPLAN (2006) la disponibilidad de agua per cápita es de alrededor 8,000 metros cúbicos/persona/año, la cual es 3 veces mayor que la de El Salvador, pero 4 veces menor a la de Nicaragua; una disponibilidad de 1,000 metros cúbicos/persona/año señala el límite inferior de regiones o países que se puede considerar libres de riesgo hídrico.

Sin embargo, la capacidad nacional de gestionar el agua, aún no permite acceder oportunamente esta disponibilidad conforme criterios de equidad, eficiencia y sostenibilidad ambiental. De la oferta disponible, el país tiene capacidad para almacenar cerca del 1.5 % (Instituto Nacional de Estadística [INE], 2018). Para acceder a mayor cantidad de agua de la oferta disponible, el país cuenta con muy poca capacidad instalada consistente en obras de regulación para usos hidroeléctricos, riego, doméstico e industrial y para el control de inundaciones. Se han inventariado 7 embalses de consideración en el país, cuya capacidad total es mínima (alrededor de 457 millones de metros cúbicos, de los cuales Chixoy representa 440 millones de metros cúbicos), equivalente a lo mencionado anteriormente 1.5 % del agua teóricamente disponible, es comparable con la capacidad de Etiopía. Para acceder a este recurso, es necesario mejorar notablemente la capacidad pública y social de acceder al agua mediante obras de regulación y almacenaje (SEGEPLAN, 2006).

Según el censo realizado en el 2018, había 995,393 personas en el municipio de Guatemala (INE, 2018). El acueducto Xayá-Pixcayá solventa el 39 % de la demanda de agua en la ciudad de Guatemala. Se puede saber lo siguiente, con una disponibilidad mínima de agua per cápita ya mencionado anteriormente (1,000 metros cúbicos/persona/año) el acueducto Xayá-Pixcayá junto a la PTAR Lo de Coy tendría que solventar 388,203,270 metros cúbicos/año de agua para ese año.

Además, algunas instalaciones del acueducto, tratamiento y la red de distribución, están por llegar al final de su vida útil. Las pérdidas físicas que se dan por tuberías en mal estado son de aproximadamente 18 % del agua producida y las pérdidas ocasionadas por conexiones ilícitas y medición incorrecta son del 27 %, lo que significa que sólo se factura el 55 % del agua que se produce (MAGA, 2010). El recurso hídrico es limitado y poco renovable, por lo que la falta de este, se debe considera como una amenaza para el desarrollo del país. El tema de diseño de reservorio planteado contribuye con un adecuado manejo y desarrollo socioeconómico de la ciudad capital de Guatemala.

4.1. Objetivo general

Proponer un diseño de reservorio de agua, utilizando como fuente de abastecimiento el acueducto Nacional Xayá-Pixcayá.

4.2. Objetivos específicos

- Desarrollar una propuesta de reservorio para el acueducto Xayá-Pixcayá considerando la morfología del sitio.
- Determinar los diferentes elementos complementarios para el diseño e implementación de un reservorio.
- Generar planos preliminares constructivos del reservorio determinado para el acueducto Xayá-Pixcayá.

CAPÍTULO 5

Objeto de estudio

Se analizó el recorrido del acueducto nacional Xayá-Pixcayá, con una longitud aproximada de 40 km. Con un punto de entrada con coordenadas $14^{\circ}40'57.26''\text{N}$ $90^{\circ}51'20.62''\text{O}$, hacia el punto de salida en la “PTAR Lo de Coy” con coordenadas $14^{\circ}37'17.67''$ $90^{\circ}36'07.95''\text{O}$.

6.1. Teórico

Ya dicho anteriormente, se tuvo como referencia principal el megaproyecto de graduación realizado por Elio Emanuel Berganza Sandoval, presentando como subtema “Identificación y caracterización de las zonas de recarga hídrica en el área de influencia de las subcuencas de los ríos Xayá y Pixcayá”. Se tomaron los puntos georreferenciados del trabajo del megaproyecto como punto de partida. Además, se realizó una previa recopilación de información del acueducto nacional Xayá-Pixcayá y sus elementos complementarios, igualmente de la PTAR Lo de Coy, manuales de diseño de reservorios y entre otros.

6.2. Metodología y aplicaciones

Tras el análisis de pendientes longitudinales del flujo del agua y pendientes transversales a cada 100 metros, se puede categorizar el tipo de reservorio. Para este análisis se utilizaron varios softwares computacionales como: Google Earth Pro, Quantum Gis (Qgis), InfraWorks y AutoCAD Civil 3D.

Se realizó un modelo de elevación digital que permita la identificación de zonas de menor riesgo para la implementación de un reservorio. Mediante las poblaciones cercanas al recorrido del acueducto nacional Xayá-Pixcayá. Finalmente, se crearon mapas de la ubicación del reservorio, según las pendientes transversales y longitudinal del sitio.

6.3. Propuesta de solución

La propuesta tiene como fin, el almacenaje hídrico mediante fuente principal el acueducto nacional Xayá-Pixcayá y secundariamente la precipitación del sitio. Además, el acueducto

está por llegar a su vida útil, por lo cual es necesario generar un bypass hidráulico para las operaciones de mantenimiento.

Cabe mencionar que los resultados de la propuesta establecida, son de mucho interés para los sectores privados, así como para los sectores públicos como EMPAGUA. Esta propuesta de diseño beneficia directamente a la ciudad de Guatemala, muchas empresas e instituciones necesitan información para llevar a cabo una mejor gestión de los recursos hídricos y gestión de mantenimiento al acueducto.

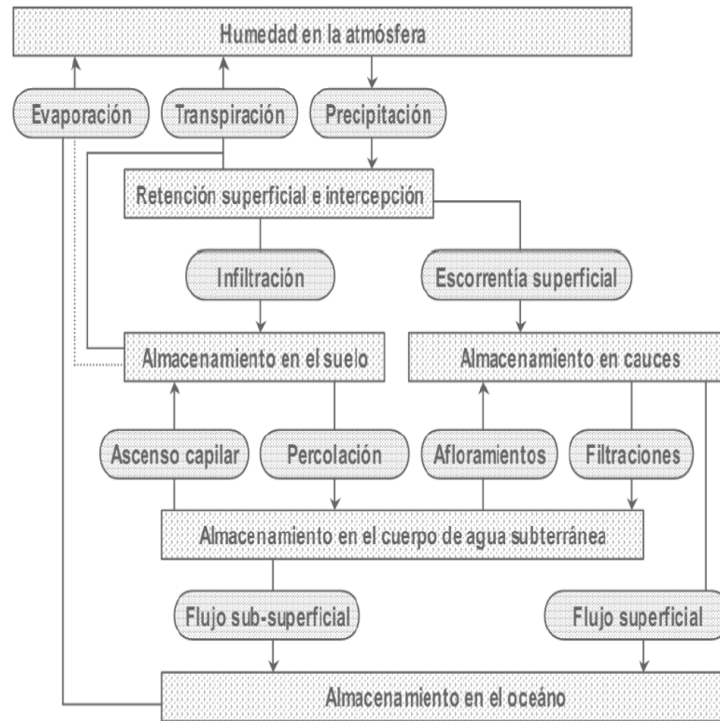
7.1. Ciclo hidrológico

También conocido como ciclo del agua, describe el movimiento continuo y de forma cíclica del agua en el planeta tierra. Este recurso hídrico puede cambiar de estado entre líquido, gaseoso y hielo en varias de las etapas del ciclo. Los procesos dentro del ciclo pueden ocurrir en segundos o tardar varios años. Aunque el equilibrio del agua en la tierra permanece constante durante el tiempo, las moléculas de agua pueden circular muy rápido (Pérez. G, 2016).

Aunque es cíclico, se puede mencionar que al inicio el sol calienta el agua de los océanos convirtiendo parte de esa agua en vapor, así como también el hielo puede sublimar, convirtiéndose en vapor que por ser un gas sube a la atmósfera. Las corrientes de aire ascendentes toman el vapor de la atmosfera, junto con el agua que evapotranspiran las plantas y el suelo. Dicho vapor se eleva en el aire, donde las temperaturas más frías hacen que se condense en nubes. Las partículas de las nubes chocan, crecen y luego caen, es lo que llamamos lluvia o precipitación. La precipitación se puede dar de manera de hielo o agua (lluvia), cuando es por la primera se acumula en los casquetes polares mientras que cuando es lluvia, el agua derretida fluye sobre la superficie debido a la acción de la gravedad (Pérez. G, 2016).

La mayor parte de la precipitación cae sobre los océanos o la tierra, donde una parte entra en los ríos a través de valles y la corriente mueve el agua hacia los océanos. Otra parte del agua se filtra para las aguas subterráneas, que se acumulan y son almacenadas como agua dulce en lagos. Un poco de agua se infiltra profundamente en la tierra y rellena acuíferos, que almacenan cantidades enormes de agua dulce durante periodos largos de tiempos (Pérez. G, 2016).

Figura 1: “Esquema del ciclo hidrológico”



(Pérez. G, 2016).

7.1.1. Precipitación

Es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre, sus mediciones y análisis forman el punto de partida de la mayor parte de los estudios al uso y control del agua. Las precipitaciones agrupan todas las aguas meteóricas recogidas en una cuenca vertiente o una zona determinada. Se presenta en forma líquida como lluvia y niebla o también de forma sólida como nieve y granizo (Villón, M. 2004).

Es cualquier producto de la condensación del vapor de agua atmosférico que se deposita en la superficie de la tierra. Este fenómeno ocurre cuando la atmósfera se satura con el vapor de agua, y el agua se condensa y cae. La lluvia es la precipitación que comienza a caer a la tierra pero que no se evapora antes de alcanzar la superficie. La precipitación se considera el componente principal del ciclo hidrológico. La forma de medir la precipitación es en milímetros utilizando un equipo llamada pluviómetro (Villón, M. 2004).

Formas de precipitación

- Actividad frontal: Es de forma dinámica y ocurre como consecuencia del ascenso lento del aire en sistemas sinópticos, como en los frentes fríos, y antes de los frentes cálidos (Vásquez L. 2011).
- Convección: proviene de las nubes convectivas, cae como chaparrones con una intensi-

dad que varía rápidamente y a su vez en un tiempo relativamente corto sobre un área determinada. La mayor parte de las precipitaciones en zonas tropicales. Una forma de identificar esta forma es mediante los copos de nieve y el granizo (Vásquez L. 2011).

- Efectos orográficos: ocurre en el lado de barlovento de las montañas y está causado por el movimiento ascendente de un flujo de aire húmedo a través de la montaña, que provoca la refrigeración y la condensación. Las zonas más propensas a esta forma son las zonas montañosas del mundo (Vásquez L. 2011).
- Actividad tropical: consiste en grandes masas de aire de varios cientos de kilómetros con la presión baja en el centro y con vientos que soplan alrededor del centro en cualquier dirección. Surge cuando un frente cálido que sube por una superficie inclinada de aire frío que se retira, y es enfriada en el proceso de elevación causando la precipitación (Vásquez L. 2011).

7.1.2. Evapotranspiración

También conocido como uso del cultivo, es la suma de los fenómenos de la evaporación del suelo y la transpiración de las plantas. Una gran parte del agua que llega a la tierra vuelve a la atmósfera de forma de vapor, directamente por evaporación, o a través de las plantas por transpiración. Se considera a la suma de la evaporación y la transpiración, el término solo es aplicado correctamente a una determinada área de terreno cubierto por vegetación. Los valores de esta variable se miden en milímetros por día (Sánchez, 2006).

Entre los factores que influyen para la evapotranspiración se tiene el clima y el suelo. La temperatura hace que el agua se vuelva vapor y suba a la atmósfera. A su vez las plantas tienen un rol importante porque no solo observen el agua que cae, sino que lo expulsan (Sánchez, 2006).

7.1.3. Escorrentía

Luego del fenómeno de la precipitación, el agua que cae en la superficie de la tierra puede tomar varios caminos según sean las condiciones del terreno. En algunas ocasiones como ya se ha mencionado, parte del agua se evapora por medio de las plantas y el suelo, otra parte se infiltra dentro del suelo dejando un porcentaje del agua que se desliza sobre la superficie a la cual se llama escorrentía.

Las aguas de escorrentía son aquellas que caen sobre cualquier superficie impermeable durante un evento de lluvia, que fluye en sentido longitudinal de la pendiente (aguas abajo) sobre las superficies llegando a drenajes o cuerpos de agua cercanos (CATIE, 2009). Debido a su densidad y volumen, la escorrentía genera un fenómeno de arrastre, por medio del cual genera erosión en el suelo llevando los sedimentos, basura o cualquier otro tipo de materia pendiente abajo. Pero no solo sobre la superficie puede escurrir el agua, según Villón (2004), se puede clasificar este fenómeno en tres tipos:

- Ecurrimiento superficial: es aquel que proviene de la precipitación no infiltrada y que escurre sobre la superficie del suelo. El efecto sobre el escurrimiento total es inmediato y existirá durante la tormenta e inmediatamente después de que esta termine.
- Ecurrimiento sub-superficial: es aquel que proviene de una parte de la precipitación infiltrada. El efecto sobre el escurrimiento total puede ser inmediato o retardado. Si es inmediato se le da el mismo tratamiento que al escurrimiento superficial, es caso contrario, como escurrimiento subterráneo.
- Ecurrimiento subterráneo: es aquel que proviene del agua subterránea, la cual es recarga por la aportación de la precipitación que se infiltra, una vez que el suelo se ha saturado.

7.1.4. Infiltración

La infiltración es el proceso mediante el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el suelo. La conductividad hidráulica, la porosidad del suelo, la condición de la superficie y la capa vegetal son factores que afectan la tasa de infiltración (Faustino, 2001).

Es la velocidad con la cual el agua penetra en el suelo. La medición se basa en la profundidad (en mm) de la lámina de agua que logra penetrar en el suelo en una hora. Se puede considerar un proceso que depende de las propiedades físicas e hidráulicas del suelo, como el contenido de humedad, de la cantidad de agua que ha recibido en el pasado, de los cambios estructurales en las capas del suelo y de cuanto aire se encuentre atrapado en el suelo. Se puede medir indirecta o directamente lo que se genera varios métodos para su realización (CATIE, 2009).

Cabe mencionar que hay varias características que influyen, como la textura y estructura del suelo, las grietas y la expansión del suelo cuando se humedece. Es el movimiento del agua desde la superficie hacia el interior del suelo por efecto de la gravedad. El agua se acumula en los poros del suelo y así puede ser utilizada por las plantas, o puede desplazarse a capas más profundas del suelo, donde alimenta a los mantos acuíferos. La capacidad de la infiltración es la cantidad de agua que el suelo es capaz de absorber por unidad de tiempo (cm/min, mm/h); este valor es variable y es función de la húmeda, la composición y la compactación del suelo (CATIE, 2009).

7.2. Abastecimiento de agua en la Ciudad de Guatemala

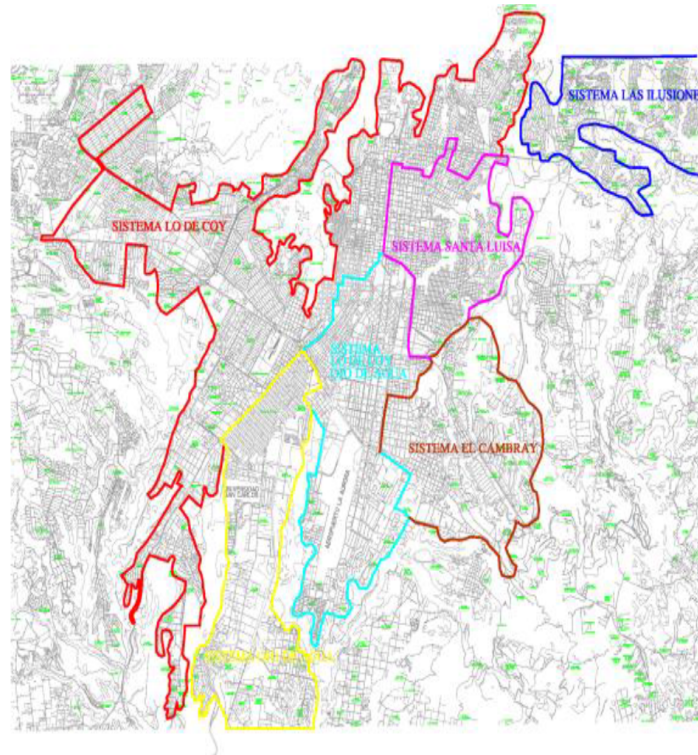
En 1931, se dispuso que una paja de agua equivaldría a un caudal de 2 metros cúbicos por día, el cual se estableció como la unidad de medida más aceptada por la población beneficiada, el título paja de agua es una propiedad emitida por las municipalidades, en las que el beneficiario del servicio adquiere el derecho de recibir un volumen determinado de agua, que es un máximo de 60 metros cúbicos al mes por el precio estándar de compra (Zea, 2013).

EMPAGUA está constituida por cinco plantas de tratamiento de agua potable, las cuales son provistas de agua cruda obtenida de los nacimientos y ríos de los municipios periféricos

a la ciudad de Guatemala y en un porcentaje importante a través de pozos electro mecánicos alimentados por aguas subterráneas, los cuales se encuentran localizados en diferentes partes de la ciudad (Zea, 2013).

EMPAGUA posee diferentes sistemas de abastecimiento, estos son Lo de Coy, La Brigada, El Cambray, Santa Luisa, Las Ilusiones, Ojo de Agua; el área de influencia de cada sistema se observa en la figura 13. El sistema de pozos está compuesto por 68 pozos electro-mecánicos, los cuales abastecen directamente a la red mediante los tanques de distribución (Zea, 2013).

Figura 2: “Área de influencia de los sistemas de EMPAGUA”



(EMPAGUA, s.f.).

7.3. Acueducto Nacional Xayá-Pixcayá

7.3.1. Historia

En octubre de 1961, el Gobierno de Guatemala con el fin de ayudar a enfrentar la escasez de agua potable, decidió hacer estudios para traer a la ciudad capital el agua de los ríos Xayá y Pixcayá. Para el efecto se encargó a ingenieros guatemaltecos la preparación de un anteproyecto, que fue terminado a principios de 1962 (MAGA, 2016).

La Municipalidad de Guatemala, por otra parte, había preparado otros estudios para traer agua de los mismos ríos a la Ciudad Capital, pero en diferente ruta. Después de 3 años de deliberaciones para escoger el proyecto más conveniente y de otros 4 en que estas se prolongaron se inició la obra a principios de 1971 (MAGA, 2016).

En la subcuenca Pixcayá, que recibe el agua del río Xayá a través de un túnel (trasvase), en el sitio de presa El tesoro desvía alrededor de $1 \text{ m}^3/\text{s}$ (Caudal de estiaje) Hacia la planta de tratamiento Lo de Coy, situada en la cercanía de la ciudad de Guatemala. La primera etapa de este proyecto terminó en 1979 a un costo aproximado de 51.5 millones de quetzales. El trasvase de las aguas del proyecto Xayá- Pixcayá consiste en desviar el caudal del río Xayá (de la vertiente del Pacífico) al río Pixcayá (de la vertiente del Atlántico). Sin embargo, el caudal de Pixcayá es desviado nuevamente a la vertiente del Pacífico. Estas desviaciones producen disminución o aumento en la disponibilidad de agua y perturbaciones ambientales. Además, existen dentro de la cuenca y en la ciudad de Guatemala otras plantas de tratamiento de agua potable, como Santa Luisa ($0.323 \text{ m}^3/\text{s}$) y Las Ilusiones ($0.236 \text{ m}^3/\text{s}$), que se abastecen de ríos de la cuenca del Motagua (MAGA, 2016).

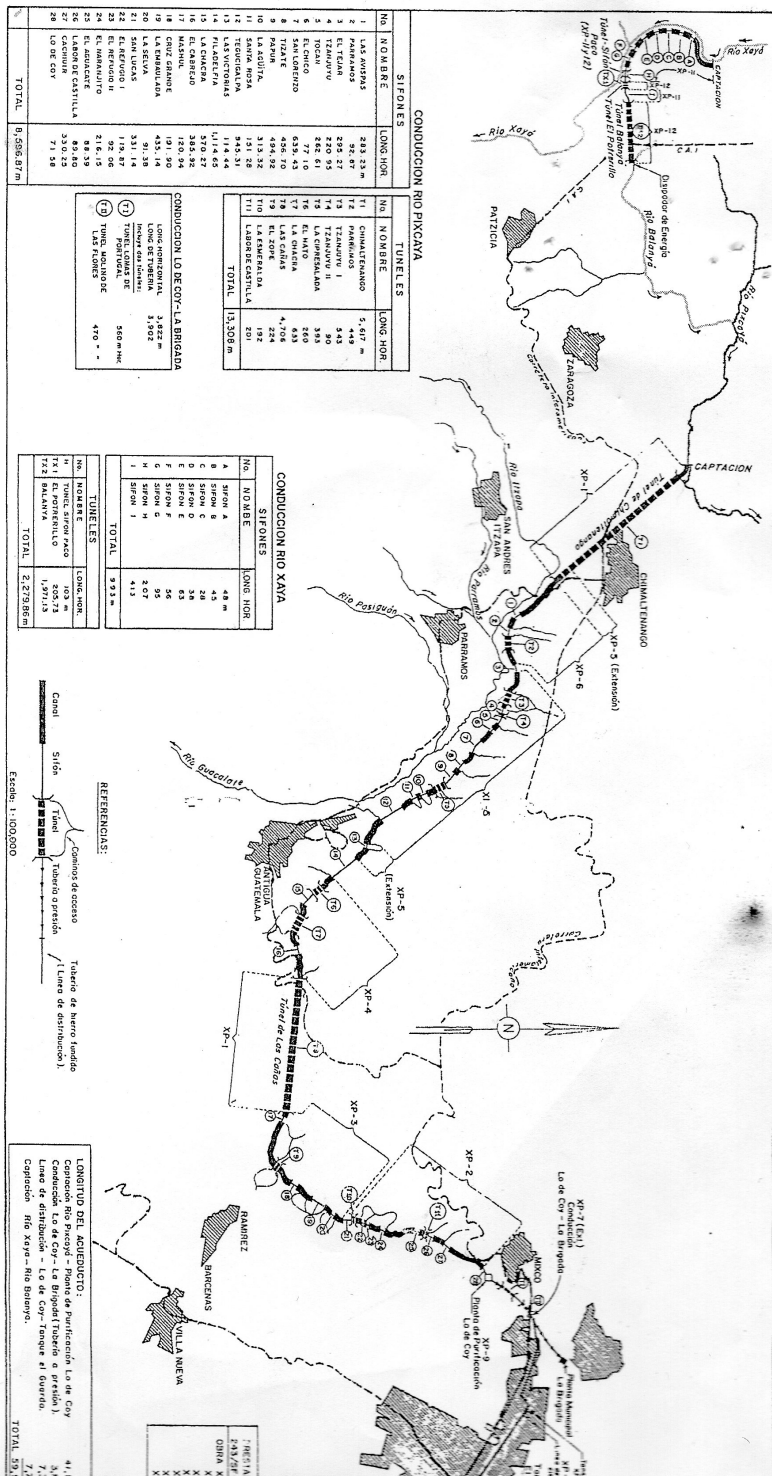
Terminado en 1979, el acueducto Xayá-Pixcayá es la obra más grande en materia de abastecimiento de agua en Guatemala, el cual abastece a la planta de tratamiento Lo de Coy y que a su vez produce el 39 % del agua potable que distribuye EMPAGUA en la ciudad de Guatemala. Según el ministerio de agricultura, ganadería y alimentación la producción diaria de agua por la planta de tratamiento Lo de Coy, es de $140,000 \text{ m}^3/\text{día}$ aproximadamente un caudal de $1.6 \text{ m}^3/\text{s}$ (MAGA, 2016).

7.3.2. Características generales

El agua captada del río Xayá (cota 2,085 msnm) se deriva en su totalidad, y se conduce mediante un túnel, hacia el río Balanyá (cota 2,020 msnm); aguas abajo del río Pixcayá, en la finca El Tesoro (cota 1,780 msnm), se realiza la derivación total del caudal superficial de este río, hacia la planta de purificación Lo de Coy (Mixco). La línea de captación – conducción, tiene 49 km de longitud, intercalándose canales, sifones invertidos y túneles (MAGA, 2016).

Figura 3: “Plano Acueducto Nacional Xayá-Pixcaya”

ACUEDUCTO NACIONAL XAYA-PIXCAYA



7.3.3. Problemática

Según MAGA (2016) la principal problemática en torno al abastecimiento de agua potable a la ciudad capital está constituida por:

- La capacidad de producción y distribución fue rebasada ante el acelerado crecimiento de la Ciudad.
- El avance desordenado del proceso de urbanización ha provocado una reducción y contaminación de los caudales de las fuentes de aguas superficiales.
- Los mantos subterráneos de agua, descienden actualmente casi 1 metro por año.
- Algunas instalaciones de captación y tratamiento y la red de distribución, están por llegar al final de su vida útil. Las pérdidas físicas que se dan por tuberías en mal estado son de aproximadamente 18 % del agua producida y las pérdidas ocasionadas por conexiones ilícitas y medición incorrecta son del 27 %, lo que significa que sólo se factura el 55 % del agua que se produce.

Hasta ahora en la Ciudad, los prestadores del servicio de agua han sido: La Empresa Municipal de Agua –EMPAGUA- que provee el 80 % del servicio. La Empresa de Agua Mariscal, el 10 % y otros servicios como pozos privados, cisternas y llena cántaros, el restante 10 %. Aunque es una empresa de la Ciudad de Guatemala, EMPAGUA presta su servicio en parte de los municipios vecinos de Mixco, Villa Nueva y Chinautla. La producción promedio de EMPAGUA, actualmente es del orden de los 3.7 m³/s; sin embargo, la misma es insuficiente para cubrir la “demanda actual del AMG, la cual se estima en 6.5 m³/s para el año 2,000” (incluye un consumo per cápita de 225 litros por habitante por día, y considera la demanda doméstica, no doméstica y las pérdidas físicas) (MAGA, 2016).

7.4. Planta de tratamiento de aguas residuales Lo de Coy

La planta de tratamiento lo de Coy, está ubicada en el kilómetro 17,5 carretera Interamericana hacia occidente, en el municipio de Mixco. La planta es alimentada por medio del Acueducto Nacional Xayá-Pixcayá, la cual es la obra de abastecimiento de agua potable más grande de Guatemala (Zea, 2013).

Es una planta que funciona en la mayoría de sus procesos, sin la intervención de energía eléctrica, esta última se utiliza solamente en la dosificación de elementos químicos (Zea, 2013).

Los datos proporcionados por EMPAGUA, muestran que durante la época de invierno, la planta Lo de Coy, produce un aproximado de 1 525 litros por segundo, y en verano un aproximado a 800 litros por segundo, se cuenta con un laboratorio químico biológico que se encarga del muestreo diario en diferentes puntos de la red de distribución. Este laboratorio se encuentra en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos zona 12 de la ciudad de Guatemala, con el nombre Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria Dra. Alba Tabarini Molina (Zea, 2013).

7.4.1. Estructura operativa

Según Salguero, Fabiola (2008) la planta consiste en una caja de entrada, un canal de entrada, un canal de mezcla rápida, un canal de mezcla lenta, sedimentadores, filtros, y finalmente un tanque de almacenamiento. El agua es conducida al tanque de almacenamiento por medio de canales cerrados, en el cual se realiza la cloración final; la producción total actual de la planta Lo de Coy es 140 000 metros cúbicos diarios (Zea, 2013).

- Caja de entrada: Es el lugar donde desembocan las líneas de conducción del acueducto Xayá Pixcayá, en la cual se puede regular el caudal de agua cruda que se desea tratar y atrapar los desechos sólidos grandes y el exceso se hace rebalsar hacia el desfogue de agua cruda.
- Canal de entrada: El canal de entrada tiene la función de medir el caudal de agua que ingresa a la planta para su tratamiento, lo cual se efectúa por medio de un medidor de caudal tipo Parshall y se realiza la precoloración; los caudales que ingresan fluctúan entre 800 a 1,840 litros por segundo y turbiedades de 15 a 5,000 unidades de turbiedad (UNT)
- Canal mezcla rápida: Lugar donde se aplican los químicos a través del cuarto de máquinas, en el cual se hacen cuatro tipos de dosificaciones: Sulfato de aluminio, polielectrolito, cal hidratada y sulfato de cobre.
- Canal de mezcla lenta o floculadores: Lugar donde se efectúa la floculación a través de un canal formado por pantallas que desvían el agua en forma serpenteada, con el fin de reducir la velocidad del caudal. En este canal por la acción del sulfato de aluminio se van uniendo partículas pequeñas de lodo, formando otras de mayor tamaño, para que en el siguiente proceso por su propio peso se precipiten en el fondo de los tanques sedimentadores.
- Sedimentadores: A continuación de los floculadores, existe un canal que distribuye el agua hacia cuatro tanques sedimentadores de tipo convencional y que se alimentan por medio de paredes con perforaciones, con el fin de reducir velocidad y que ingrese el agua en forma compensada al tanque. En la salida de cada uno de los sedimentadores, existen canales en la superficie que recolecta el flujo ascendente de agua ya sedimentada a través de los orificios que tiene cada canal. Existe una tubería que interconecta los tanques sedimentadores y los filtros.
- Filtros: Los filtros que operan en la planta tienen la función principal de remover toda aquella materia en suspensión que no fue sedimentada en el proceso anterior. Se cuenta con 6 filtros los cuales son denominados filtros rápidos a presión, cuyo lecho es compuesto de: Grava (23.43 m³/filtro), arena (19.52 m³/filtro) y antracita (39.04 m³/filtro).

- Tanque de almacenamiento: El agua filtrada es conducida por un caudal totalmente cerrado al tanque de almacenamiento; en este canal se efectúa la cloración final y posteriormente, el agua clorada es conducida a otros tanques de distribución ubicados en diferentes puntos de la ciudad. Existe un tanque de 25,000 m³ en el cual la turbiedad del agua fluctúa entre 1.0 a 2.5 unidades de turbiedad como máximo. En este tanque desemboca el proceso final de la planta de tratamiento de agua, donde se almacena el agua lista para su distribución.

7.5. Definición de embalse

Se denomina embalse a la acumulación de agua debido a la obstrucción en el lecho de un río que cierra parcial o totalmente su cauce. El volumen de agua queda retenido en un vaso topográfico, debido a una serie de eventos artificiales o naturales. Por lo general, un embalse se forma artificialmente cerrando la boca de un valle mediante una presa o dique, dando lugar a un lago artificial, construido con el fin de producir energía hidroeléctrica o almacenar agua durante la estación lluviosa y distribuirla durante la estación seca, para el riego de terrenos o abastecimiento de agua para la población (Bustamante, 1996).

7.5.1. Generación de un embalse

La obstrucción del cauce puede ocurrir por causas naturales como ejemplo: derrumbe de laderas, obstrucción de río por hielo y por medio animal. Por otro lado, las causas artificiales son construidas por el hombre como: presas (Ainzúa, 2007).

Embalses naturales

- Derrumbe de laderas: En este caso se trata de embalses totalmente incontrolados, que generalmente tienen una vida corta, días, semanas o hasta meses. Al llenarse el embalse con los aportes del río o arroyo, se provocan filtraciones a través de la masa de tierra no compactada, y vertidos por el punto más bajo de la corona, que llevan a la ruptura más o menos rápida y abrupta de la presa, pudiendo causar grandes daños a las poblaciones y áreas cultivadas situadas aguas abajo (Córdova, 2015).

Figura 4: “Embalse por derrumbe de laderas”



(Gobierno de Ecuador, 2013).

- Acumulación de hielo: La acumulación de hielo en los grandes ríos situados en zonas frías se produce generalmente en puntos en los cuales el cauce presenta algún estrechamiento, ya sea natural, como la presencia de rocas, o artificial, como los pilares de un puente. Situaciones de este tipo pueden darse, por ejemplo, en el río Yeso, en la cordillera de los Andes a una altitud de 2500 msnm. Para prevenir los daños que esto puede causar, los servicios de prevención utilizan barcos especiales denominados rompehielos (Córdova, 2015).

Figura 5: “Embalse por acumulación de hielo”



(Gobierno de Chile, s.f.)

- Presa construida por animales: Las presas construidas por castores se dan en pequeños arroyos, generalmente en áreas poco habitadas y, por lo tanto, los eventuales daños causados por su ruptura son generalmente limitados (Córdova, 2015).

Figura 6: “Presa construida por castores”



(Córdova, 2015).

Embalses artificiales

Según Carmen, Córdova (2015) los embalses artificiales son aquellos generados al construir una presa en el cauce de un río y pueden tener la finalidad de:

- Regular el caudal de un río o arroyo, almacenando el agua de los períodos húmedos para utilizarlos durante los períodos más secos para el riego, para el abastecimiento de agua potable, para la generación de energía eléctrica, para permitir la navegación o para diluir contaminantes.

- Contener los caudales extremos de las avenidas o crecidas (laminación de avenidas).

- Crear una diferencia de nivel para generar energía eléctrica, mediante una central hidroeléctrica.

Figura 7: “Presa construida por el hombre”



(R. Luis, s.f.).

7.5.2. Clasificación de los embalses según su ubicación

En general existen dos tipos de embalses. Los ubicados fuera del cauce fluvial a los que se denominan laterales o indirectos (off-stream reservoirs) y los llamados frontales o directos (on-stream reservoirs) que están ubicados sobre el lecho fluvial (Córdova, 2015).

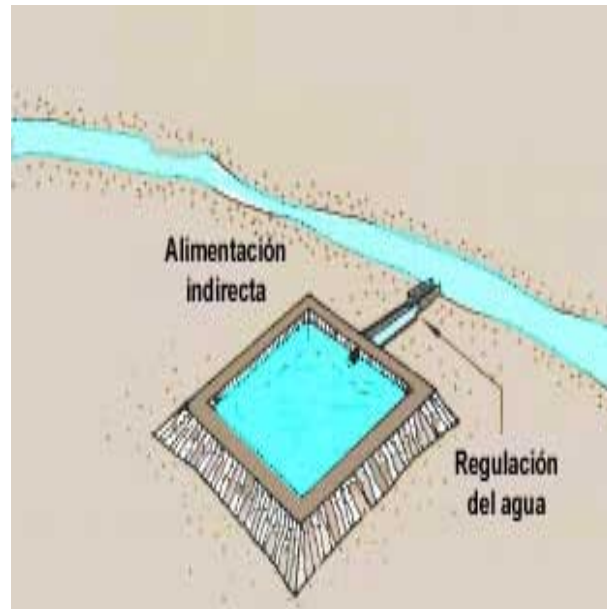
Off-stream reservoirs

Los embalses o reservorios fuera de la corriente están situados fuera de un curso del agua y reciben agua de un curso de agua a través de varios métodos de transporte utilizados para mover el agua hasta el lugar de almacenamiento (Water boards California [WBC], s.f.).

Ejemplos de los métodos de transporte fuera de la corriente son tuberías, acueductos, canales y otros métodos artificiales. Un derecho de agua sigue siendo necesario para estos tipos de la desviación y el almacenamiento que dependen de la desviación y el uso (Water boards California [WBC], s.f.).

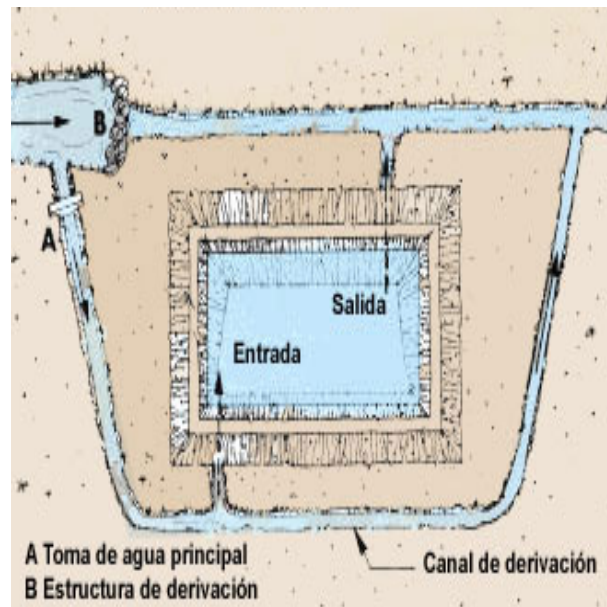
Consideración de la hidrología y la topografía local es importante al construir estos tipos de reservorios. Se debe tomar en cuenta los elementos complementarios para un buen funcionamiento, como los canales de desviación, compuertas, rejas y otros (Water boards California [WBC], s.f.).

Figura 8: “Reservorio indirecto como regulación de flujo”



(Food and Agriculture Organization of The United Nations [FAO], s.f.).

Figura 9: “Reservorio indirecto con canal de derivación”

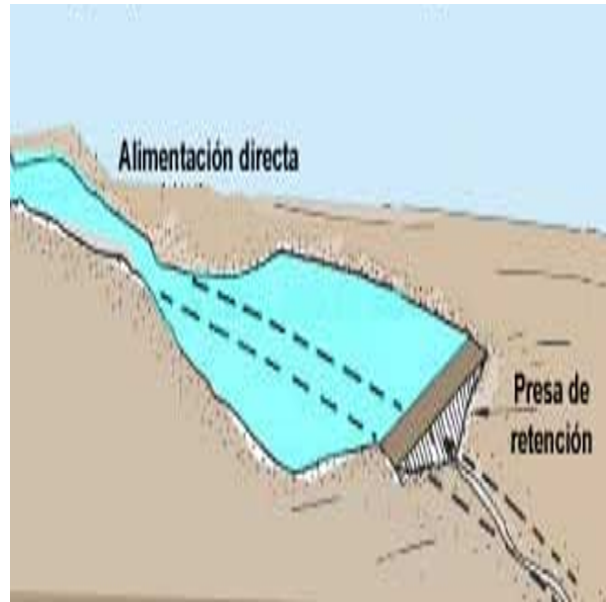


(Food and Agriculture Organization of The United Nations [FAO], s.f.).

On-stream reservoirs

Los embalses en la corriente bloquean el flujo natural de agua a través de un curso de agua y retienen o almacenan el agua a través de terraplenes, presas u otros medios de incautación de agua. Esto puede parecer una determinación sencilla, pero puede complicarse más cuando un depósito es situado dentro de una fuente de drenaje o manantial, o tiene múltiples fuentes de agua superficial que no están siempre fluyendo con agua. (Water boards California [WBC], s.f.).

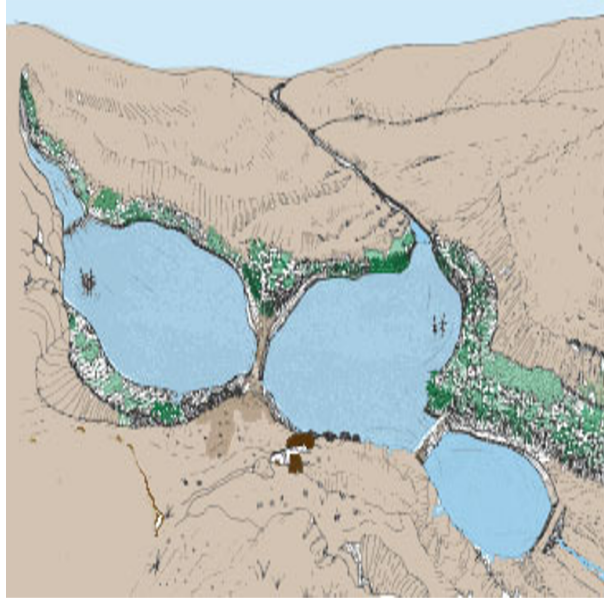
Figura 10: “Embalse on-stream con presa de retención”



(Food and Agriculture Organization of The United Nations [FAO], s.f.).

Los estanques de presas se construyen en el fondo de un valle, levantando una presa que cierra el extremo inferior del mismo. A veces se construyen en serie a lo largo del valle. El estanque de presa se puede vaciar aprovechando el cauce del antiguo río. Si se producen grandes inundaciones, el agua excedente se desvía por lo general por uno de los lados del estanque para mantener constante el nivel del mismo. Con este fin se construye un canal de derivación; en ese caso, el abastecimiento de agua del estanque se controla mediante una estructura denominada toma de agua (FAO, s.f.).

Figura 11: “Embalses en serie”



(Food and Agriculture Organization of The United Nations [FAO], s.f.).

7.6. Definición de reservorios

Funcionan como instalaciones de almacenamiento de agua de pequeña o gran escala y a largo plazo de almacenaje. La recolección de agua en estos cuerpos puede ayudar a mitigar la variabilidad estacional e incluso la variabilidad anual de la precipitación y de la escorrentía del agua (Koshland Science Museum [KSM], s.f.).

Los reservorios se pueden construir para almacenar aguas de escorrentía provenientes de quebradas y ríos, o para capturar aguas llovidas, lo que se puede definir como cosecha de agua de lluvia. En ese sentido, Nasr (1999) define la cosecha de agua como “la recolección del agua de escorrentía para su uso productivo”, mientras que, según la FAO (s.f.), la captación de agua de lluvia está definida como “la recolección de escorrentía superficial para su uso productivo, y que puede lograrse de las superficies de tejados, así como de corrientes de agua intermitentes o efímeras”.

7.6.1. Reservorios según la fuente de abastecimiento de agua

Reservorios de agua de manantial cauce de río o canal

Se alimentan de un manantial localizado en el mismo reservorio o en sus proximidades. El abastecimiento de agua puede variar a lo largo del año pero la calidad de la misma es por lo general constante (FAO, s.f.).

Figura 12: “Reservorio con fuente de agua de manantial”

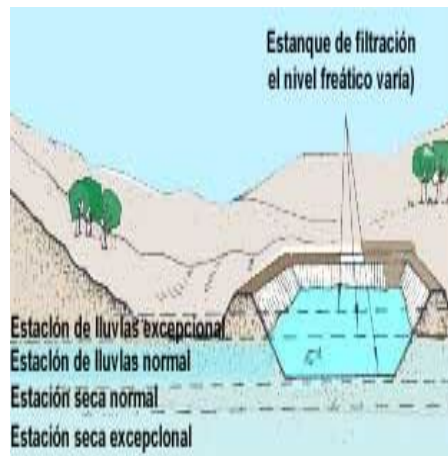


(Food and Agriculture Organization of The United Nations [FAO], s.f.).

Reservorio de filtración

Se alimentan del agua de capas freáticas que penetra en el estanque. El nivel del agua del estanque varía de acuerdo con el nivel freático (FAO, s.f.).

Figura 13: “Reservorio de filtración”



(Food and Agriculture Organization of The United Nations [FAO], s.f.).

Reservorio de agua de lluvia (escorrentía superficial)

Se alimentan del agua de las precipitaciones y de la escorrentía superficial. Durante la estación seca el estanque no recibe agua. Normalmente, estas construcciones son pequeñas depresiones en suelos impermeables, con un dique construido en la parte más baja con el fin de retener una mayor cantidad de agua (FAO, s.f.).

Figura 14: “Reservorio de agua de escorrentía superficial”



(Food and Agriculture Organization of The United Nations [FAO], s.f.).

7.6.2. Reservorios según el sistema de vaciado

Reservorios no drenables

Según FAO (s.f.) estos tipos de embalses no pueden vaciarse por la fuerza de la gravedad. Generalmente se alimentan de agua subterránea y/o escorrentía superficial, y el nivel del agua puede variar de acuerdo con las estaciones. Estos estanques tienen dos orígenes principales:

- Algunas veces se excavan en zonas pantanosas, donde no hay otra fuente de abastecimiento de agua que la de origen subterráneo.

Figura 15: “Embalses no drenables”



(Food and Agriculture Organization of The United Nations [FAO], s.f.).

- Otras veces se construyen mediante extracción de los materiales del suelo, como grava, arena o arcilla.

Figura 16: “Embalses no drenables”

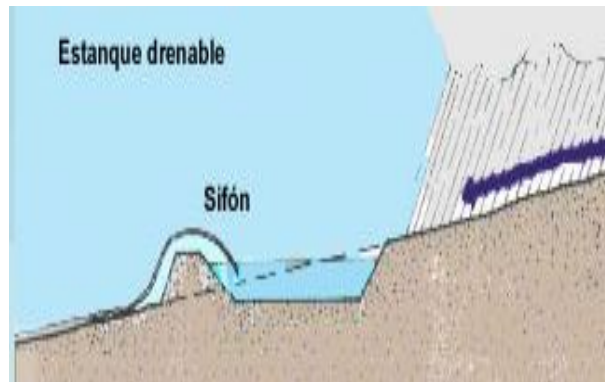


(Food and Agriculture Organization of The United Nations [FAO], s.f.).

Reservorios drenables

Se colocan a una altura superior a la del nivel en el que se extrae el agua y se pueden vaciar fácilmente por la fuerza de la gravedad. Generalmente se alimentan de agua superficial procedente, por ejemplo, de la escorrentía, un manantial o una corriente, o se llenan mediante bombeo (FAO, s.f.).

Figura 17: “Reservorio drenable”



(Food and Agriculture Organization of The United Nations [FAO], s.f.).

Reservorios vaciados mediante bombeo

Se pueden vaciar por la fuerza de la gravedad hasta un determinado nivel pero luego hay que extraer el agua mediante bombeo. Otros estanques, semejantes a los no drenables, sólo pueden vaciarse mediante bombeo. Estos solamente se utilizan cuando no hay ninguna filtración de agua subterránea en el estanque (FAO, s.f.).

Figura 18: “Vaciado mediante bombeo drenable”



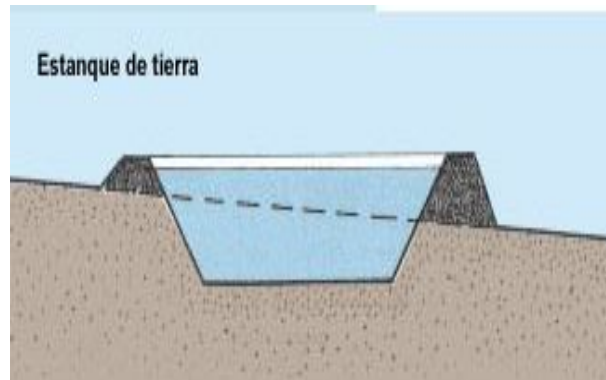
(Food and Agriculture Organization of The United Nations [FAO], s.f.).

7.6.3. Reservorios según los materiales de construcción

Los reservorios de tierra

Se construyen enteramente con materiales del suelo o materiales naturales cercanos al sitio. De esta forma se puede mejorar la impermeabilidad del reservorio (FAO, s.f.).

Figura 19: “Reservorio de tierra”

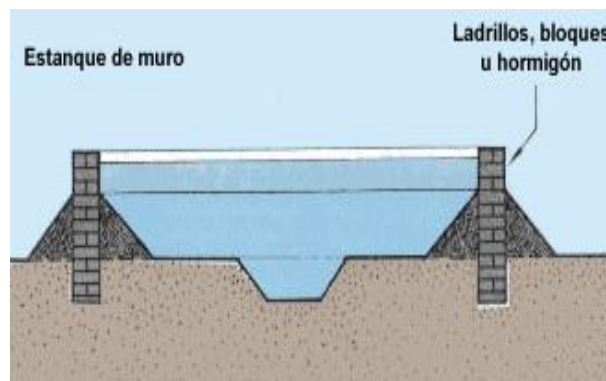


(Food and agriculture organization of the United Nations [FAO], s.f.).

Los reservorios de muro

Están rodeados normalmente de muros hechos con bloques, ladrillos u . Algunas veces se utilizan también maderos o metal ondulado (FAO, s.f.).

Figura 20: “Reservorio de muro”

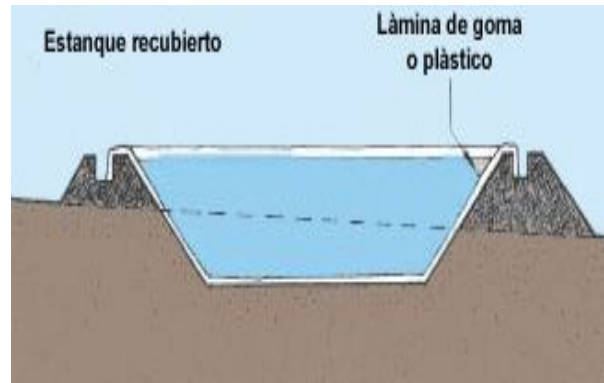


(Food and Agriculture Organization of The United Nations [FAO], s.f.).

Los reservorios recubiertos

Son reservorios de tierra recubiertos con material impermeable, como una capa de goma o plástico de alta resistencia.

Figura 21: “Reservorio drenable”



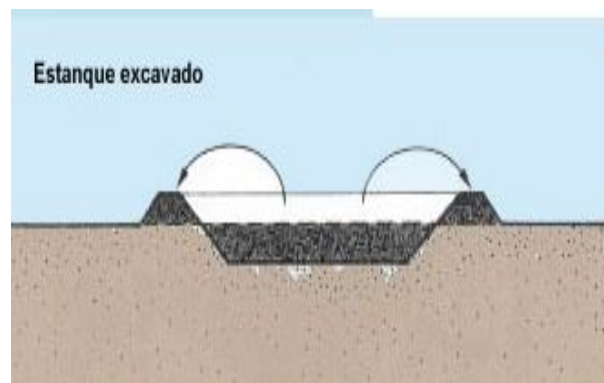
(Food and Agriculture Organization of The United Nations [FAO], s.f.).

7.6.4. Reservorios según el método de construcción

Reservorios sumergidos

Se construyen extrayendo el suelo de una superficie determinada para formar así un vacío que luego se rellena de agua. Normalmente no se pueden vaciar y se alimentan del agua de las precipitaciones, superficial o agua subterránea (FAO, s.f.).

Figura 22: “Reservorio sumergido o excavados”

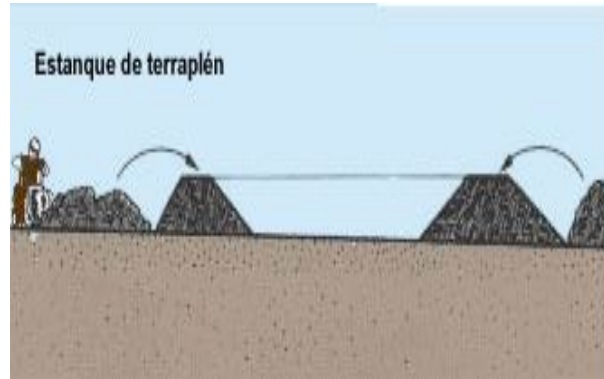


(Food and Agriculture Organization of The United Nations [FAO], s.f.).

Reservorios de terraplén

Se forman sin necesidad de excavar, levantando uno o más diques por encima del terreno para contener el agua. Normalmente se pueden vaciar y se alimentan de un cauce de agua gracias a la fuerza de la gravedad o mediante bombeo (FAO, s.f.).

Figura 23: “Reservorio de terraplén”

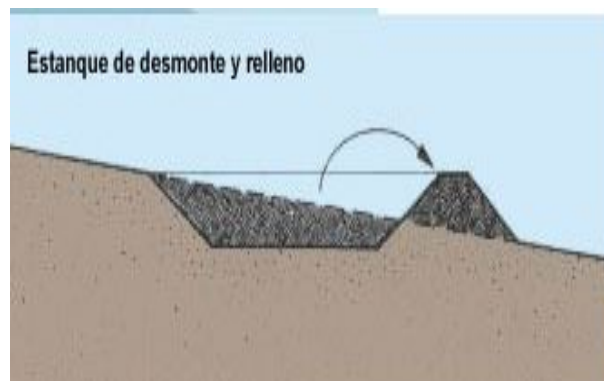


(Food and Agriculture Organization of The United Nations [FAO], s.f.).

Reservorios de desmonte y relleno

Se construyen en terrenos inclinados con una doble acción de excavación y construcción de terraplenes. Normalmente se pueden vaciar y el agua, retenida mediante diques, se alimenta por la fuerza de la gravedad o mediante bombeo (FAO, s.f.).

Figura 24: “Reservorio de desmonte y relleno”



(Food and agriculture organization of the United Nations [FAO], s.f.).

7.6.5. Tipos de reservorios

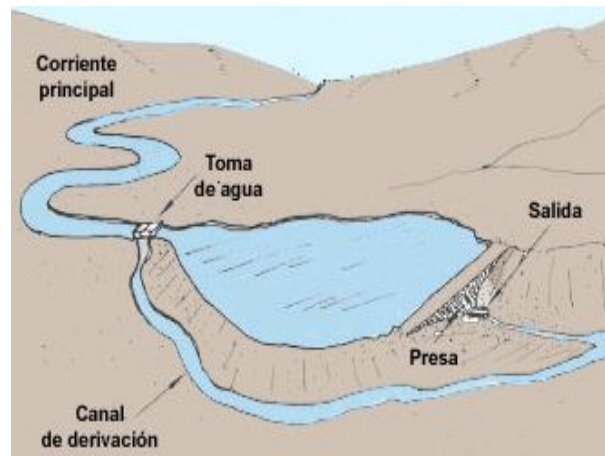
Según el Ministerio de Agricultura y Ganadería (2010). Los principales tipos de reservorios aplicables a las diferentes zonas son:

Reservorios dique

- Reservorio dique - represa: Los reservorios de represa almacenan gran parte del agua por encima de la superficie original del terreno. Se construyen en áreas con pendientes suaves a moderadas y donde la represa se puede levantar transversalmente a una depresión. El embalse se llena con agua de escorrentía. Se considera que un estanque es de represa, cuando la profundidad del agua embalsada encima de la superficie sobrepasa 90 cm (MAG, 2010).

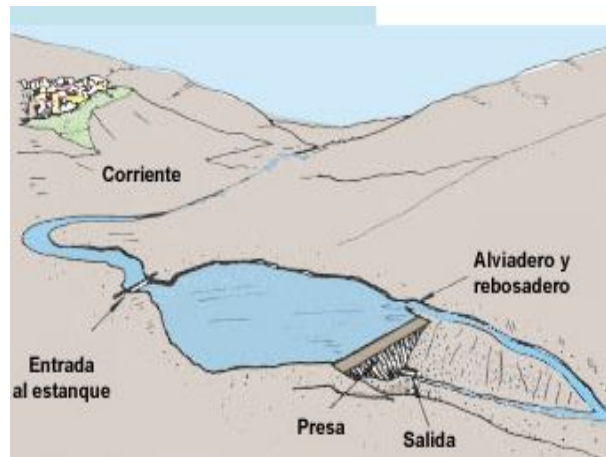
Los reservorios de presas se construyen en el fondo de un valle levantando una presa que cierra el extremo inferior del mismo. A veces se construyen en serie a lo largo del valle. El reservorio de presa se puede vaciar aprovechando el cauce del antiguo río. Si se producen grandes inundaciones, el agua excedente se desvía por lo general por uno de los lados del estanque para mantener constante el nivel del mismo. Con este fin se construye un canal de derivación; en ese caso, el abastecimiento de agua del estanque se controla mediante una estructura denominada toma de agua. El agua, que procede directamente de un manantial, corriente o presa cercana, penetra en el reservorio en un punto denominado entrada y lo abandona en otro denominado salida. Para proteger el dique de las inundaciones se debe construir un aliviadero (FOA, s.f.).

Figura 25: “Reservorio dique - represa con canal de derivación”



(MAG, 2010).

Figura 26: “Reservorio dique - represa con aliviadero”



(MAG, 2010).

- Reservorio dique - represa con revestimiento: Es necesario cuando los suelos no son arcillosos y se tiene alta infiltración del agua. Los principales tipos de revestimiento son plástico y geomembrana de PVC (MAG, 2010).
- Reservorios dique – represa con gaviones: La variante con gaviones se puede utilizar donde hay suficiente piedra para armar el dique. En este caso, no es necesario hacer movimientos de tierra en la depresión natural donde se construye el reservorio (MAG, 2010).

Figura 27: “Reservorio dique - represa con gaviones”



(MAG, 2010).

- Reservorio dique escalonado: Es una variación del reservorio dique – represa con el cual se aprovecha la pendiente del terreno para construir diques en serie y, de esta forma, rebajar costos por movimientos de tierra. Los tipos de reservorios aludidos son desarrollados con mayor detalle en secciones posteriores de este manual (MAG, 2010).

Reservorios sumergidos o excavados

- Reservorio excavado: Los reservorios excavados almacenan gran parte del agua debajo del nivel original del suelo. Se construye en terrenos relativamente planos y donde hay sitios adecuados para construir una represa. Se puede llenar, tanto con el agua de escorrentía como por la infiltración de agua subterránea en la excavación (MAG, 2010).

Figura 28: “Reservorio excavado”



(MAG, 2010).

- Reservorio excavado con revestimiento: Los suelos no son arcillosos, el piso se puede revestir con concreto, plástico o geomembrana de PVC (MAG, 2010).

Reservorio estanque

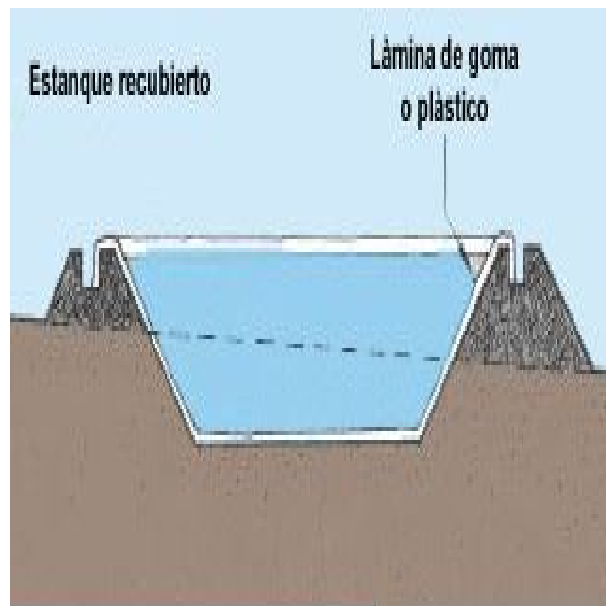
- Reservorio estanque: Este tipo de reservorio es muy similar al excavado, con la diferencia que el nivel del agua se puede llevar por encima del suelo, mediante la construcción de paredes, principalmente de concreto. Se recomienda para zonas donde otros materiales de construcción no se encuentren disponibles. Cuando los suelos no son arcillosos, el piso se puede revestir con concreto, plástico o geomembrana de PVC (MAG, 2010).

Figura 29: “Reservorio estanque”



(CEMEDE, 2010).

Figura 30: “Reservorio estanque con revestimiento plástico”



(Food and agriculture organization of the United Nations [FAO], s.f.).

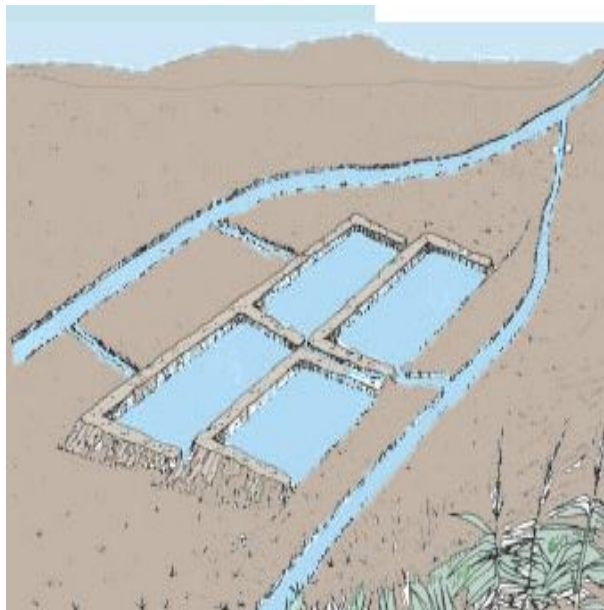
- Reservorio estanque - Tipo envase: Son envases de diferentes tipos y tamaños. Pueden ser, por ejemplo, envases plásticos, estañones de metal o cisternas construidas de concreto. Normalmente, este tipo de reservorio se utiliza para capturar aguas de techos. Puesto que la capacidad de almacenaje no es grande, el agua se utiliza, principalmente, para regar huertas caseras, escolares, entre otros (MAG, 2010).

Reservorio de derivación

Según FOA, (s.f.) el reservorio de derivación se alimenta indirectamente por la fuerza de la gravedad o mediante bombeo a través de un canal de derivación (que se convierte en canal de alimentación principal), procedente de un manantial, corriente, lago o embalse. El caudal se regula a través de la toma de agua. Cada reservorio tiene una entrada y una salida. El estanque de derivación se puede construir de dos maneras:

- En un terreno inclinado, en cuyo caso se trataría de un reservorio tipo estanque, con metodología de construcción de desmonte y relleno.

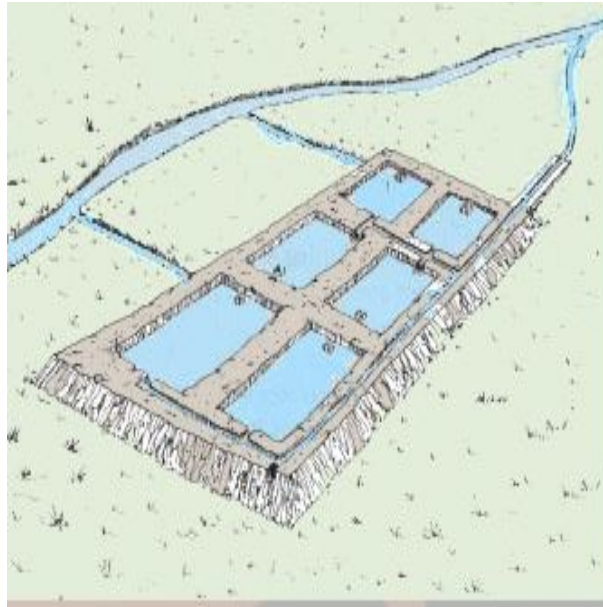
Figura 31: “Reservorio derivación - Terreno inclinado”



(Food and agriculture organization of the United Nations [FAO], s.f.).

- En un terreno llano, por ejemplo, un reservorio de terraplén con cuatro diques.

Figura 32: “Reservorio derivación - Terreno llano”



(Food and agriculture organization of the United Nations [FAO], s.f.).

Normalmente estos reservorios pueden vaciarse a través de un canal construido para ese fin.

7.6.6. Esquema de clasificación de tipos de reservorios

Cuadro 1: “Clasificación tipos de reservorios según varios parámetros”

Tipo básico de reservorio	Abastecimiento principal de agua						Vaciado			Método de construcción		
	Agua subterránea		Agua superficial	Masa de agua		Agua bombeada	No drenable	Drenable	Mediante Bombeo	Excavado	Terraplén	Desmote y relleno
	Filtración	Manantial	Precipitaciones y ecorrentía superficial	Alimentación directa	Alimentación indirecta	Varias fuentes						
Reservorio excavado o de estanque: - Abastecimiento de agua única. - Cualquier combinación de fuentes de abastecimiento.	más común	más común	más común	no aplica	más común	no aplica	más común	menos común	menos común	más común	menos común	menos común (terreno en pendiente)
Reservorio de dique: - Sin canal de derivación. - Con canal de derivación en serie	no aplica	menos común	más común	más común	más común	no aplica	menos común	más común	menos común	no aplica	más común (presa o dique)	no aplica
Reservorio de derivación: - En serie. - En paralelo	no aplica	no aplica	menos común	no aplica	más común	más común	no aplica	más común	menos común	no aplica	más común (terreno llano)	más común (terreno en pendiente)

(Food and agriculture organization of the United Nations [FAO], s.f.).

7.6.7. Ventajas y desventajas en tipos de reservorios

Cuadro 2: “Ventajas y deventajas en los tres tipos de reservorios”

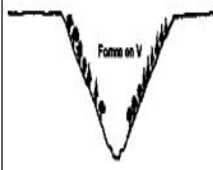


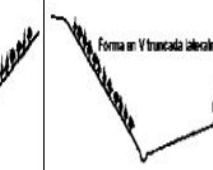
Tipo	Ventajas	Desventajas
Reservorio excavado o reservorio de estanque	No necesita dique, a no ser para evitar inundaciones. No hace falta una masa de agua para el abastecimiento. Se requiere poca preparación para la construcción	El nivel del agua puede variar enormemente de una estación a otra. Se requiere mayor trabajo de excavación. No es drenable; abastecimiento de agua regulado, si no es mediante bombeo; el bombeo puede resultar caro. Baja productividad natural de agua subterránea. Dificultad de gestión del reservorio.
Reservorio dique	Diseño sencillo cuando se trata de pequeñas corrientes. Costos de construcción relativamente bajos a no ser que que haya problemas para evitar inundaciones. La productividad natural puede ser elevada según la calidad del abastecimiento de agua.	El dique debe anclarse firmemente. Se requiere un aliviadero con su canal de desagüe. No hay regulación del abastecimiento de agua de entrada (cantidad, calidad y otros). No se puede vaciar completamente a no ser que se seque el abastecimiento de agua de entrada. Dificultades de explotación del reservorio, ya que el abastecimiento de agua es variable. Forma y dimensiones irregulares.
Reservorio de derivación	Facilidad de control del abastecimiento de agua. Se puede conseguir una explotación satisfactoria del reservorio. Los costos de construcción son más elevados en terreno llano. Es posible conseguir formas y dimensiones regulares.	Los costos de construcción son más elevados que los reservorio de dique. Productividad natural más baja, especialmente si se construye en suelo poco fértil. Para la construcción se requiere levantamientos topográficos. Además no se aprovecha el agua de escurrimiento superficial
<p>Si el reservorio de presa se construye con un canal de derivación, se puede corregir algunas de las deventajas (abastecimiento de agua regulado, no se necesita aliviadero, vaciado completo, mayor facilidad de explotación), pero los costos de construcción puede aumentar considerablemente si hay que planificar la derivación de un gran volumen de agua. Las ventajas relativas variarán de acuerdo con la disposición de los reservorios, que puede ser en serie (en cuyo caso la explotación de los reservorios es más difícil) o en paralelo (tanto el abastecimiento de agua como el vaciado son independientes, lo que simplifica la explotación).</p>		

(Food and agriculture organization of the United Nations [FAO], s.f.).

7.6.8. Clasificación tipo de reservorio según pendientes

- Criterio según pendientes transversales

Cuadro 3: “Pendientes transversales”

Tipo de reservorio	Forma del perfil transversal del valle			
				
Reservorio sumergido	-	Cuando hay aguas profundas (manantial o infiltración) o de escorrentía		
Reservorio de presa o dique	Si el perfil longitudinal del valle tiene una pendiente de más del 5%	-	-	Si el perfil longitudinal tiene una pendiente de menos del 5% y el perfil transversal tiene una pendiente del 5 al 10%
Reservorio de derivación; de desmonte y relleno para almacenamiento	-	Quando el perfil transversal tiene un pendiente de menos del 5%	Quando el perfil transversal tiene una pendiente del 0.5-5%	
Reservorio de derivación; para uso agrícola	-	-	Quando el perfil transversal tiene una pendiente de menos del 0.5%	

(Food and agriculture organization of the United Nations [FAO], s.f.).

- Criterio según pendiente longitudinal

Cuadro 4: “Pendientes longitudinales”

Perfil Longitudinal (cauce descendente)	Perfil transversal del valle	Posible tipo de reservorio
Pendiente superior al 5%	Pendiente superior al 5%	Ninguno
	Pendiente de menos del 5%	Reservorio de derivación
Reservorio sumergido		
Pendiente de menos del 5%	Pendiente del 5-10%	Reservorio de presa
		Reservorio sumergido
	Pendiente menos del 5%	Reservorio de derivación
		Reservorio tipo estanque
		Reservorio sumergido

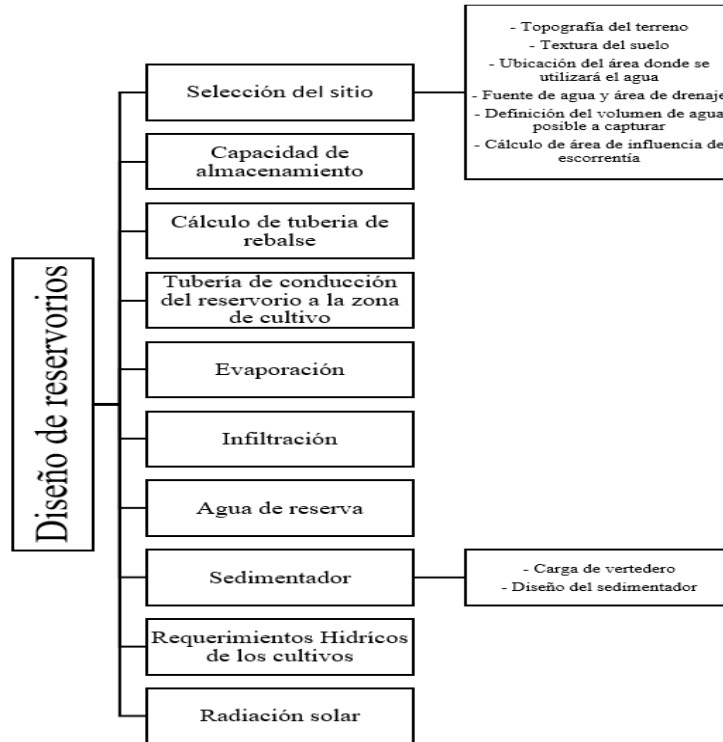
(Food and agriculture organization of the United Nations [FAO], s.f.).

7.6.9. Elementos a considerar para la construcción de un reservorio

El diseño y construcción adecuado de los reservorios son indispensables para asegurar el éxito de estas obras, además de hacerlos más fáciles de cuidar, más seguros y económicos (MAG, 2010).

Los elementos básicos a ser tomados en cuenta a la hora de construir un reservorio son:

Figura 33: “Elementos necesarios a considerar para construir un reservorio”



(MAG, 2010).

Selección del sitio

La selección del sitio adecuado es clave para el éxito del reservorio. Debe tomarse en cuenta la topografía del terreno, esto dependerá de la magnitud del proyecto, la textura del suelo, el destino donde se usará el agua y la disponibilidad de la fuente de agua; estos factores se detallan a continuación (MAG, 2010).

- Geodesia

Según Elia Quirós Rosado, 2014, es una ciencia cuyo objetivo es el estudio y determinación de la forma y dimensiones de la Tierra, su campo gravitacional y sus variaciones físico-temporales. Estudia tanto la forma como las dimensiones de la tierra, considerándola como un geode de revolución (Casanova, 2002).

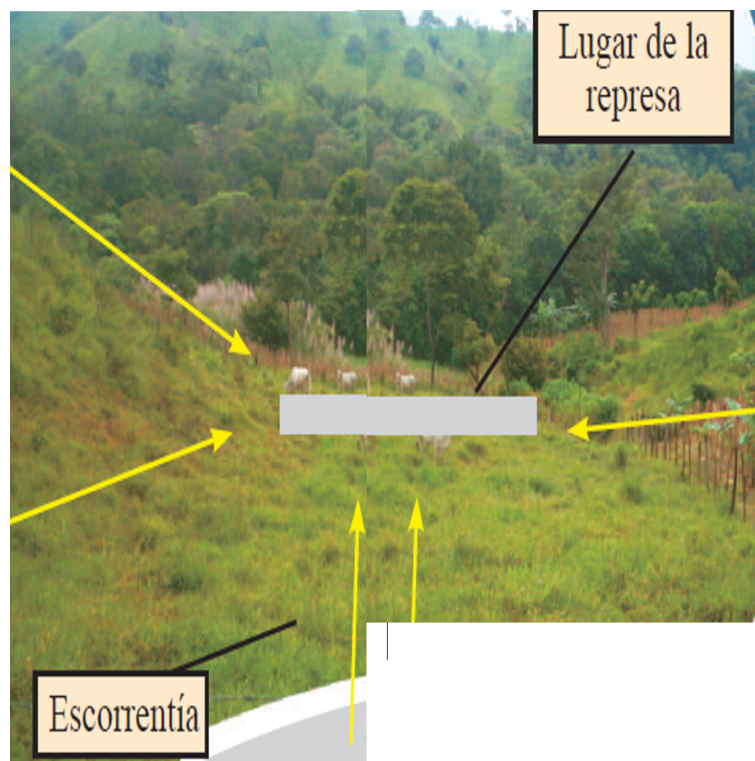
- Topografía

Parte de la geodesia que estudia y representa porciones menores de la tierra en donde la superficie puede ser considerada plana. Se encarga de realizar mediciones de ángulos y distancias en extensiones de terreno de manera tan reducida que desprecia el efecto de la curvatura terrestre para que la información sea posteriormente procesada y se obtengan coordenadas en términos del Este (x), Norte (y) y Elevación (z) o puntos; direcciones, elevaciones, áreas o volúmenes, en forma gráfica y numérica según sean los requisitos del trabajo de obra civil; que en este caso, es una carretera (Jauregui, 2003).

La ubicación ideal para un reservorio, es una depresión natural ancha y plana con una garganta estrecha en el extremo inferior, que permita embalsar el agua con una represa transversal. El sitio más económico es el que permite represar la mayor cantidad de agua, con profundidad suficiente, usando la represa de menor tamaño y con el mínimo movimiento de tierra (MAG. 2010).

Para estanques excavados se escogen áreas planas, tomando en cuenta que por cada metro cúbico de agua almacenada, es preciso excavar y retirar tierra. Una alternativa para aumentar la capacidad de almacenamiento sin incrementar la excavación, es usar la tierra removida para construir diques laterales, debidamente compactados, que permitan almacenar agua por encima del nivel natural del terreno. También, es importante considerar la presencia de piedras, especialmente para el caso de la construcción de un reservorio tipo dique-represa con gaviones (MAG. 2010).

Figura 34: “Depresión natural que podría servir como un reservorio”



(CEMEDE, 2009).

Textura del suelo

Es preferible construir los reservorios en suelos de texturas arcillosas, que al compactarse adquieren cierta impermeabilidad y estabilidad; sin embargo, si se emplean geomembranas de PVC o plástico, pueden construirse en suelos de texturas francas y arenosas. Los afloramientos de rocas, grava o arena, pueden causar problemas por la excesiva infiltración y por el debilitamiento de las estructuras, por lo que deben evitarse en lo posible, o bien, recubrirse con materiales impermeables y resistentes antes de construir el embalse (FOA, sf.).

Se considera que un suelo presenta buena textura cuando, la proporción de los elementos que lo constituyen, le brindan a la planta la posibilidad de ser un soporte. Esta propiedad del suelo está estrechamente relacionada con el área superficial de las partículas o la distribución de las partículas minerales según su tamaño. Al conocer la textura de un suelo se puede saber muchas propiedades hídricas de los mismos, además la textura es una propiedad muy estable, ya que no varía a corto o mediano plazo, debido a las lluvias intensas, cambios en vegetación, etc, como lo hacen la estructura del suelo y la cantidad de materia orgánica (Rubio, 2010).

Algunas propiedades que se atribuye a la textura para la mejor infiltración están relacionadas con el tamaño de las partículas, entre mayor sea la misma, más rápido es la infiltración y menor es el agua retenida por los suelos. Los suelos bien estructurados tienen mayor velocidad de infiltración que los compactados, además el mayor contenido de materia orgánica. Un espesor mayor aumenta el agua retenida por el suelo (Rubio, 2010).

Existen cuatro tipos de texturas en suelos a las cuales se les puede atribuir un determinado comportamiento hídrico, estos se describen a continuación:

- Suelos arenosos: son suelos donde predominan las arenas o aquellas partículas minerales cuyo tamaño se encuentre en el rango de 0.02 a 0.2 mm. Son suelos muy permeables pues en ellos predominan los macroporos. Esto se debe al gran tamaño de las partículas, lo cual genera espacios grandes entre estas en comparación con otras partículas más pequeñas, genera una baja capacidad de retención de agua, aunque no presentan problemas de aireación (Rubio, 2010).
- Suelos limosos: son suelos donde predominan los limos, o partículas que oscilan entre 0.02 y 0.002 mm. En ellos la permeabilidad varía según sea su estructura. Puede ser muy lenta cuando la estructura es masiva (sin formar agregados) o bastante rápida cuando la estructura es grumosa. Tiene la capacidad de ser fácilmente compactables pero dificultan mucho la circulación del aire y del agua. Presentan una buena capacidad de retención de agua para las plantas (Rubio, 2010).

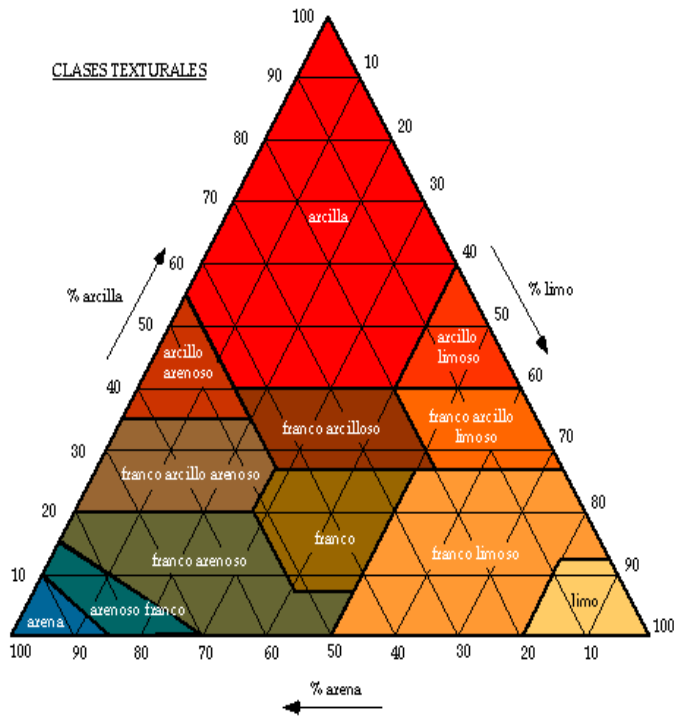
- Suelos arcillosos: es un tipo de textura donde predominan las arcillas o partículas menores a 0.002 mm. Tiene la particularidad de ser muy impermeables y mal aireados, ya que dentro de su estructura predominan los microporos. Esto se debe a que el espacio que hay dentro de cada partícula es demasiado pequeño, lo que genera pocos vacíos. Son suelos difíciles de trabajar, ya que se vuelven muy plásticos cuando están húmedos, a su vez son muy compactos y duros cuando están muy secos. Tiene un alto contenido de materia orgánica. Son suelos que retienen mayor cantidad de agua y aunque una gran parte de ella es retenida con mucha fuerza y no está disponible para las plantas (Rubio, 2010).
- Suelos francos: son suelos donde no predomina ninguna de las tres partículas anteriormente mencionadas, ya que presenta una mezcla de arenas, limos y arcillas en proporciones equilibradas. Estos suelos son los mejores para el crecimiento de la mayoría de las plantas. Algunas de las ventajas, son ligeros, aireados y permeables (no tanto con las arenas), presentan un capacidad media-alta de retención de agua (no tanto como las arcillas) (Rubio, 2010).

Cuadro 5: “Rango de tamaño según tipo de suelo”

INTERNACIONAL							
piedra	grava	arena gruesa	Arena fina	limo	arcilla		
	20	2	0,2	0,02	0,002	mm	
USDA							
piedra	grava	arenas				limo	arcilla
20		muy gruesa	gruesa	media	fina	muy fina	0,002
		2	1	0,5	0,25	0,1	0,05
							mm

(Franco, 1989).

Figura 35: “Clasificación de los tipos de suelo”



(Franco, 1989).

Figura 36: “Inclinación de los taludes según tipo de suelo”

Material	Talud Z (inclinación)	Grados
Roca Casi vertical	vertical	90
Roca fracturada o alterada	($\frac{1}{4}$: 1)	76,96
Arcilla muy compacta o tierra con recubrimiento de concreto	($\frac{1}{2}$: 1) a (1:1)	63,43 a 45
Tierra con recubrimiento de piedra o tierra para canales grandes	(1:1)	45
Arcilla firme o tierra para canales pequeños	(1 $\frac{1}{2}$: 1)	33,69
Tierra arenosa o suelta	(2:1)	26,56
Arcilla porosa	(3:1)	18,43

(Franco, 1989).

Ubicación

Cabe mencionar que la ubicación del reservorio depende de muchos criterios como: tamaño, fuente de abastecimiento, uso del reservorio, topografía, entre otros (MAG, 2010).

Debe procurarse la ubicación más ventajosa, de acuerdo con el uso del agua, para evitar la necesidad de bombeo. Si el reservorio es para abastecer abrevaderos o agricultura, es ideal utilizar la gravedad para el transporte del agua, por lo que conviene ubicarlo en una zona elevada, pero con suficiente área de captación para llenarlo en invierno. En áreas extensas y en áreas planas es inevitable el uso de bombas (MAG, 2010).

Considerando la topografía del terreno y la ubicación de la fuente de agua, en la mayoría de los proyectos de reservorios de almacenamiento son por gravedad. El reservorio se debe ubicar lo más cerca posible de la fuente principal (MAG, 2010).

Fuente de agua

En reservorios de derivación se debe de tomar en cuenta la fuente principal de la obtención de agua. Para reservorios de gran extensión se debe tomar en cuenta la precipitación del sitio (MAG, 2010).

Para reservorios excavados se debe de tomar en cuenta el área de drenaje, también llamado superficial. Es preferible que ésta provenga de pastizales cercados, con buena cobertura, para reducir el arrastre de sedimentos. En caso que la cantidad de sedimentos arrastrados sea alta, puede construirse una caja de sedimentación a la entrada del embalse. Otra manera de contener los sedimentos, es realizando prácticas de control de erosión en el terreno, como es el establecimiento de barreras de contorno, montículos en contorno o medias lunas, barreras vivas, entre otros (MAG, 2010).

Definición del volumen

La posibilidad de capturar agua de lluvia combina muchas variables. Destacan la pendiente del terreno, que idealmente no debe ser menor de 3 o 5 por ciento, la precipitación acumulada anual de caída en el sitio, el área de captación de aguas y la posibilidad de almacenamiento. Preliminarmente, se puede determinar el área de captación requerido por una actividad dada mediante la ecuación:

- Área de captación

$$A = 0.03 * \frac{U}{P_{ma}} \quad (1)$$

Donde:

A= área de captación en metros cuadrados (m^2)

0.03= constante

U= requerimiento de agua anual en (L)

P_{ma} = precipitación anual del lugar (mm)

Esta estimación preliminar permite conocer el posible volumen de almacenamiento para tiempos cortos de uno a tres meses (Frasier y Myers 1983).

Para conocer la precipitación media mensual y la precipitación media anual acumulada, es necesario consultar las bases de datos del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) o cualquier otro ente afín (MAG, 2010).

No toda la lluvia que cae en un área determinada puede ser capturada y almacenada, debido a pérdidas por infiltración, según el tipo de suelo y la evaporación. Teniendo en consideración este fenómeno, en el Cuadro 6 se presentan valores de eficiencia del escurrimiento del agua en distintas coberturas de suelo (MAG, 2010).

Cuadro 6: “Eficiencia de escurrimiento estimado en superficies”

	Eficiencia de escurrimiento estimado
Eficiencia de escurrimiento estimado	Tipo de superficie
90%	Para superficies lisas, impermeables como techos en metal, en teja asfáltica, de concreto, entre otros.
80%	Para superficies en grava o pavimentadas.
60%	Para suelos tratados.
30%	Suelo en su estado natural.

(Frasier y Myers 1983).

Entonces, el volumen de agua posible por utilizar está dado por:

▪ Volumen de captación

$$Vol = E * P_{ma} * A \quad (2)$$

Donde:

Vol= volumen de captación (m^3)

E= eficiencia de escurrimiento (Cuadro No. 6)

P_{ma} = precipitación anual del lugar (mm)

A= area de captación en metros cuadrados (m^2)

Fuente: (Frasier y Myers 1983).

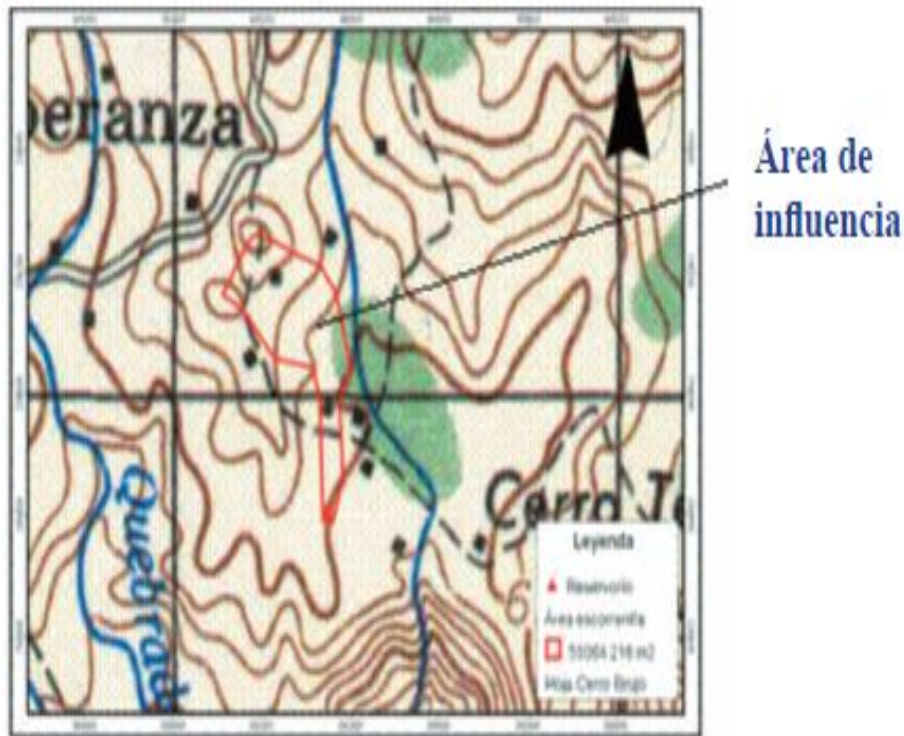
Cálculo del área de influencia de escorrentía

El área que se requiere para lograr llenar el reservorio o área de influencia debe contar con al menos 3 o 5% de pendiente para que sea posible el escurrimiento del agua; esta consiste en el área en la cual toda el agua de lluvia tiene un punto común de salida y que será aprovechada para llenar el reservorio (MAG, 2010).

En muchos de los casos, esta área puede ser identificada en campo, pero si la extensión o la cobertura no lo permiten, puede utilizarse el método del parte aguas para lograr identificarla (MAG,2010).

El cálculo del área de influencia se determina marcando el punto central donde se va a realizar el reservorio, luego, este se ubica en la hoja cartográfica correspondiente, y se traza el área al chequear las curvas de nivel de manera manual, de modo que se dibuja la minicuenca de escorrentía. Para estimar el área con precisión, se puede utilizar un planímetro o ser asistido con programas de dibujo o sistemas de información geográfica como QGIS o ArcGIS (MAG, 2010).

Figura 37: “Ejemplo área de influencia para captación de agua por escorrentía”



(MAG, 2010).

Para áreas de captación mayores a 10 ha^2 y con varios usos del suelo, se recomienda utilizar el método racional para estimar la cantidad de agua que puede llegarse a aprovechar.

Método racional

Para áreas de captación mayores a 10 ha^2 y con varios usos del suelo, se recomienda utilizar el método racional para estimar el caudal o la cantidad de agua que puede llegarse aprovechar (CEMEDE, 2009).

Se define como área de drenaje, el área en la cual toda el agua de lluvia tiene un punto común de salida, esta agua es la que abastece el estanque, por lo tanto, el área de drenaje debe ser de tamaño suficiente para abastecer el volumen necesario durante el período de uso. Para calcular el área de captación requerida, debe determinarse el escurrimiento esperado durante la época lluviosa, por lo que se emplea la fórmula racional:

- Caudal de diseño

$$Q = \frac{CiA}{3.6} \quad (3)$$

Donde:

Q: caudal de diseño (m^3/s)

C: coeficiente de escorrentía

I: intensidad de lluvia (mm/hora), con una duración equivalente al tiempo

A: área de aporte tributario (km^2)

Fuente: (Villasmil, 2016).

- Tiempo mínimo de concentración (T_c):

Es considerado como el tiempo requerido para que el agua llegue desde el punto más distante del área drenada, hasta el punto en consideración (Villasmil, 2016).

El tiempo de concentración del área tributaria de la zona afectada puede estimarse mediante parámetros morfométricos de las cuencas a las que pertenece o con base a aspectos hidráulicos inherentes a las corrientes. Este también puede determinarse por la ecuación de Kirpich:

$$t_c = \frac{3 * L^{1.15}}{154 * H^{0.38}} \quad (4)$$

Donde:

t_c : tiempo de concentración (min)

L: es la longitud del cauce hasta la cabecera de la cuenca tributaria (m)

H: desnivel total del cauce (m)

Fuente: (INSIVUMEH, 1988).

- Período de retorno (Tr):

Se obtiene a partir del tipo de obra hidráulica a utilizar. Se sabe por lo mencionado anteriormente, que un reservorio tiene el mismo fin que una presa, almacenar agua. No existe información de un período de retorno de diseño para reservorios, sin embargo si para presas (Ramírez, 2010).

Cuadro 7: “Período de retorno para presas o reservorios”

Presa					
De agua para abastecimiento a poblaciones, riego, energía, almacenamiento etc.					
Categoría	Características de la presa		Potencial de daños		Tr (años)
	Almacenamiento (mm ³)	Altura (m)	Pérdida de vidas	Daños materiales	De Diseño
Pequeña	Menor de 1.5	Menor de 15	Ninguna	Menor que el costo de la presa	Tr<500
			Moderada	Del orden del costo de la presa	Tr=1,000
			Considerable	Mayor que el costo de la presa	Basa en estudios de probabilidad
Mediana	Entre 1.5 y 60	Entre 12 y 30	Ninguna	Dentro de la capacidad financiera	1,000<Tr<10,000
			Moderada	Ligeramente mayor que la capacidad financiera	Tr=10,000
			Considerable	Mayor que la capacidad financiera	Tr>10,000
Mayor no se tolera falla	Mayor de 60	Mayor a 18	Considerable	Excesivos o como norma política establecida	Máxima posible basada en análisis Hidrometeorológicos. Análisis de maximización de tormentas locales.

(Ramírez, 2010).

- Intensidad de diseño (Id):

Depende del tiempo de concentración de la red hídrica y del tiempo de retorno implementando la curva de precipitación para la región que pertenece el proyecto (Villasmil, 2016).

Entre los estudios para el análisis del régimen de lluvias de un país, se encuentra el estudio de intensidades de lluvia para el diseño hidráulico, de obras hidráulicas, para la evacuación de la escorrentía generada por la precipitación en tanto áreas urbanas como rurales. En Guatemala, las curvas de precipitación e intensidad de diseño se encuentran deducidas para un número reducido de estaciones de medición para épocas distintas y documentos de registro dispersos sin contar, a la fecha, con un panorama espacial de dichas curvas de precipitación a nivel nacional. La intensidad de lluvia de

acuerdo con un periodo de retorno puede expresarse por:

$$I_{Tr}(t) = \frac{A}{(B + t)^n} \quad (5)$$

Donde:

$I_{Tr}(t)$: es a función de intensidad de lluvia en (mm/h), asociada al periodo de retorno Tr .

t : es la duración de la lluvia de diseño en (min)

A, B, n : son parámetros de ajuste de la zona y el tiempo de retorno de análisis.

Fuente: (INSIVUMEH, 1988).

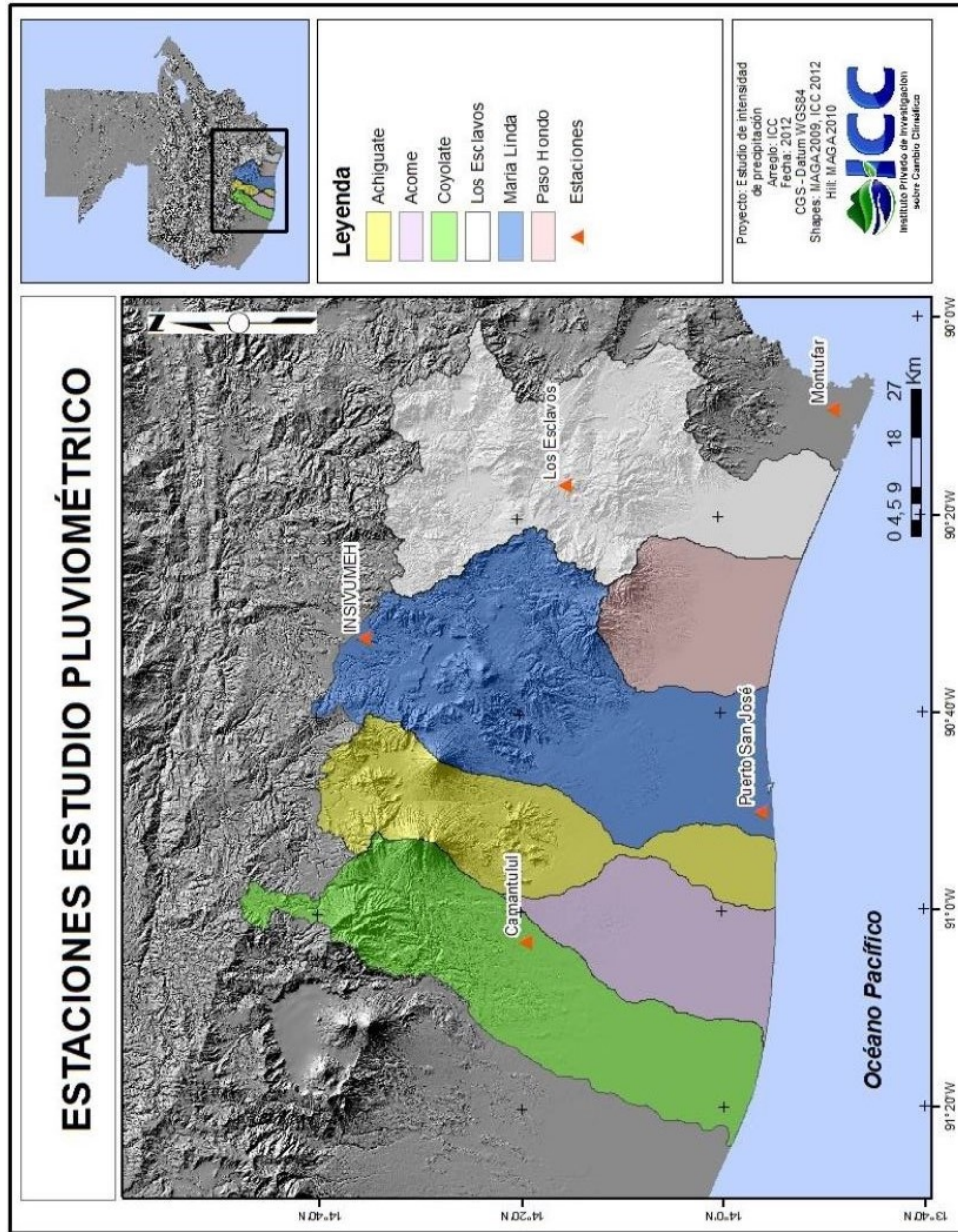
Para la estación INSIVUMEH ubicada en Guatemala, los parámetros de ajuste para el período de retorno Tr y un coeficiente de determinación R^2 se determinan por el siguiente cuadro:

Cuadro 8: “Coeficiente de ajuste de intensidad de lluvia para la estación INSIVUMEH”

Coeficientes	Periodo de retorno Tr (años)							
	2	5	10	20	25	30	50	100
A	1970	7997	1345	720	820	815	900	890
B	15	30	9	2	2	2	2	2
n	0.958	1.161	0.791	0.637	0.656	0.65	0.66	0.649
R^2	0.989	0.991	0.982	0.981	0.973	0.973	0.981	0.981

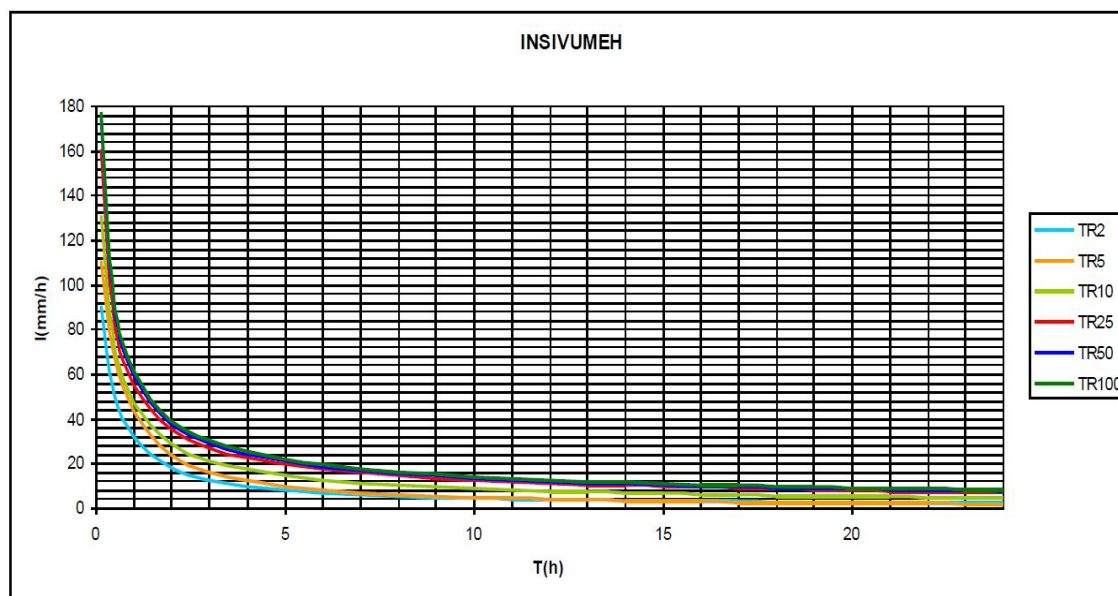
(ICC, 2012).

Figura 38: “Zona de estudio de las distintas estaciones meteorológicas”



(ICC, 2012).

Figura 39: “Curvas IDF generadas para períodos de retorno en años por el INSIVUMEH”



(ICC, 2012).

■ Coefficiente de escorrentía (c):

La escorrentía depende de factores inherentes a la microcuenca a la que pertenezca el tramo carretero, tales como el tipo de suelo, pendiente del terreno y tipo de cobertura vegetal en el área de estudio; sus valores típicos se expresan mediante el Cuadro 7:

Cuadro 9: “Coefficiente de escorrentía para una cobertura vegetal ligera”

Cobertura vegetal	Tipo de suelo	Pendiente del terreno				
		Pronunciada >50 %	Alta 50 % -20 %	Medios 20 % -5 %	Suave 5 % -1 %	Despreciable 1 % -0 %
Vegetación ligera	Impermeable	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45
	Semipermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Permeable	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15

(Villasmil, 2016).

Además, debe conocerse el área de influencia de la carretera y la microcuenca para el diseño de los drenajes, así como los coeficientes de escorrentía del Cuadro 6, utilizando la información hidrológica de la zona (Villasmil, 2016).

El coeficiente de escorrentía C, se estima con base a las características hidrogeológicas de las cuencas y en aplicación a la escorrentía como consecuencia de las tormentas de lluvias, tomando en cuenta parámetros tales como la cobertura y tipo de suelo, además de las pendientes del terreno; por lo que, según el uso del suelo, la pendiente del terreno y su capacidad de infiltración, se obtiene un coeficiente de escorrentía mostrado en el Cuadro 10:

Cuadro 10: “Coeficiente de escorrentía según capacidad de infiltración del suelo”

Uso del suelo	Pendiente del terreno	Capacidad de infiltración del suelo		
		Alto (suelos arenosos)	Medio (suelos francos)	Bajo (suelos arcillosos)
Tierra agrícola	<5 %	0.30	0.50	0.60
	5-10 %	0.40	0.60	0.70
	10-30 %	0.50	0.70	0.80
Potreros	<5 %	0.10	0.30	0.40
	5-10 %	0.15	0.35	0.55
	10-30 %	0.20	0.40	0.60
Bosques	<5 %	0.10	0.30	0.40
	5-10 %	0.25	0.35	0.50
	10-30 %	0.30	0.50	0.60

(INSIVUMEH, 1988).

Una vez conocido el tiempo de concentración. Este valor es utilizado para estimar la intensidad de lluvia para el periodo de retorno deseado, considerando un tiempo de análisis obtenido del tiempo de concentración inherente de la cuenca y compararlo con valores estimados de tiempo de las isóneas de 5, 20 y 60 minutos, para así, trazar una curva de precipitación en escala semi logarítmica en el eje de las abscisas o tiempo en minutos para la ecuación de la intensidad de lluvia. Con esto, se obtiene una intensidad absoluta para poder encontrar el caudal de diseño para las obras de drenaje de la carretera en análisis (INSIVUMEH, 1988).

7.6.10. Capacidad de almacenamiento

Para determinar el volumen de agua requerido, debe tenerse en cuenta el uso que se le dará a esta, así como las pérdidas por evaporación e infiltración y el agua de reserva. Si el estanque es de forma geométrica no hay ninguna dificultad para calcular el volumen, ya que se usan los cálculos de geometría general, si es de forma irregular, se debe hacer el levantamiento topográfico (con teodolito o estación total) para posteriormente estimar el volumen en m³ (MAG, 2010).

Evaporación

La evaporación es el cambio de estado del agua de líquido a vapor. La cantidad de agua evaporada depende de la radiación solar, temperatura, viento y área de espejo de agua.

Se recomiendan embalses profundos y de menores dimensiones para reducir la evaporación, así como el empleo de coberturas, para aminorar el efecto de los factores ambientales. Para calcular el volumen evaporado se utiliza la siguiente ecuación:

Para reservorios con dimensiones regulares (derivación)

■ Volumen evaporado

$$V_{evaporado} = 10 * S * E_v * C \quad (6)$$

Donde:

$V_{evaporado}$ = Volumen de agua evaporada (m^3 /mes)

10 = Constante

S = Área de espejo de agua (ha)

E_v = Evaporación promedia (mm/mes)

C = número de meses correspondientes al período crítico contados desde que el embalse está lleno hasta que esté vacío o meses de estiaje o secos (meses)

Fuente: (Frasier y Myers 1983).

Para reservorios con dimensiones irregulares (Presa o dique)

■ Volumen evaporado

$$V_{evaporado} = 10 * A * E_v * C \quad (7)$$

Donde:

$V_{evaporado}$ = Volumen de agua evaporada (m^3)

10 = Constante

A = superficie media del embalse (ha)

E_v = Evaporación promedia (mm/mes)

C = número de meses correspondientes al período crítico contados desde que el embalse está lleno hasta que esté vacío o meses de estiaje o secos (meses)

Fuente: (Córdova, 2015).

- Área irregular

$$A = \frac{(A1 + A2)}{2} \quad (8)$$

Donde:

A= Superficie media del embalse (ha)

A1 = Área correspondiente al embalse lleno (ha)

A2 = Área correspondiente al embalse vacío (ha)

Fuente: (Córdova, 2015).

Infiltración

Según Carmen Córdova (2015) la infiltración dependerá de la textura del suelo, para ser más conservadores se deben realizar ensayos de suelos in situ. Es el proceso en el cual el agua almacenada atraviesa el fondo y paredes del embalse y se profundiza en el suelo, alimentando las aguas subterráneas. Es decir, es el flujo de agua desde el suelo hacia las zonas no saturada y saturada. Los factores que afectan la infiltración son:

- Tipo de cubierta vegetal.
- Características hidráulicas del suelo.
- Estado de humedad del suelo.
- Intensidad de la lluvia o cantidad de agua de riego.
- Calidad del agua.
- Formación de costras superficiales.
- Trabajos agrícolas o uso del agua.

Las pérdidas por infiltración varían según la textura del suelo y las prácticas de construcción. Sin embargo, en un estanque bien construido, éstas deben ser insignificantes en suelos pesados,

Una alternativa para reducir la infiltración al mínimo, es el empleo de geomembranas, plásticos, o concreto, aunque su uso debe responder, tanto a criterios técnicos como económicos.

Aunque existen fórmulas, métodos matemáticos y ensayos in situ para el cálculo de la infiltración a través de la presa, fondo y contorno del reservorio, la información necesaria no siempre está disponible. Se puede tomar como un porcentaje del volumen útil del embalse o reservorio como la siguiente fórmula:

- Volumen de infiltración

$$V_{infiltracion} = P * (\%A_{sup}) \tag{9}$$

Donde:

$V_{infiltracion}$ = Volumen de infiltración (m^3 /día)

P = Pérdidas de agua según el suelo (mm/día)

A_{sup} = Área superficial reservorio vacio (m^2)

Fuente: (FAO, s.f.).

Cuadro 11: “Valores de infiltración diario”

Suelo de tipo natural	Pérdidas (mm/día)
Arena	(25-250)
Legamo arenoso	(13-76)
Legamo	(8-20)
Legamo arcilloso	(2.50-15)
Arcilla Legamosa	(0.25-5)
Arcilla	(1.25-10)

(Córdova, 2015).

7.6.11. Elementos complementarios de un reservorio

Rejilla

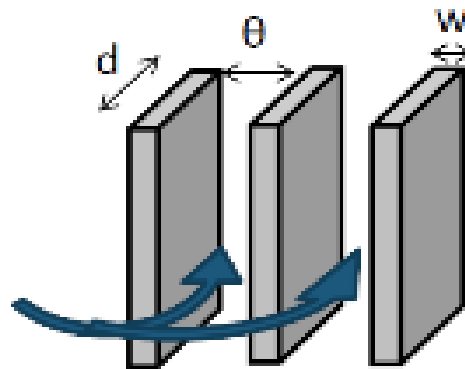
- **Objetivos:** Retener los sólidos de gran tamaño que pueda ocasionar problemas en la operación de las unidades de tratamiento posteriores.
- **Origen:** Desechos sólidos
- **Principio de tratamiento:** Separación por medio de barrera.
- **Nivel:** Tratamiento preliminar

Cuadro 12: “Consideraciones de diseño para canal de reja de limpieza manual”

Parámetro	Criterio
Caudal	Mínimo, promedio y máximo
Velocidad en el canal	0.3-0.6 (m/s)
Velocidad entre barras	$V_{max} \leq 1.2$ m/s, V_{prom} : 0.6-1 (m/s)
Pérdida de cabeza	150mm
Inclinación en referencia al eje vertical	30°-45°

(Sperling, 2007).

Figura 40: “Tipo de reja”



(Sperling, 2007).

Figura 41: “Tipo de reja”

Tipo	Ancho de barra (w)	Profundidad d de barra (d)	Separación entre barras (θ)
Gruesa	10 - 13 mm	38 - 64 mm	40 - 100 mm
Mediana	8 - 10 mm	38 - 51 mm	20 - 40 mm
Fina	6 - 100 mm	38 mm	10 - 20 mm

(Sperling, 2007).

Cuadro 13: "Ecuaciones utilizadas en el diseño"

Parámetro	Ecuación	Variables
Velocidad en canal (m/s)	$V_c = \frac{Q_{max}}{B * H}$	Qmax = caudal max (m ³ /s). B = ancho del canal (m). H = altura de agua en el canal (m)
Eficiencia (E)	$E = \frac{\theta}{\theta * w}$	Θ = espacio libre entre barras (m). w = ancho de barras (m)
Velocidad entre barras (m/s)	$V_b = \frac{V_c}{E}$	vc = velocidad de canal (m/s). e = eficiencia

(Sperling, 2007).

Desarenador

- Objetivos: Remover los sólidos inorgánicos de rápida sedimentación.
- Origen: Drenajes, canales, duchas de playas, etc.
- Principio de tratamiento: Sedimentación.
- Nivel: Tratamiento preliminar

Cuadro 14: "Principios de sedimentación"

Tipo de sedimentación	Descripción	Aplicación
Discreta	Baja concentración de sólidos. Sedimentación individual.	Arenas (gravedad 2.65)
Floculenta	Baja concentración de sólidos. Unión por coalescencia.	Lodos biológicos
Floculenta lastra	Adición de químicos (coagulantes y floculentas) para acelerar la sedimentación.	Lodos fisico-químicos
Obstaculizado	Concentración media de sólidos. Sedimentación en conjunto.	Lodos biológicos
Compresión	Alta concentración de sólidos.	Tratamiento de lodos

(Sperling, 2007).

Cuadro 15: "Consideraciones de diseño para desarenador"

Parámetro	Criterio	Descripción
Caudal	Mínimo, promedio y máximo	
TRH	60 s	Tiempo de retención hidráulica
Velocidad horizontal	0.25 - 0.4 m/s	
Velocidad de sedimentación para: - partículas de 0.21 mm. - partículas de 0.15mm	1 - 1.3 m/min. 0.6 - 0.69 m/min	
Pérdida de cabeza	30 - 40 % de la profundidad	
Longitud adicional por turbulencia	25 - 50 %	

(Sperling, 2007).

Cuadro 16: "Ecuaciones utilizadas en el diseño"

Parámetro	Ecuación	Variables
Velocidad en canal (m/s)	$B = \frac{Q_{max}}{V_h * H_{max}}$	B = ancho del desarenador (m). Hmax = altura de agua en el caudal máximo (m). Vh = velocidad horizontal (m/s)
Eficiencia (E)		Θ = espacio libre entre barras (m). w = ancho de barras (m)
Longitud (m)	$L = 22.5 * H_{max}$	L = longitud desarenador (m). Hmax = altura de agua a caudal máximo (m)

(Sperling, 2007).

Canal Parhsall

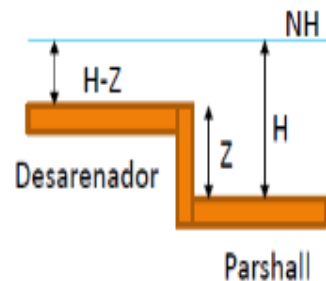
- Objetivos: Medir flujos en canales abiertos, ríos, desagües, etc.
- Nivel: Tratamiento preliminar

Cuadro 17: “Definición ancho de garganta (W)”

Ancho de Garganta W		Caudal Q (l/s)	
pulg	cm	Mínimo	Máximo
3"	7.6	0.85	53.8
6"	15.2	1.52	110.4
9"	22.9	2.55	251.9
1'	30.5	3.11	455.6
1½'	45.7	4.25	696.2
2'	61.0	11.89	936.7
3'	91.5	17.26	1426.3
4'	122.0	36.79	1921.5
5'	152.5	62.8	2422.0
6'	183.0	74.4	2929.0
7'	213.5	115.4	3440.0
8'	244.0	130.7	3950.0
10'	305.0	200.0	5660.0

(Inc. Metcalf and Eddy, 2003).

Cuadro 18: “Sección transversal desarenador y Parshal”



(Inc. Metcalf and Eddy, 2003).

Nota. Definición de la grada entre canal parshall y desarenador (z) para mantener la misma velocidad

- Caudal de diseño

$$H = \frac{Q^{0.667}}{2.2 * W} \quad (10)$$

Donde:

h: altura de agua (m)

W: ancho de garganta (m)

Q: caudal de diseño (m^3/s)

Fuente: (Inc. Metcalf and Eddy, 2003).

- Demostración de la altura del agua en el canal Parshall conservado un flujo constante

$$v_h = \frac{Q_{maximo}}{B * H_{max}} = \frac{Q_{minimo}}{B * H_{min}} \quad (11)$$

$$\frac{Q_{minimo}}{Q_{maximo}} = \frac{H_{min} - Z}{H_{max} - Z} \quad (12)$$

$$Z = \frac{Q_{minimo} * H_{max} - Q_{maximo} * H_{min}}{Q_{min} - Q_{maximo}} \quad (13)$$

Donde:

v_h : velocidad horizontal (m/s)

Q_{minimo} : caudal de mínimo de diseño (m^3/s)

Q_{maximo} : caudal de máximo de diseño (m^3/s)

H_{min} : altura de agua a caudal mínimo (m)

H_{max} : altura de agua a caudal máximo (m)

Z: altura del desarenador (m)

B: ancho del desarenador (m)

Fuente: (Inc. Metcalf and Eddy, 2003).

7.7. Sistema de información geográfica (QGIS)

Según Environmental Systems Research Institute [ESRI] (s.f.) es un marco para recopilar, gestionar y analizar datos. Enraizado en la ciencia de la geografía, GIS integra muchos tipos de datos. Analiza la ubicación espacial y organiza capas de información en visualizaciones, utilizando mapas y escenas en 3D. Con esta capacidad única, GIS revela conocimientos más profundos sobre los datos, como patrones, relaciones y situaciones, lo que ayuda a los usuarios a tomar decisiones más inteligentes.

7.7.1. Importancia

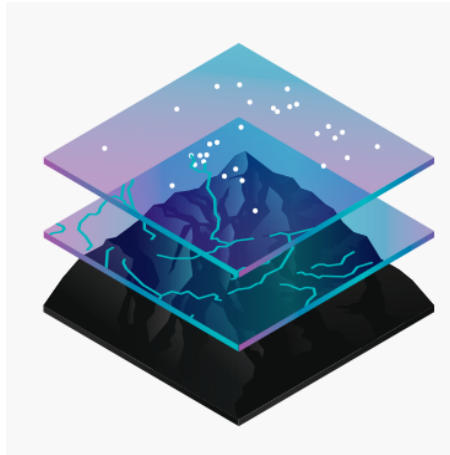
- Identifica problemas: Usa GIS para iluminar los problemas impulsados por la geografía.
- Gestionar y responder a eventos: GIS entrega la conciencia situacional en tiempo real.
- Establecer prioridades: GIS ayuda a establecer prioridades basadas en el análisis espacial.
- Cambio de monitor: Si una imagen vale más que mil palabras, un mapa dice más que mil imágenes.
- Realizar pronósticos: GIS puede realizar predicciones de impacto.
- Entender tendencias: GIS te ayuda a comprender mejor los datos que pueden perderse en una hoja de cálculo.

7.7.2. Como funciona

Mapas

Los mapas son el contenedor geográfico para las capas de datos y análisis con los que desea trabajar. Los mapas GIS se pueden compartir fácilmente e integrarse en las aplicaciones, y pueden acceder a ellos prácticamente todos, en cualquier lugar (ESRI, s.f.).

Figura 42: “Representación de mapas”

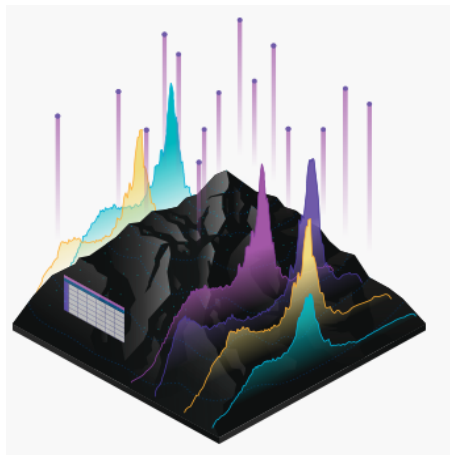


(ESRI, s.f.).

Datos

GIS integra muchos tipos diferentes de capas de datos utilizando la ubicación espacial. La mayoría de los datos tiene un componente geográfico. Los datos de GIS incluyen imágenes, características y mapas base vinculados a hojas de cálculo y tablas.

Figura 43: “Representación de datos”

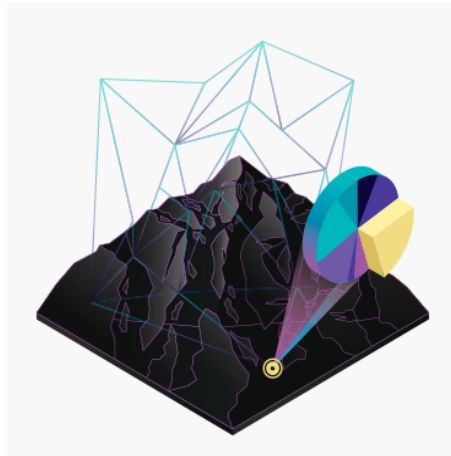


(ESRI, s.f.).

Análisis

El análisis espacial permite evaluar la idoneidad y la capacidad, estimar y predecir, interpretar y comprender, y mucho más, prestando nuevas perspectivas a su percepción y toma de decisiones.

Figura 44: “Representación de análisis”

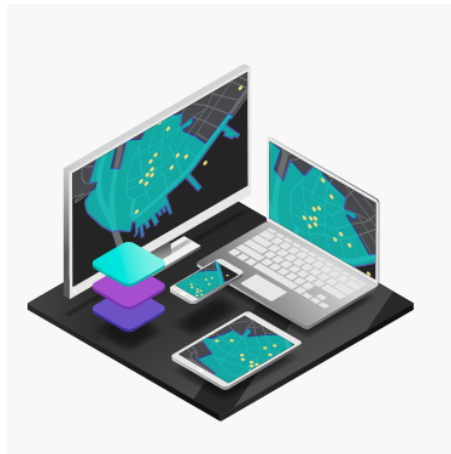


(ESRI, s.f.).

Aplicaciones

Las aplicaciones proporcionan experiencias de usuario enfocadas para hacer el trabajo y dar vida a GIS para todos. Las aplicaciones GIS funcionan prácticamente en todas partes: en teléfonos móviles, tabletas, en navegadores web y en computadoras de escritorio (ESRI, s.f.).

Figura 45: “Representación de aplicaciones”



(ESRI, s.f.).

7.8. InfraWorks

Es un software de la familia de AutoDesk que permite a los profesionales modelar, analizar y visualizar sus conceptos de diseño en un contexto real del entorno natural y de construcción, lo que mejora la toma de decisiones y los resultados de los proyectos (AutoDesk, 2020).

7.8.1. Función

Tecnología de visualización en formato 3D que le permite acelerar el trabajo de diseño preliminar y mejorar la colaboración en proyectos. Con Autodesk Infracore se pueden crear detalladas propuestas de diseño preliminar y construir modelos de infraestructuras en 3D de un modo más eficiente, con herramientas de simulación que se incorporan con mayor eficacia a los entornos existentes. Las nuevas funciones en nube le permiten compartir modelos con los miembros del equipo para mejorar la colaboración (ASIDEK Solutions, 2020).

7.9. AutoCad Civil3D

Es una solución de diseño y documentación para ingeniería civil que admite flujos de trabajo de BIM (Building Information Modeling). El software AutoCAD Civil 3D ayuda a los profesionales de las infraestructuras a conocer mejor el rendimiento de los proyectos, a mantener datos y procesos más coherentes, y a reaccionar con mayor rapidez ante los cambios (ASIDEK Solutions, 2020). Es un producto de Autodesk por que lo comparte muchas herramientas con AutoCAD 2D y 3D, herramienta usada por muchos ingenieros y topógrafos (Carrera, 2017).

7.9.1. Función

Sirve para el cálculo y diseño de infraestructura diversa, principalmente relacionada con el movimiento de tierras, topografía, embalses, reservorios y redes de tuberías (Carrera, 2017).

Las principales funciones y las mas usadas son:

- Importación de puntos: la importación de puntos se puede hacer desde un equipo topográfico o desde una computadora en formato .csv.
- Generación de superficies de terreno: las mismas que se pueden generar a partir de la importación de puntos del paso anterior o también a partir de líneas existentes y otras metodologías.
- Generación de reportes de volumen: se usa en movimiento de tierras haciendo una comparación de dos superficies, generalmente se compara la superficie inicial y la

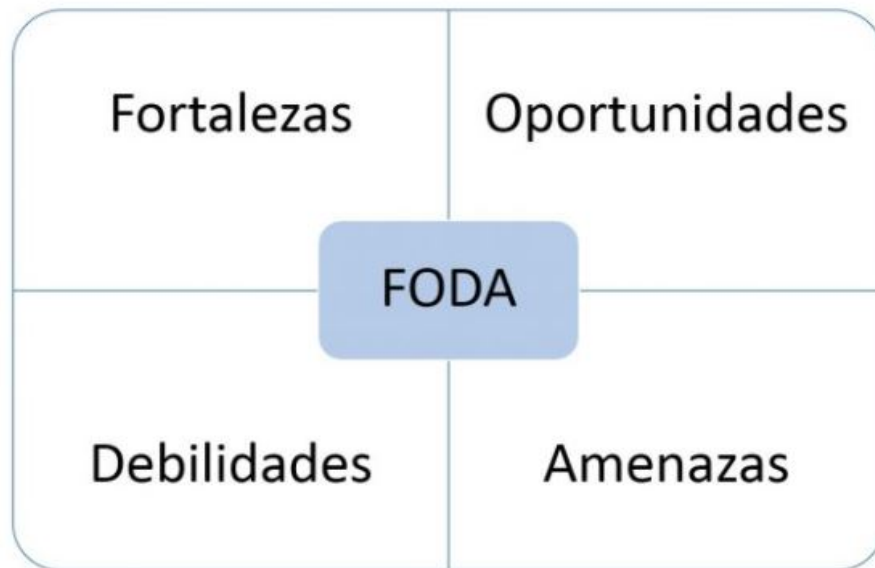
superficie final o alguna generada en un punto de control, ambas superficies estarán dentro de las mismas coordenadas, lo único que varía son las cotas o elevaciones.

- Generación de perfil longitudinal: el perfil longitudinal es generado para evaluar la topografía de una área específica, se pueden observar los valles o depresiones; los picos o crestas del terreno en evaluación.
- Generación de secciones transversales: las secciones transversales se generan en estructuras u obras lineales como carreteras, canales, tuberías, acueductos, etc. Sirven para evaluar la sección transversal de cada punto evaluado, según la topografía del terreno (nos dará una idea si es necesario hacer cortes / rellenos o si es una zona llana o simplemente ver el ancho de la sección).
- Edición de ensambles: son las plantillas de las secciones transversales típicas que se tiene que generar o editar para aplicar a una determinada longitud de obra lineal (Ej. la sección transversal de una carretera, incluyendo cunetas o canales para drenaje, pendientes, bombeo y otros).
- Generación de corredores u estructuras lineales: los corredores son las estructuras lineales que deseamos diseñar, para esto se hace uso de los ensambles creados en el punto anterior y el perfil longitudinal, luego de generar el corredor se creará el modelo en 3D de la estructura que se está diseñando.
- Diseño de plataformas, posas y diques de contención: estas estructuras se diseñan haciendo una de líneas características, líneas en 3D y otros métodos, y sirve para dimensionar la estructura y calcular los volúmenes de corte y relleno.
- Diseño de una red de tuberías: las herramientas de diseño de tuberías permiten diseñar una red de tuberías para una ciudad, las que pueden transportar cualquier líquido o fluido, incluyendo las conexiones entre sí y los cruces, nos permite también el cálculo de los materiales que deben utilizar.

7.10. Matriz FODA

El análisis FODA es una herramienta de planificación estratégica preliminar, diseñada para realizar un análisis interno (Fortalezas y Debilidades) y externo (Oportunidades y Amenazas) para un proyecto (Espinosa, 2013).

Figura 46: “Matriz FODA”



(Espinosa, 2013).

- Fortalezas: Son los factores positivos internos (Capacidades del reservorio).
- Oportunidades: Son los factores positivos externos que se deben aprovechar (Mejoras del reservorio).
- Debilidades: Son los factores negativos internos (Debilidades de características y procesos constructivo del reservorio).
- Amenazas: Son los riesgos que pueden desviarnos del resultado (Riesgos externos al reservorio).

7.11. Mantenimiento de infraestructura hidráulica

Según el Ministerio de Agricultura y Riego de Perú (2013) se describe lo siguiente:

7.11.1. Mantenimiento del sector sub sector hidráulico

Figura 47: “Mantenimiento”

Parámetro	Definición	Elementos a Tener en cuenta en el Mantenimiento del Sector/Sub Sector Hidráulico
MANTENIMIENTO	El mantenimiento debe entenderse como una actividad complementaria muy importante para el funcionamiento del sector/sub sector hidráulico y se refiere al conjunto de actividades y trabajos a realizar con el propósito de conservar en condiciones óptimas de servicio la bocatoma, canales principales, laterales y demás obras o estructuras que conforman el sistema de riego, actividades que es importante realizarlas oportunamente.	<p>El mantenimiento más conveniente deberá determinarse para cada tipo de trabajo, haciendo un análisis del grado de deterioro que pueden tener las estructuras. Para ello es importante tener en cuenta los siguientes elementos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Conocimiento de las obras existentes a través de un listado o inventario de los canales, obras de arte y caminos de vigilancia. ✓ Previsión del mantenimiento: definir acciones de previsión ✓ Determinación de las actividades de mantenimiento, magnitud de cada una de ellas y del deterioro y selección de procedimientos ✓ Programación de las actividades a través de un Plan de Mantenimiento y su periodo de ejecución.

(MINAGRI, 2013).

7.11.2. Tipo de mantenimiento

Figura 48: “Tipos de mantenimiento”

Tipos de Mantenimiento	Características
a. Normales	El mantenimiento normal es el preventivo, que se hace rutinariamente para prevenir daños y mantener la infraestructura en óptimas condiciones para su funcionamiento. Se hace generalmente en el transcurso de cada año.
b. Correctivas	El mantenimiento correctivo es el que se hace para que las obras afectadas recuperen su capacidad original, incluyendo modificaciones en la red de canales y estructuras para adecuarse a cambios importantes con respecto, por ejemplo, a la cédula de cultivos, problemas de drenaje, etc. La construcción de nuevas obras dentro del sistema debe entenderse como acciones de mejoramiento y no como mantenimiento.

(MINAGRI, 2013).

Figura 49: “Continuación tipos de mantenimiento”

c. Especiales	El mantenimiento especial es el que se hace para reparar daños en la infraestructura causados por calamidades o siniestros tales como terremotos e inundaciones. Se debe tener un fondo especial de reserva para estos casos imprevisibles. Los daños mayores dan lugar a planes de rehabilitación o de reconstrucción. El mantenimiento no sólo implica realizar acciones de prevención sino también se presentan casos en que existirá la necesidad de reparar y de reemplazar obras o equipos, también de instalar nuevos equipos o construir nuevas obras.
---------------	--

(MINAGRI, 2013).

7.11.3. Procedimiento para la planificación del mantenimiento

Figura 50: “Pasos a seguir el plan de mantenimiento”

Actividad	Descripción
1. Identificar actividades y tareas y priorizar	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Resumir cada una de las tareas de mantenimiento preventivo y correctivo que necesita cada parte del sistema: bocatoma, canales principales, sistema de compuertas, medidores, obras de arte, esto se hace a través de un recorrido en campo, observando con detenimiento cada una de las estructuras y los posibles daños que puedan sufrir si no se realiza el mantenimiento oportuno, así mismo se registrará aquellas en las que es necesario corregir parte o toda la estructura por daños ya presentados anteriormente.

(MINAGRI, 2013).

Figura 51: “Pasos a seguir el plan de mantenimiento”

2. Identificar quienes participan	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Determinar quiénes deben participar (N° jornales por usuario en función al área bajo riego que tiene cada uno), qué cantidad de tiempo demandará la actividad y cuándo debe realizarse (N° veces año y fechas).
3. Cronogramar las fechas de mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Para cada mes previsto, señalar el día en el cual deben cumplirse las distintas tareas.
4. Definir jornada de trabajo	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Programar una jornada de trabajo, para las fechas establecidas para el mantenimiento, poniéndose de acuerdo que no supere las 6 u 8 horas.
5. Definir los recursos necesarios	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Determinar los recursos necesarios: materiales, herramientas y mano de obra y quien dispondrá de dichos materiales.
6. Cuantificar jornales	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Cuantificar los jornales de mano de obra (que por obligación realizan los usuarios) para las actividades programadas de mantenimiento y considerar otras tareas o actividades que se realizarán mediante el pago de jornales con recursos de tarifa.
7. Redactar concisamente el Plan de Mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Determinar los recursos necesarios: materiales, herramientas y mano de obra y quien dispondrá de dichos materiales.

(MINAGRI, 2013).

8.1. Ley de aguas

Hoy en día, todas las iniciativas de ley para regular el uso del agua han fracasado en el Congreso. A pesar de esto, los expertos siguen haciendo nuevas propuestas. Todas deberán superar obstáculos, polémicas y debates sobre un bien estatal que cada uno quiere para sí (Escalón, 2016).

8.2. Acuerdo gubernativo ley de aguas 236-2006

8.2.1. Artículo 1: Objeto

Según el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales [MARN] (2006). El objeto del presente reglamento es establecer los criterios y requisitos que deben cumplirse para la descarga y reuso de aguas residuales, así como para la disposición de lodos. Lo anterior para que, a través del mejoramiento de las características de dichas aguas, se logre establecer un proceso continuo que permita:

- Proteger los cuerpos receptores de agua de los impactos provenientes de la actividad humana.
- Recuperar los cuerpos receptores de agua en proceso de eutrofización.
- Promover el desarrollo del recurso hídrico con visión de gestión integrada.

También es objeto del presente reglamento establecer los mecanismos de evaluación, control y seguimiento para que el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales promueva la conservación y mejoramiento del recurso hídrico (MARN, 2006).

8.2.2. Artículo 2: Aplicación

Según MARN (2006). El presente Reglamento debe aplicarse a (MARN, 2006):

- Los entes generadores de aguas residuales;
- Las personas que descarguen sus aguas residuales de tipo especial al alcantarillado público;
- Las personas que produzcan aguas residuales para reuso;
- Las personas que reúsen parcial o totalmente aguas residuales; y
- Las personas responsables del manejo, tratamiento y disposición final de lodos.

8.2.3. Artículo 3: Competencia

Compete la aplicación del presente Reglamento al Ministerio de Ambiente y Recursos naturales. Las municipalidades y demás instituciones de gobierno, incluidas las descentralizadas y autónomas, deberán hacer del conocimiento de dicho ministerio los hechos contrarios a estas disposiciones, para los efectos de la aplicación de la Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente (MARN, 2006).

8.2.4. Artículo 37: Recirculación interna de agua

Todo ente generador podrá recircular las aguas residuales antes de que las mismas se viertan al cuerpo receptor. Dicha recirculación no se considerará como reúso ni estará sujeta a las disposiciones del presente Reglamento (MARN, 2006).

8.3. Acuerdo Gubernativo número 265-2004

Según Berger (2004) acuérdesse declarar sector de alto riesgo toda la longitud del Acueducto Nacional Xayá- Pixcayá, desde sus orígenes en los ríos Xayá y Pixcayá hasta la planta de tratamiento de agua potable ubicada en la Aldea Lo de Coy del municipio de Mixco del departamento de Guatemala.

8.3.1. Artículo 1:

Declarar sector de alto riesgo toda la longitud del Acueducto Nacional Xayá- Pixcayá, desde sus orígenes en los ríos Xayá y Pixcayá hasta la planta de tratamiento de agua potable ubicada en la Aldea Lo de Coy del municipio de Mixco del departamento de Guatemala y el área de las cuencas que atraviesan los ríos: Xayá, Pixcayá, Guacalate y Villa Lobos. En este sector no podrá desarrollarse proyectos públicos y privados que pongan en riesgo la estructura del Acueducto; en el futuro los que se desarrollen o modifiquen deberán contemplar estudios

de impacto ambiental y de riesgo aprobados por las autoridades correspondientes (Berger, 2004)

8.3.2. Artículo 3.

Con base en la declaratoria de sector de alto riesgo, la Secretaría de Coordinación Ejecutiva de la Presidencia de la República, el Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda, el Ministerio de Energía y Minas, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, El Ministerio de Gobernación, la Municipalidad de Guatemala, la Empresa Municipal de Agua – EMPAGUA-, deberán realizar las siguientes actividades: a)

- Trabajos urgentes y acciones para proteger la línea de conducción del Acueducto Nacional Xayá-Pixcayá;
- Estudios para obtener soluciones de corto y mediano plazo para evitar el colapso; Cumplir con las regulaciones legales de explotación minera y de cualquier trabajo de movimientos de tierra u otra actividad que pudiera acelerar la inestabilidad de los suelos;
- Ampliar el área de servidumbre y realizar un análisis de riesgo de las áreas aledañas al Acueducto

Toda la información contenida se encuentra en la declaración presidencial. "Declaración de alto riesgo al sector de toda la longitud del Acueducto Nacional Xayá-Pixcayá", elaborada por el ex presidente Oscar Berger (2004).

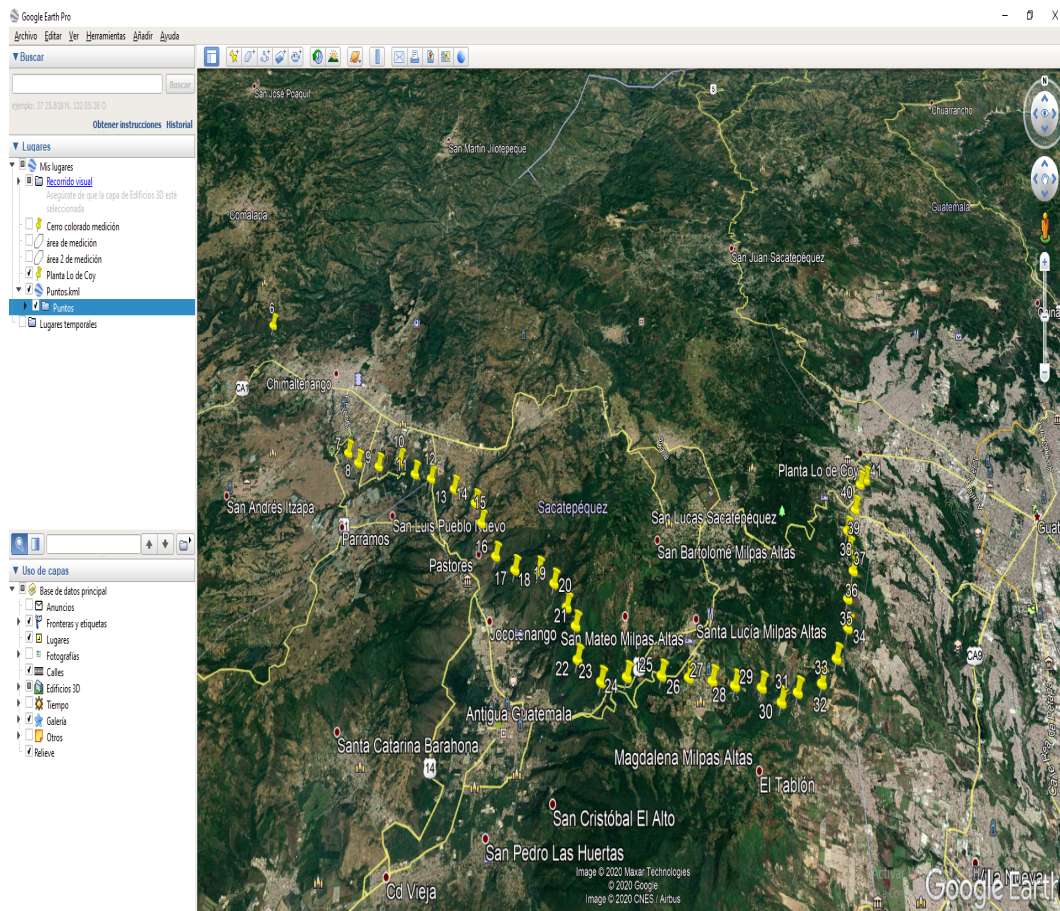
8.4. Política nacional para la reducción de riesgo a los desastres en Guatemala

La Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres [CONRED] (2011) posee la Ley correspondiente al decreto legislativo 109-96 la cual, fue concebida dada la necesidad de afrontar la susceptibilidad de Guatemala a la ocurrencia periódica de fenómenos generadores de desastres considerando las posibles pérdidas de vidas humanas, materiales y económicas que pueden llegar a causar la parálisis y el retraso del desarrollo del país. Por ende, la ley establece la obligación de la CONRED ante la elaboración de planes y estrategias en forma coordinada para evaluar el riesgo y así, garantizar el restablecimiento y la calidad de los servicios públicos y líneas vitales de transporte en caso de un desastre.

9.1. Localización del área de estudio

El acueducto Nacional Xayá-Pixcayá cruza 3 departamentos; Chimaltenango, Sacatepéquez y Ciudad de Guatemala. Abarca una longitud aproximada de 49 km, se utilizó un archivo .kmz de Google Earth elaborado por Elio Berganza en el megaproyecto ya mencionado anteriormente. Punto de entrada con coordenadas 14°37'50.38" N, 90°48'34.59" O y un punto de salida en la PTAR Lo de Coy con coordenadas 14°37'17.57" N, 90°36'07.95" O. En este archivo se encontraba puntos georreferenciados del recorrido del Acueducto Nacional Xayá-Pixcayá. Fué exportado a un sistema de información geográfica (Qgis) para recrear el trayecto del acueducto Nacional Xayá-Pixcayá. Los siguientes análisis se realizaron con sistema de coordenadas WGS 84/UTM GT Zona 15N, ID EPSG: 32615.

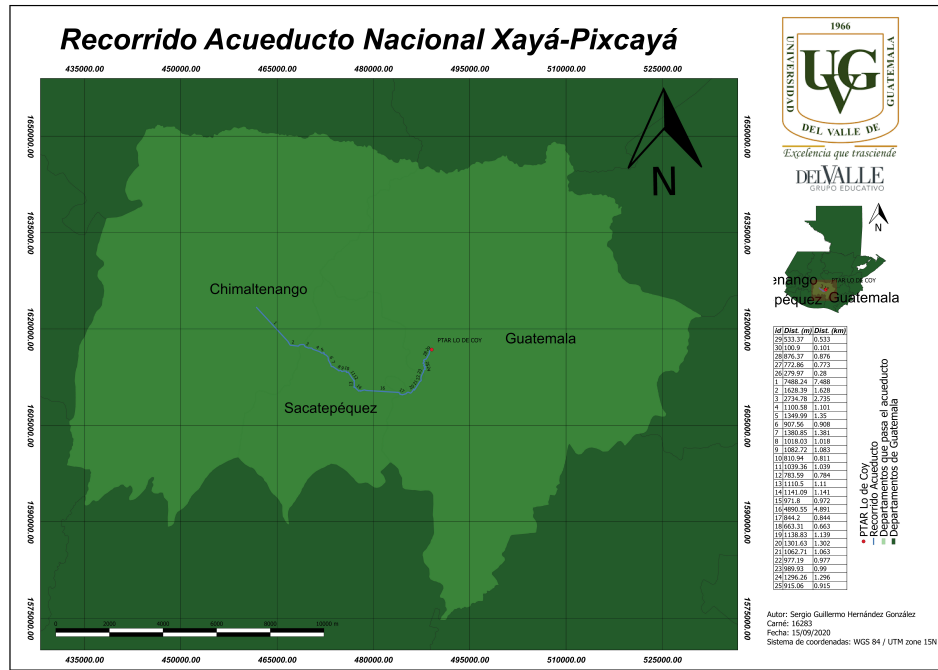
Figura 52: “Google Earth Pro. puntos georreferenciados del Acueducto Nacional Xayá-Pixcayá”



(Berganza, 2016).

Estos puntos georreferenciados se chequearon y fueron comparados con el plano constructivo brindado por el MAGA.

Figura 53: “Mapa Recorrido Acueducto Nacional Xayá-Pixcayá”

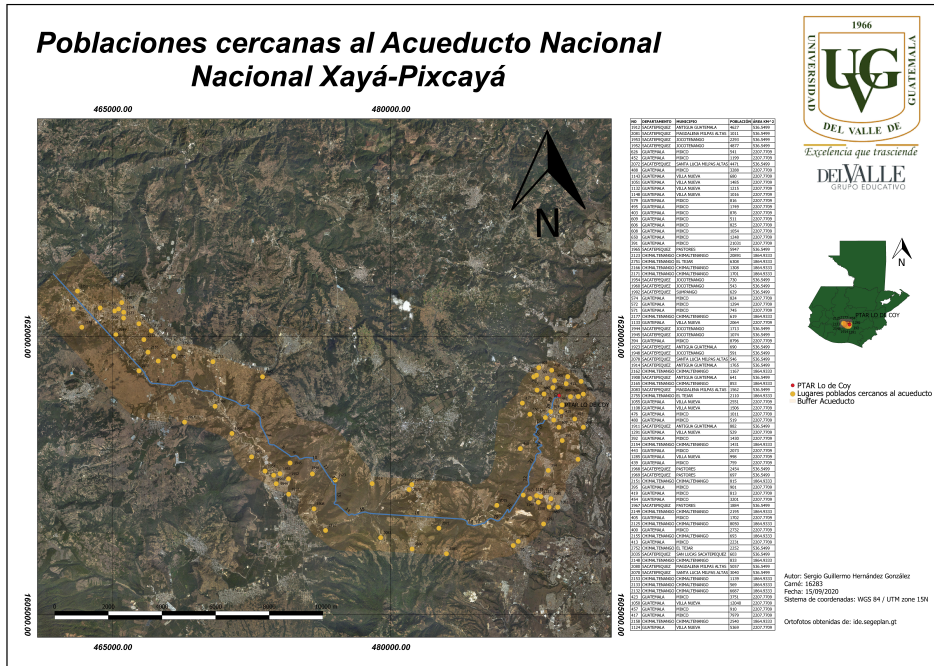


Elaboración propia.

9.2. Lugares poblados cercanos al acueducto nacional Xayá-Pixcayá

Posteriormente, se realizó un buffer: de 2 km para ambos lados del del recorrido del acueducto, para la categorización del tipo de reservorio a proponer. Evitando poblados mayores a 500 personas cercanos al acueducto o evitando el traslape: entre la propuesta del reservorio y un poblado. El buffer: representa aproximadamente 160 km cuadrados.

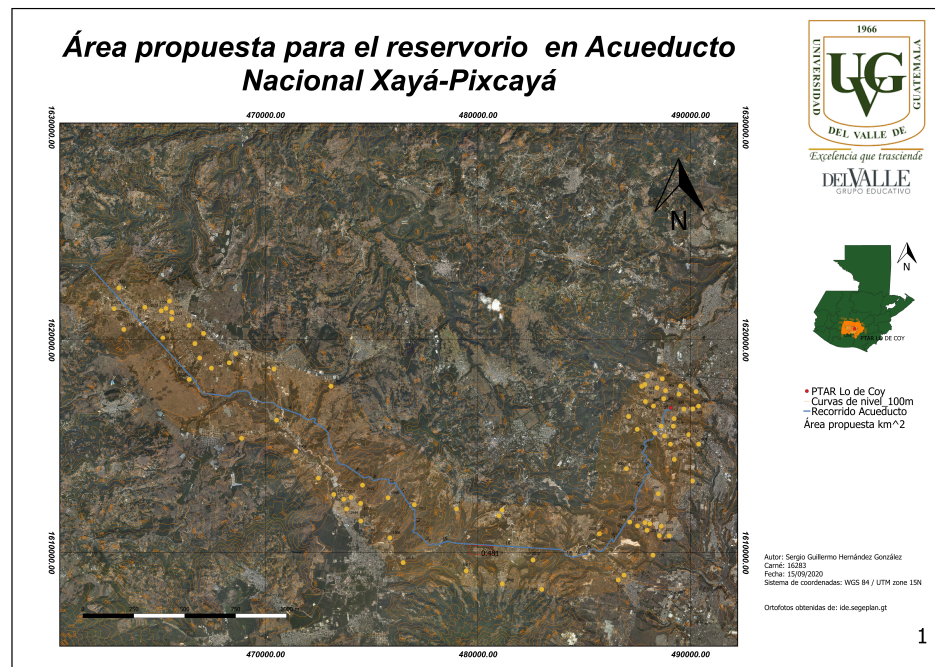
Figura 54: “Mapa lugares poblados cercanos al acueducto Nacional Xayá-Pixcayá”



9.3. Área propuesta

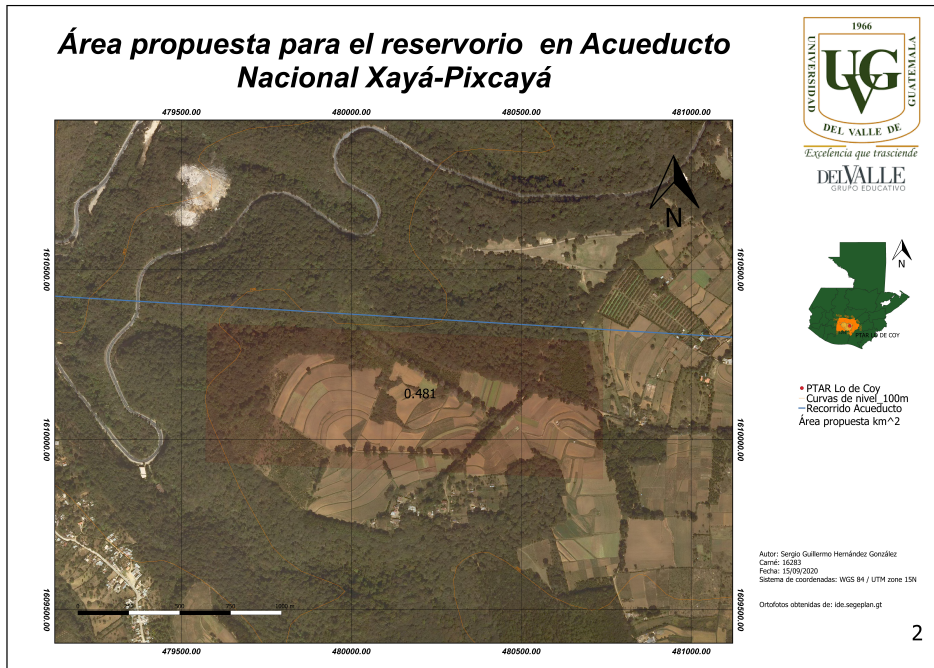
El área propuesta depende del análisis de pendientes transversales y longitudinal, respecto al estudio de poblados cercanos al acueducto nacional Xayá-Pixcayá. El área propuesta se ubica en los alrededores de Santo Tomás Milpas Altas, Sacatepéquez con coordenadas 14°33'49.52" N, 90°41'09.33" O.

Figura 55: "Mapa área propuesta 1"



Elaboración propia.

Figura 56: "Mapa área propuesta 2"

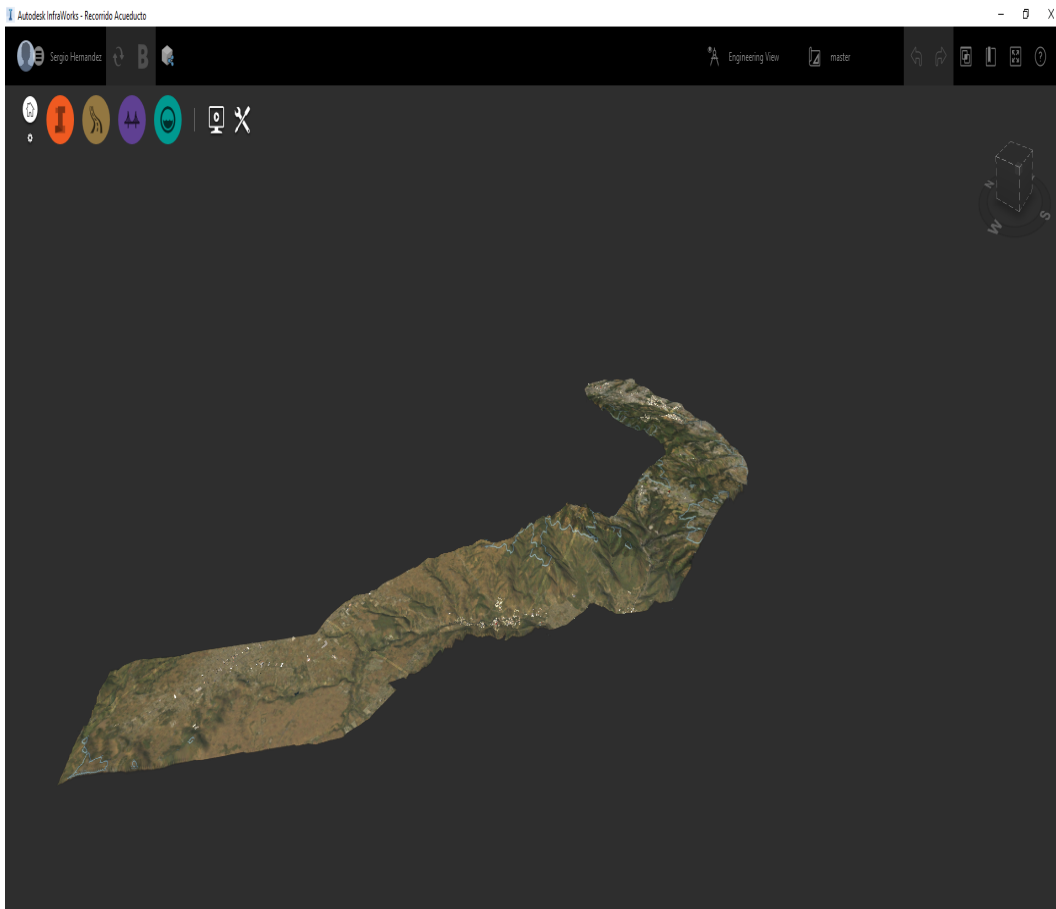


Elaboración propia.

10.1. Análisis de ubicación de propuesta

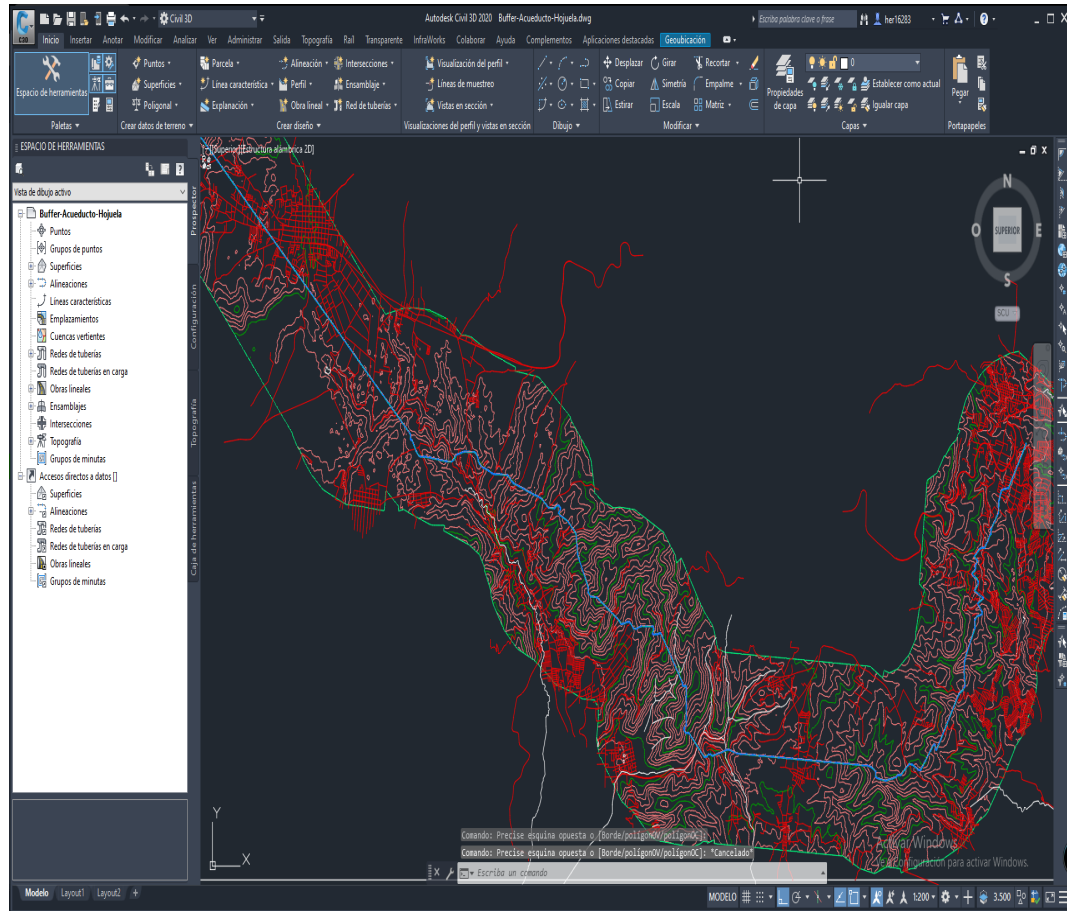
Luego de haber realizado el análisis de los poblados cercanos se exportó el buffer a “InfraWorks” con un archivo y .prj de “Qgis”. En InfraWorks se recreó el área de análisis del recorrido del acueducto nacional Xayá-Pixcayá, de esta forma se obtuvo un Modelo de Elevación Digital con altimetría y topografía de la zona de estudio. Para un mejor análisis se exportó a Civil3D con un archivo .kml, donde se realizaron los análisis de pendientes longitudinal y transversales.

Figura 57: “DEM del recorrido del Acueducto Nacional Xayá-Pixcayá InfraWorks”



Elaboración propia.

Figura 58: “DEM del recorrido del Acueducto Nacional Xayá-Pixcayá en Civil3D”



Elaboración propia.

10.2. Análisis de pendientes longitudinales y transversales

Se realizó un perfil longitudinal del acueducto (Anexo no. 1) incluyendo sus secciones transversales a cada 100 metros (Anexo no. 2 al 9). A continuación, se propone un resumen del análisis de pendiente desde el tramo 24+900 al 25+800, donde se encuentra el área propuesta en paralelo al recorrido del acueducto nacional Xayá-Pixcayá.

Cuadro 19: “Análisis de pendientes para tramo 24+900 al 25+800 del acueducto”

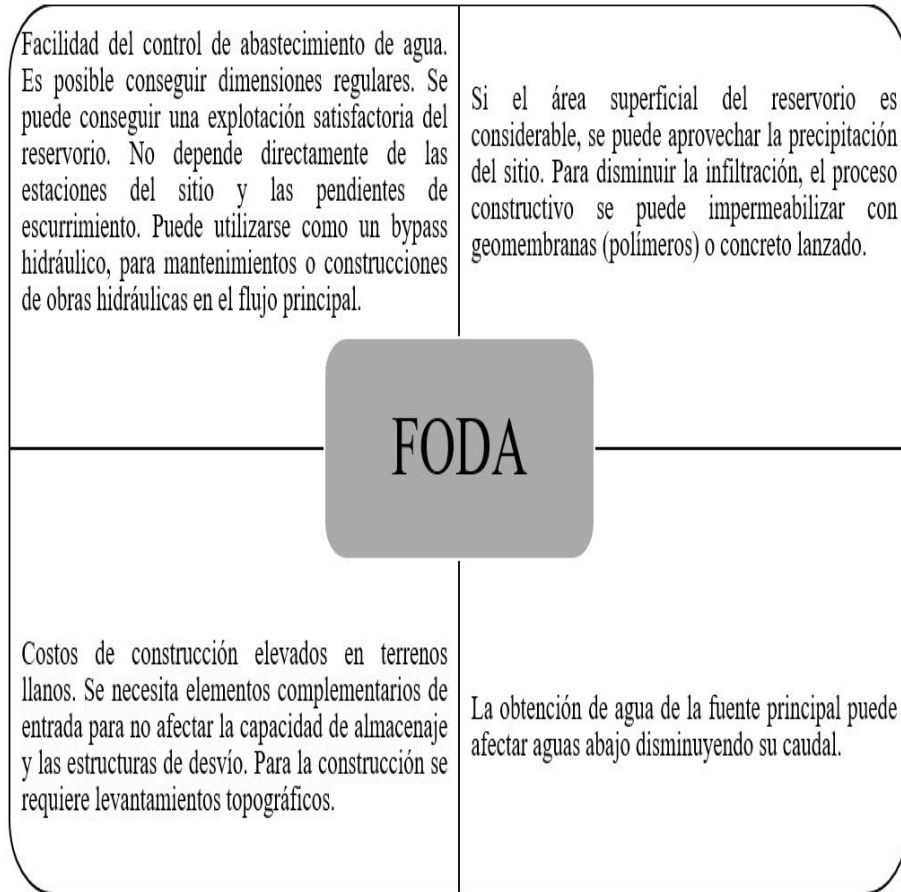
Perfil Longitudinal					Perfiles transversales						Tipo de reservorio según pendientes
Estación (m)	Puntos (m)	Cota (m)	Δ Pendiente	Δ Pendiente %	Estación (m)	X (m)	Y1 (m)	Y2 (m)	Δ Pendiente	Δ Pendiente%	
24+900	24900	1929.95	0.1401	14.01	24+900	20	1930	1931	0.05	5	Reservorio de derivación o reservorio sumergido
25+000	25000	1936.65	0.067	6.7	25+000	20	1935.5	1935	-0.025	-2.5	Reservorio de derivación o reservorio sumergido
25+100	25100	1939.31	0.0266	2.66	25+100	20	1939.5	1938	-0.075	-7.5	Reservorio de derivación o reservorio tipo estanque o reservorio sumergido
25+200	25200	1945.07	0.0576	5.76	25+200	20	1945	1946	0.05	5	Reservorio de derivación o reservorio sumergido
25+300	25300	1946.71	0.0164	1.64	25+300	20	1946	1952	0.3	30	Reservorio de derivación o reservorio tipo estanque o reservorio sumergido
25+400	25400	1958.03	0.1132	11.32	25+400	20	1958	1958	0	0	Reservorio de derivación o reservorio sumergido
25+500	25500	1960.43	0.024	2.4	25+500	20	1961	1963	0.1	10	Reservorio de derivación o reservorio tipo estanque o reservorio sumergido
25+600	25600	1962.32	0.0189	1.89	25+600	20	1963	1965	0.1	10	Reservorio de derivación o reservorio tipo estanque o reservorio sumergido
25+700	25700	1960.66	-0.0166	-1.66	25+700	20	1961	1962	0.05	5	Reservorio de derivación o reservorio tipo estanque o reservorio sumergido
25+800	25800	1960.39	-0.0027	-0.27	25+800	20	1950.5	1951	0.025	2.5	Reservorio de derivación o reservorio tipo estanque o reservorio sumergido

Elaboración propia.

10.3. Análisis FODA

Reservorio de derivación

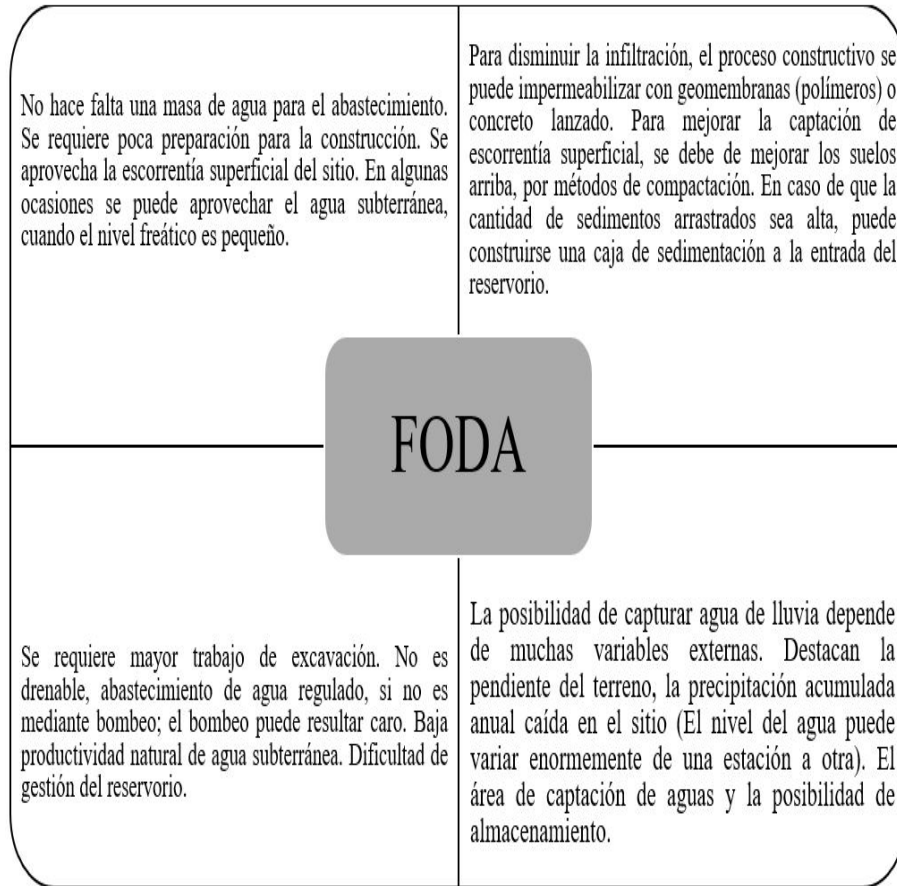
Figura 59: “Análisis FODA - Reservorio de derivación”



Elaboración propia.

Reservorio de excavación o sumergido

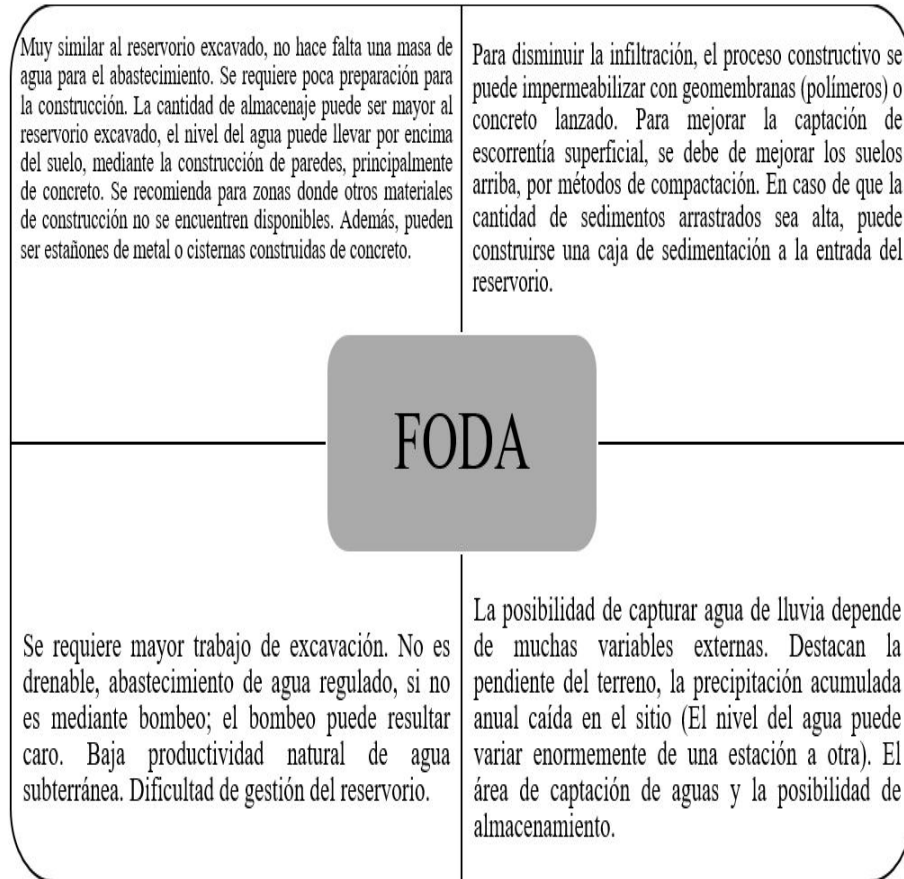
Figura 60: “Análisis FODA - Reservorio de excavación”



Elaboración propia.

Reservorio de estanque

Figura 61: “Análisis FODA - Reservorio de estanque”



Elaboración propia.

10.4. Descripción del proyecto

Se elaboraron dos tipos de diseño de sistemas reservorios de derivación con una geometría transversal trapezoidal en el área propuesta anteriormente. Uno con materiales naturales in situ y el otro revestido de concreto lanzado de esta forma se evitan infiltraciones. Este tipo de reservorio cumple con los requisitos de pendientes transversales y longitudinales. Además, es más factible estos tipos de reservorios para el área propuesta ya que su función es derivar un porcentaje del caudal principal del acueducto nacional Xayá-Pixcayá y contribuir con el mantenimiento hidráulico del acueducto en un período de 30 días. Para luego ser analizadas sus eficiencias de almacenaje de agua. Cabe recalcar que los siguientes cálculos dependerán de muchos factores del ciclo hidrológico del sitio, sin embargo podemos tener un resultado referencial.

10.5. Diseño del reservorio

Se adjuntará la memoria de cálculos del diseño de sistema de reservorios. A continuación, se diseñó para un reservorio de derivación debido al funcionamiento de bypass hidráulico. Además, se considerará su fuente de abastecimiento principal el acueducto nacional Xayá-Pixcayá.

El sistema de reservorios en serie tiene como objetivo principal el almacenaje hídrico, para suplir una demanda de 7 días hacia la PTAR Lo de Coy, aproximadamente un volumen de agua de $980,000 \text{ m}^3$. Además, tiene como funcionamiento de bypass hidráulico para mantenimientos hidráulicos del acueducto nacional Xayá-Pixcayá. El sistema de reservorios tiene como fuente principal de abastecimiento acueducto nacional Xayá-Pixcayá, y secundariamente la precipitación del sitio. Cabe recalcar, que la cantidad del volumen almacenado no representa una amenaza de pérdidas de vidas para las poblaciones aledañas al sistema de reservorio.

Se diseñó un tratamiento preliminar para no afectar la capacidad de almacenaje del sistema, incluyendo la prevención de obstrucción en el canal de desvío de entrada y salida. Los elementos complementarios del sistema de reservorios a considerar en el diseño fueron: la rejilla para evitar los sólidos de gran tamaño. El desarenador para remover los sólidos inorgánicos por sedimentación. Por último, un canal Parshall para medir el caudal de entrada hacia el sistema de los reservorios.

Para sistema de reservorios naturales se determinó una geometría transversal (trapezio), con una altura de 3 m, base mayor 112 m, base menor 106 m y largo de 200 m. Creando un área transversal de 327 m^2 por reservorio y un área superficial del sistema de reservorios de 0.336 km^2 con una eficiencia ocupacional de 69.8% respecto al área disponible. De esta forma haciendo una relación 1:1 en el talud del reservorio para suelos muy cohesivos. El tiempo de llenado del sistema de reservorios únicamente con el flujo desviado del acueducto nacional Xayá-Pixcayá, es de 114 días aproximadamente. Incluyendo la precipitación del sitio, el tiempo de llenado es de 103 días aproximadamente. Además, se incluyeron pérdidas por evaporación e infiltración, obteniendo un volumen de evaporación $840.67 \text{ m}^3/\text{mes}$ y un volumen de infiltración $3,434.55 \text{ m}^3/\text{mes}$.

Para el sistema revestido de concreto, se determinó una geometría transversal (trapecio), con una altura de 3 m, base mayor 112 m, base menor 109 m y largo de 200 m. Creando un área transversal de 331.5 m^2 por reservorio y un área superficial del sistema de reservorios de 0.336 km^2 con una eficiencia ocupacional de 69.8% respecto al área disponible. De esta forma haciendo una relación 0.5:1 en el talud del reservorio para suelos con revestimiento de concreto. El tiempo de llenado del sistema de reservorios únicamente con el flujo desviado del acueducto nacional Xayá-Pixcayá, es de 114 días aproximadamente. Incluyendo la precipitación del sitio, el tiempo de llenado es de 103 días aproximadamente. Además, se incluyeron pérdidas por evaporación e infiltración, obteniendo un volumen de evaporación $840.67 \text{ m}^3/\text{mes}$ y un volumen de infiltración $694.26 \text{ m}^3/\text{mes}$.

Se puede determinar que el revestimiento de concreto disminuye la infiltración de los reservorios, aumentado su capacidad de almacenamiento evitando pérdidas de hasta un 20%. El proceso de impermeabilización con concreto lanzado es muy elevado, se puede optar otros métodos como geomembranas de polímeros de alta resistencia. Por otro lado, la geometría de los taludes es irrelevante en área ocupacional de los reservorios.

La propuesta del sistema de reservorios más factible al lugar, por sus pendientes transversales y longitudinales es un sistema de derivación. Además, el funcionamiento de un bypass hidráulico interviene a controlar caudales de demandas picos y mantenimiento operacional del acueducto Nacional Xayá-Pixcayá. El proceso constructivo es muy útil, ya que se pueden conseguir dimensiones regulares, en este caso una geometría transversal trapezoidal. Además, no depende directamente de las estaciones del año, ya que su fuente principal es el acueducto nacional Xayá-Pixcayá. Por otro lado, si se realiza el diseño de un sistema de reservorios sumergidos, se debe considerar su localización en áreas baldías extensas, de esta forma se puede aprovechar el escurrimiento superficial.

En el diseño se consideraron dos tipos de reservorios de derivación uno con materiales naturales in situ y el otro revestido de concreto lanzado de esta forma se evitan infiltraciones. Se determinó que impermeabilizando las paredes del sistema de reservorios con concreto lanzado aumenta su eficiencia de almacenaje hasta un 20 %. Concluyendo que existen otros métodos más económicos de impermeabilización. Como geomembranas de polímeros de alta resistencia, para disminuir la capacidad de infiltración de los reservorios.

Para una mejor operación hidráulica, se deben realizar tratamientos preliminares, de esta forma se evita obstrucciones de flujo y no se altera la capacidad de almacenamiento. No obstante, se determinaron los elementos complementarios para el sistema de reservorios de derivación siendo estos los siguientes: rejilla para retener los sólidos de gran tamaño, un canal Parshall para medir el flujo operacional y por último un desarenador para evitar taponamientos y disminuir la eficiencia de almacenaje.

Se deben realizar ensayos de suelos y meteorológicos relevantes del sitio para mejores resultados. Para suplir la demanda mensual de la PTAR Lo de Coy, se necesitan por lo menos 5 sistemas de reservorios de 0.481 km^2 , paralelos al acueducto nacional Xayá-Pixcayá sin considerar las pérdidas por infiltración y evaporación y entrada por precipitación.

Recomendaciones

1. Se recomienda la participación y colaboración de entidades públicas para compartir más información entre la iniciativa académica. Además, este proyecto concurre con las autoridades gubernamentales que actualmente están en la gestión de ley de aguas para Guatemala, autoridades locales de la ciudad de Guatemala, la población cercana a la propuesta debido que el almacenaje y mantenimiento es un tema presente para considerar.
2. Se debe realizar un levantamiento topográfico del sitio, de esta forma se obtienen valores reales in situ. El diseño depende de muchos valores reales para minimizar la incertidumbre.
3. Se recomienda realizar laboratorios de suelos para obtener el coeficiente de infiltración real.
4. Si la fuente de agua del reservorio excavado es por escorrentía superficial se recomienda impermeabilizar el suelo aguas arriba por métodos de compactación o mejoras del suelo, esto permite un mejor rendimiento de captación de agua.
5. Para aumentar el caudal del acueducto nacional Xayá-Pixcayá, se deben de implementar varios reservorios en paralelo al acueducto.
6. Cuando no se encuentre un suelo arcilloso en el sitio de reservorio, se debe implementar revestimiento a las paredes del reservorio, estas pueden ser de concreto lanzado o geomembranas de polímeros de alta resistencia.
7. Se recomienda realizar un estudio de impacto ambiental, al realizar una propuesta de diseño que afecte directamente al acueducto nacional Xayá-Pixcayá.
8. Se recomienda utilizar este trabajo de graduación para futuras investigaciones, sobre temas hidrológicos, hidráulicos o geológicos.

Literatura citada:

- Berganza, Elio. (2016). *Megaproyecto - Estudio de la subcuenca del acueducto Xaya-Pixcayá con enfoque en el aprovechamiento del recurso hídrico. Subtema "Identificación y caracterización de las zonas de recarga hídrica en el área de influencia de las subcuencas de los ríos Xayá y Pixcayá"*.
- Berger, Oscar. (2004). *Acuerdo Gubernativo Número 265-2004*. Declaración presidencial, sector de alto riesgo toda la longitud del Acueducto Nacional Xayá-Pixcayá.
- Bustamante Fernández, C. A. (2010). *Efectos ambientales generados por la construcción y operación de un embalse*. Tesis Doctoral. Bogotá.
- Casanova, Leonardo. (2002). *Topografía Plana*. Tesis Universidad de los Andes. Colombia. 283 págs.
- CATIE. (2009). *Guía para la identificación participativa de zonas con potencial de recarga hídrica*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Nicaragua/Matus O. Turrialba, C.R, 40p.
- Centro Mesoamericano de Desarrollo Sostenible del Trópico Seco [CEMEDE]. (2009). *Manual de especificaciones técnicas básicas para la elaboración de estructuras de captación de agua de lluvia (SCALL) en el sector agropecuario de costa rica y recomendaciones para su utilización*. Estudio de viabilidad técnica y económica para el desarrollo de opciones de cosecha de lluvia y manejo adecuado en sistemas de riego en la producción agropecuaria elaborado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- Córdova, Carmen, J. (2015). *Diseño de embalses teniendo en consideración los impactos ambientales*. Tesis Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Instituto de Hidráulica, Hidrología e Ingeniería Sanitaria.
- Faustino, J. (2001). *Enfoque y criterios prácticos para aplicar el manejo de cuencas*. San Salvador, El Salvador, Visión Mundial. 125 p.

- Franco, R. (1989). *Familias mineralógicas de los suelos sobre granitos de la provincia de la Coruña*. Tesis Doctoral. Universidad de Santiago
- Frasier, Gary y Lloyd, Myers. (1983). *Handbook of water harvesting*. Agricultural research service, University of California.
- Hernández, Natalia, *et al.* (2015). “*Análisis de vulnerabilidad y riesgo de la red vial primaria de Colombia frente a fenómenos hidrometeorológicos extremos*”. Informe de avances de proyecto. Bogotá, Colombia. 9 págs.
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, [INSIVU-MEH]. (1988). *Método estándar de cálculo de curvas de duración - intensidad - frecuencia*. Informe técnico no. 4-88. Guatemala. 77 págs.
- Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático [ICC]. (2012). *Estudio de intensidad de precipitación en las cuencas prioritarias del ICC*. Guatemala. 63p.
- Jauregui, Luis. (2003). *Introducción a la Topografía*. Julio 11, 2019. Sitio web: http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/iluis/publicaciones/Topograf%EDa/TEMA__1.pdf
- Macal. (2007). *Estudio sobre manejo de gestión de riesgos para las comunidades del canal de Chiquimulilla, Taxisco, Santa Rosa*.
- Metcalf and Eddy Inc. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. McGraw-Hill Companies, Inc.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG]. (2010). *Manual de especificaciones técnicas básicas para la elaboración de estructuras de captación de agua de lluvia (SCALL) en el sector agropecuario de costa rica y recomendaciones para su utilización*.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería y Alimentación [MAGA]. (2016). *Importancia del manejo de los ríos Xayá y Pixcayá para abastecer de agua potable a la ciudad de Guatemala*.
- Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales [MARN]. (2006). *Acuerdo Gubernativo 236-2006*.
- Ministerio de Agricultura y Riego [MINAGRI]. (2013). *Plan de operación y mantenimiento de la infraestructura hidráulica*. Guía de capacitación y entrenamiento a las OUAs, Perú. Lineación en operación y mantenimiento.
- Nasr. M., (1999). *Assessing Desertification and Water Harvesting in the Middle East and North Africa: Policy Implications*. ZEF – Discussion Papers on Development Policy Bonn, Germany.
- Prado, Michael (2012). *Consideraciones básicas sobre parámetros meteorológicos y su importancia en el diseño, construcción y operación de proyectos de infraestructura*. Trabajo de graduación de la universidad de San Carlos de Guatemala. pág 64
- Ramírez, Aldo. (2010). *La seguridad de presas desde la perspectiva hidrológica*. Artículo técnico del Centro del Agua para América Latina y el Caribe, México.

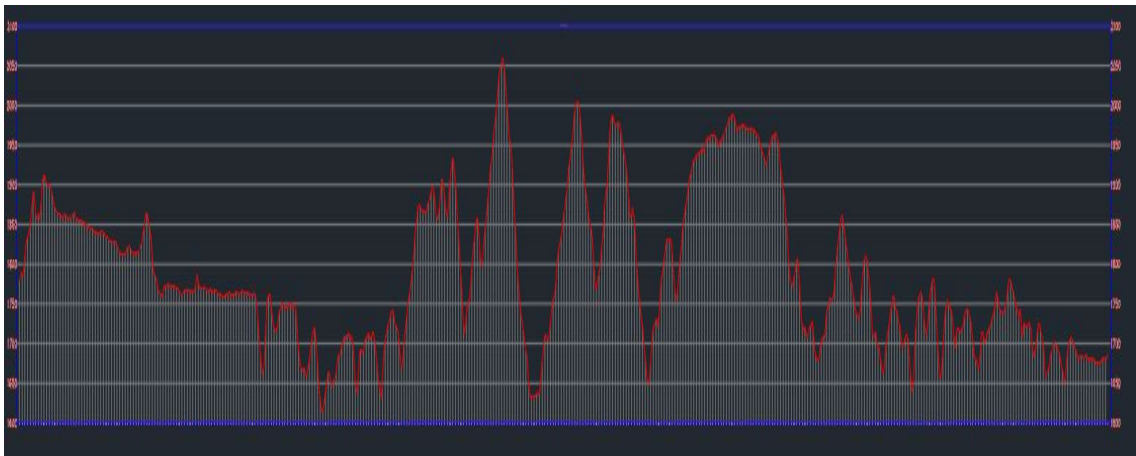
- Rubio, María. (2010). *La densidad aparente en suelos forestales del parque natural los alcornocales*. Instituto de recursos naturales y agrobiología de Sevilla consejo superior de investigaciones científicas.
- Salguero, Fabiola. (2008). *propuesta para la implementación de un sistema de gestión de calidad basado en la norma iso 9001:2000 en la planta de tratamiento de agua Lo de Coy Mixco de EMPAGUA*. Informe final de tesis para la obtención del Grado de Maestro en Ciencias, con base Normativo de Tesis para optar al Grado de Maestro en Ciencias aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ciencias Económicas.
- SEGEPLAN. (2006). *Estrategia para la gestión integrada de los recursos hídricos de Guatemala*. Guatemala
- Vásquez, Leónidas. (2011), *Elaboración y caracterización de las zonas de recarga hídrica*. Tesis, FAUSAC, en Identificación de las zonas potenciales para la recarga Hídrica, en la Microcuenca del rio Agua Caliente, Municipio de Camotán, Chiquimula. Guatemala, 71 p.
- Villasmil, Yosmileth. (2016). *Cálculo del caudal aportante a un sistema de drenaje vial superficial*. Instituto Universitario Plitécnico: "Santiago Mariño. Ampliación Mérida. Venezuela. 20 págs.
- Villón, M. (2004). *Hidrología*. Instituto tecnológico de Costa Rica. Cartago, CR. 286 p.
- Von Sperling, M. y de Lemos, C. (2007). *Basic Principles of Wastewater Treatment*. IWA Publishing.
- Zea, Mario. (2013). Evaluación del consumo de agua potable en la zona 3 de la ciudad de Guatemala en los años 2008–2010. Trabajo de graduación presentado a la junta directiva de la facultad de ingeniería.

Enlaces web:

- Ainzúa, A. (2007). *Embalses por causas naturales*. Diciembre 7, 2007. Sitio web: <http://www.monografias.com>
- ASIDEK Solutions (2020). *Acelere el proceso de diseño de infraestructuras civiles con el software Autodesk Infracad*. Sitio web: <https://www.asidek.es/cartografia-y-gis/autocad-civil-3d/>
- ASIDEK Solutions (2020) *AutoCAD Civil 3D, diseño para ingeniería civil*. Sitio web: <https://www.asidek.es/cartografia-y-gis/autocad-civil-3d/>
- AutoDesk (2020). Reinvente el diseño de infraestructuras con Infracad. Sitio web: <https://www.autodesk.es/products/infracad/subscribe?plc=IW360Pterm=1-YEARsupport=ADVANCEDquantity=1>
- Carrera, Jilberto. (2017). *¿Qué es y para qué sirve AutoCAD Civil 3D?*. Julio 24, 2017. <https://es.linkedin.com/pulse/qu%C3%A9-es-y-para-sirve-autocad-civil-3d-gilberto-jara->
- Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED). *Política nacional para la reducción de riesgo a los desastres en Guatemala*. Agosto 15, 2019. Sitio web: https://conred.gob.gt/site/documentos/base_legal/POLITICA_NACIONAL_RRD.pdf
- Empresa Municipal del agua [EMPAGUA], (s.f.). Sitio web: <http://www.muniguate.com/empresa-municipal-de-agua/>
- Environmental Systems Research Institute [ESRI], (s.f.). Chile. Sitio web: <https://www.esri.cl/es-cl/que-es-el-gis/que-es-gisimage6>
- Escalón, Sebastián. (2016). Una ley de aguas para el país de Nunca Jamás. Abril 18, 2016. Sitio web: <https://www.plazapublica.com.gt/content/una-ley-de-aguas-para-el-pais-de-nunca-jamas>
- Espinosa, Roberto. (2013). *La matriz de análisis DAFO (FODA)*. Sitio web: <https://robertoespinosa.es/2013/07/29/la-matriz-de-analisis-dafo-foda>
- Food and Agriculture Organization of The United Nations [FAO], (s.f). *Facts sheet: Contrucción del estanque piscícola*. Sitio web: <http://www.fao.org/home/es/>
- Geotecnia Fácil. (2019). *Licuefacción de Suelos*. Mayo 08, 2019. Sitio web: <http://geotecniafacil.com/licuefaccion-suelos/>
- Gobierno de Chile [GOBCH]. (s.f.). *Embalse* Sitio web: <https://mma.gob.cl/cambio-climatico/cc-02-5-programa-nacional-de-gestion-del-carbono-huellachile/>
- Gobierno de Ecuador [GOBEC]. (2013) *Cerca 30 millones de m³ de material pétreo se deslizaron en el sitio "La Josefina"*. Sitio web: <https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/2013/05/LA-JOSEFINA.jpg>
- Instituto Nacional de Estadística [INE]. (2018). *Censo nacional de población y vivienda*. Guatemala. Sitio web: <https://www.ine.gob.gt/ine/>

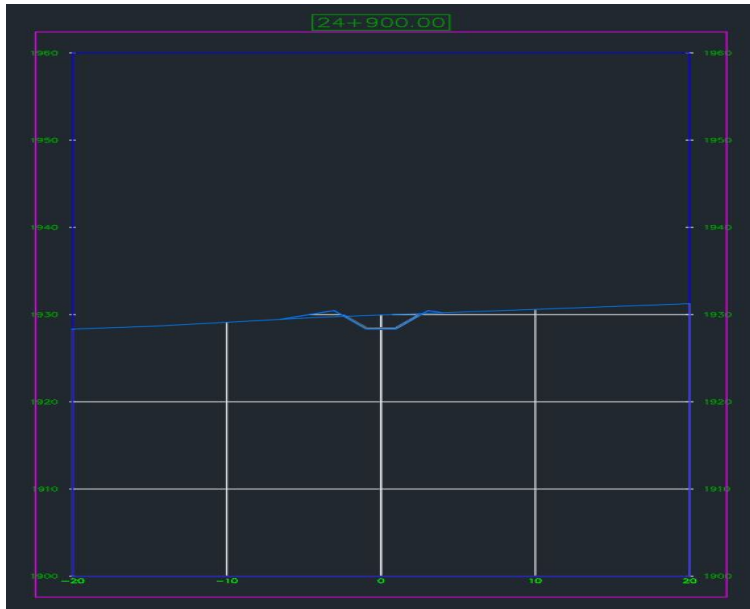
- Instituto Nacional de Estadística [INE]. (2018). *Compendio Estadístico Ambiental 2016. Guatemala*. Sitio web: <https://www.ine.gob.gt/ine/>
- Koshland Science Museum [KSM]. (s.f.). *El agua potable segura es esencial*. Sitio web: <https://www.koshland-science-museum.org/>
- LESDASA La Esmeralda S.A. (2019). *Inundaciones*. Marzo 20, 2019. Sitio web: <http://www.lesdasa.com/inundaciones/>
- Patzán, J. (2019). *Guatemala tiene agua en abundancia, pero está contaminada*. Marzo 22, 2019. Sitio web: <https://www.prensalibre.com/ciudades/guatemala-ciudades-guatemala-tiene-agua-en-abundancia-pero-esta-contaminada/>
- Pérez, G. (2016). *Ciclo Hidrológico (o del agua)*. Septiembre 14, 2016. Sitio web: <http://www.ciclohidrologico.com/>
- R. José Luis. (s.f.). *como funciona*. Sitio web: <https://como-funciona.co/una-represa/>
- Sánchez, F.J. (2006). *Evapotranspiración, concepto de evapotranspiración, utilidad, unidades (en línea)*. Septiembre 15, 2008. Sitio web: <http://web.usal.es/javisan/hidro/temas/T040.pdf>
- Water boards California [WBC], (s.f.). *Facts sheet: Reservoir*. Sitio web: https://www.waterboards.ca.gov/publicationsforms/publications/factsheets/docs/onstream_reservoir_factsheet.pdf

Figura 62: Anexo 1 - “Sección longitudinal del acueducto nacional Xayá-Pixcayá”



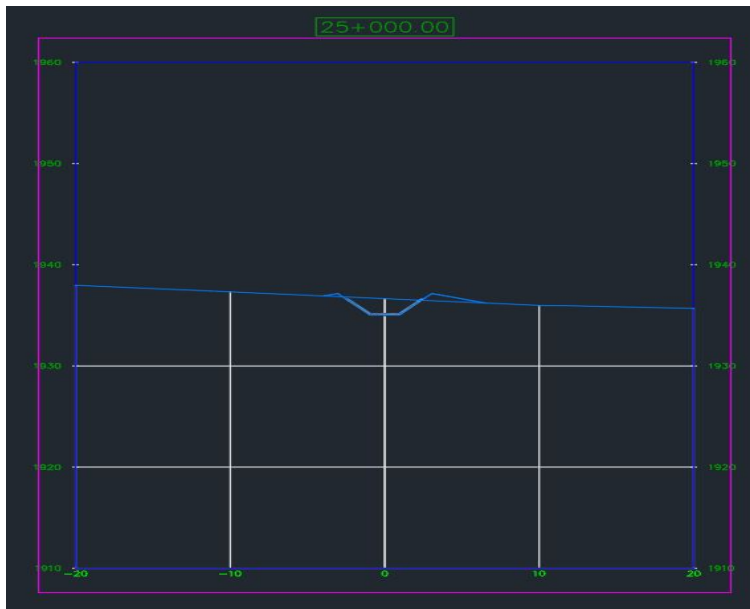
elaboración propia

Figura 63: Anexo 2 - "Sección transversal 24+900"



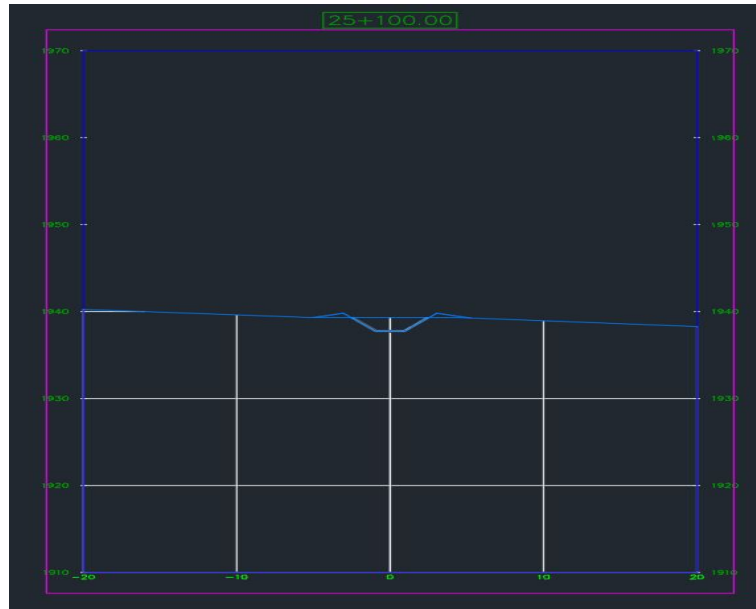
elaboración propia

Figura 64: Anexo 3 - "Sección transversal 25+000"



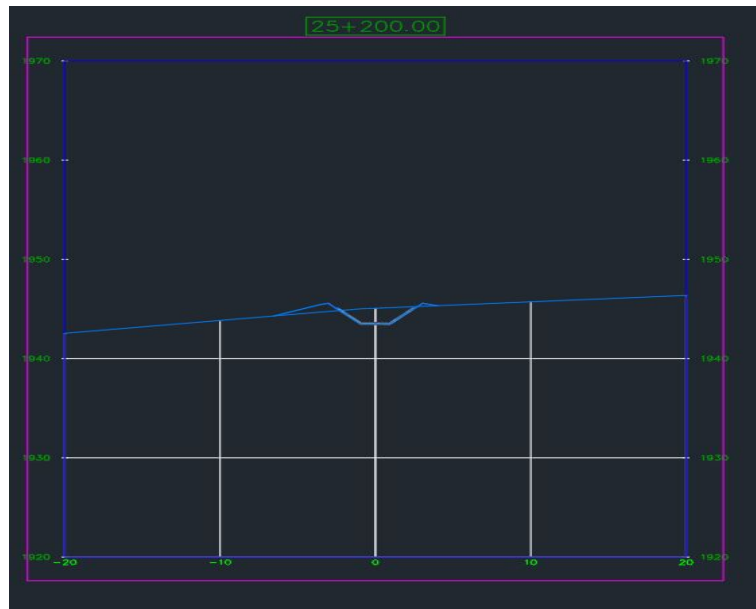
elaboración propia

Figura 65: Anexo 4 - "Sección transversal 25+100"



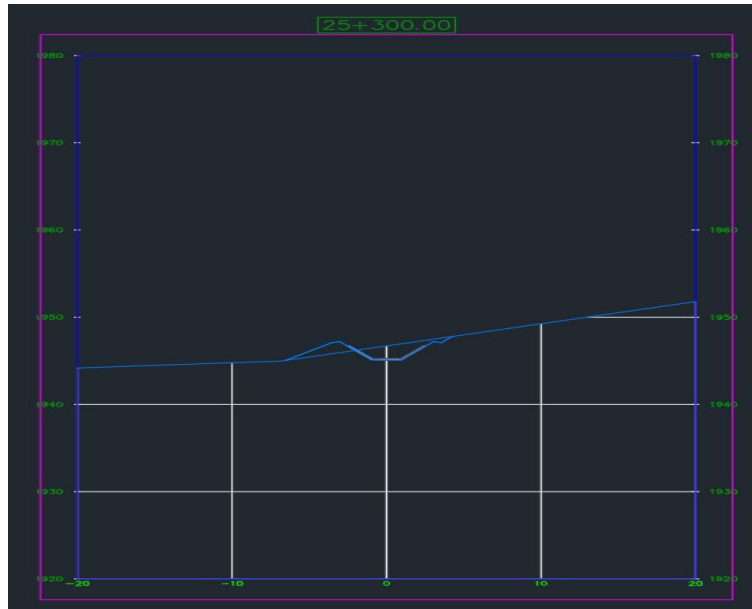
elaboración propia

Figura 66: Anexo 5 - "Sección transversal 25+200"



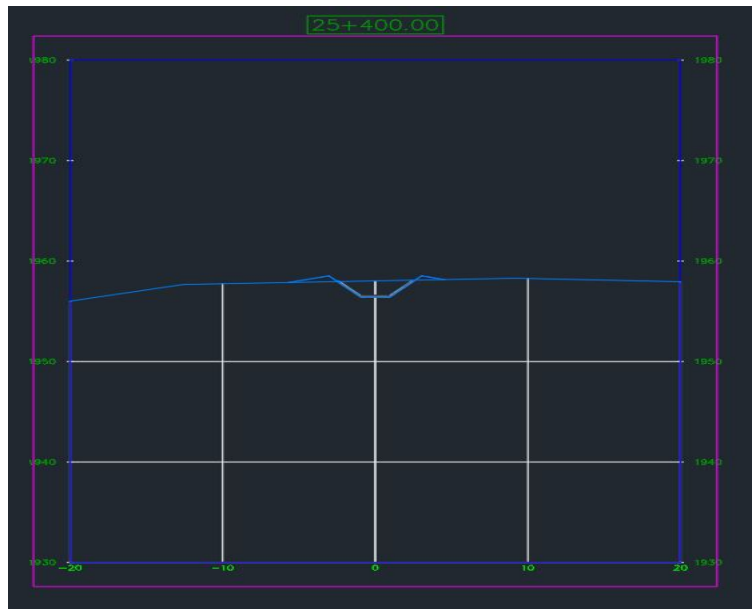
elaboración propia

Figura 67: Anexo 6 - "Sección transversal 25+300"



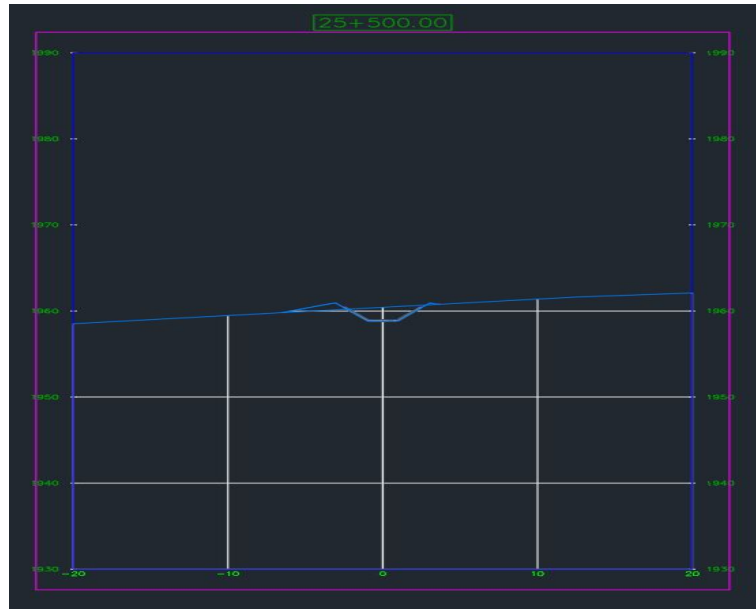
elaboración propia

Figura 68: Anexo 7 - "Sección transversal 25+400"



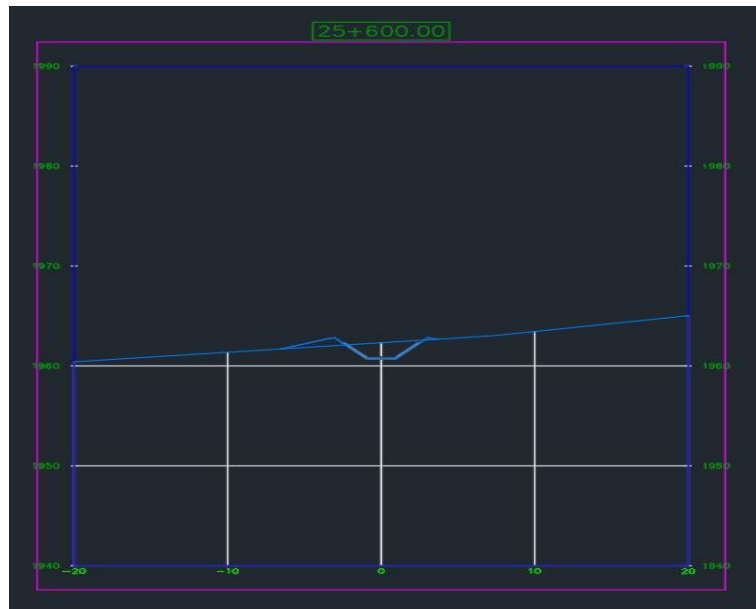
elaboración propia

Figura 69: Anexo 8 - "Sección transversal 25+500"



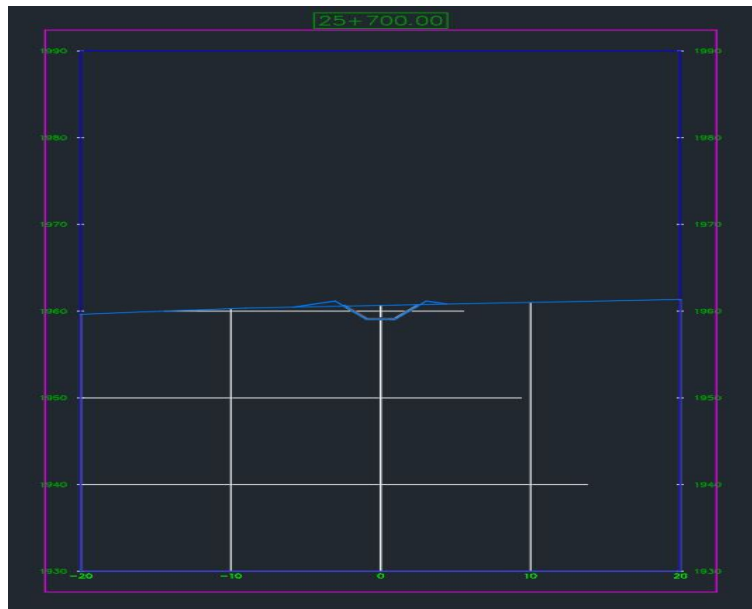
elaboración propia

Figura 70: Anexo 9 - "Sección transversal 25+600"



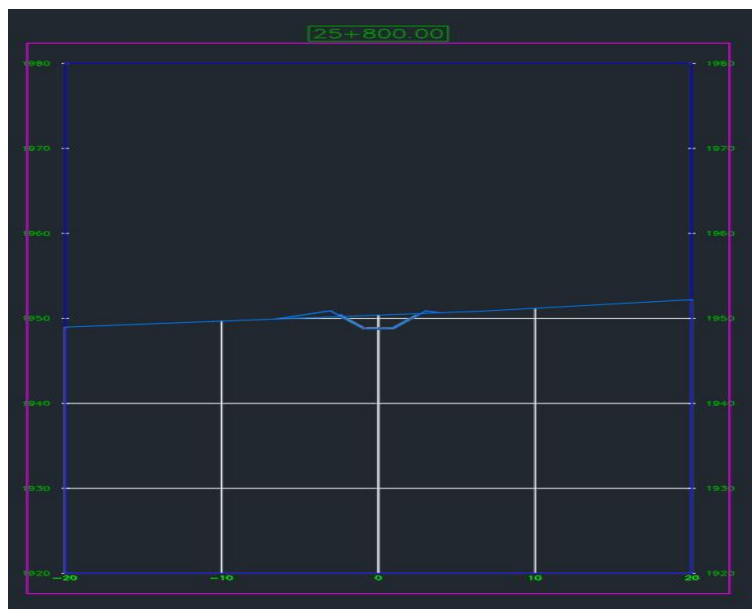
elaboración propia

Figura 71: Anexo 9 - "Sección transversal 25+700"



elaboración propia

Figura 72: Anexo 9 - "Sección transversal 25+800"



elaboración propia

1. Memoria de cálculo de diseño de reservorios

1.1 Caudal de entrada

$Q_{acueducto} := 2 \frac{m^3}{s}$	Caudal del acueducto
$porcentaje := 5\%$	Porcentaje de la fuente
$Q_{canal_entrada} := Q_{acueducto} \cdot porcentaje = 0.1 \frac{m^3}{s}$	Canal de entrada
$Q_{diseño_entrada} := Q_{canal_entrada} = 0.1 \frac{m^3}{s}$	Caudal de entrada
$Q_{minimo} := 0.5 Q_{diseño_entrada} = 0.05 \frac{m^3}{s}$	Caudal de mínimo de diseño
$Q_{promedio} := Q_{diseño_entrada} = 0.1 \frac{m^3}{s}$	Caudal de promedio de diseño
$Q_{maximo} := 1.25 Q_{diseño_entrada} = 0.125 \frac{m^3}{s}$	Caudal de máximo de diseño

1.2 Sistema de elementos complementarios

1.2.1 Canal de entrada

11.2.1 Definir geometría del canal de entrada

$B_{canal} := 0.60 \text{ m}$	Ancho del canal
$H_{canal} := 0.50 \text{ m}$	Altura del canal
$A_{canal} := B_{canal} \cdot H_{canal} = 0.3 \text{ m}^2$	Área del canal (sección transversal)

1.2.2 Canal Parshall

11.2.2.1 Definir altura de agua en Parshall (H)

$$Q_{\text{minimo}} = 50 \frac{L}{s}$$

$$Q_{\text{promedio}} = 100 \frac{L}{s}$$

$$Q_{\text{maximo}} = 125 \frac{L}{s}$$

Nota. Los caudales de diseño se deben trabajar con unidades S.I.

$$W := 1 \text{ ft} = 0.305 \text{ m}$$

$$W := 0.305 \text{ m}$$

Nota. Con el Cuadro 17, se seleccionó el ancho de garganta en (m).

Se le agregó un multiplicador para convertir las unidades en (SI).

$$H_{\text{min}} := \left(\frac{Q_{\text{minimo}}}{2.2 \cdot W} \cdot \frac{m^{-1}}{s^{-1}} \right)^{\frac{2}{3}} = 0.177 \text{ m}$$

Altura máxima del canal Parshall

$$H_{\text{prom}} := \left(\frac{Q_{\text{promedio}}}{2.2 \cdot W} \cdot \frac{m^{-1}}{s^{-1}} \right)^{\frac{2}{3}} = 0.281 \text{ m}$$

Altura máxima del canal Parshall

$$H_{\text{max}} := \left(\frac{Q_{\text{maximo}}}{2.2 \cdot W} \cdot \frac{m^{-1}}{s^{-1}} \right)^{\frac{2}{3}} = 0.326 \text{ m}$$

Altura máxima del canal Parshall

1.2.2.2 Definir la grada entre canal parshall y desarenador (z) para mantener la misma velocidad

$$Z := \frac{Q_{\text{minimo}} \cdot H_{\text{max}} - Q_{\text{maximo}} \cdot H_{\text{min}}}{Q_{\text{minimo}} - Q_{\text{maximo}}} = 0.078 \text{ m}$$

Diferencia de nivel entre el canal Parshall y el Desarenador

1.2.3 Desarenador

1.2.3.1 Altura desarenador

$$H_{\text{desarenador}_{\text{min}}} := H_{\text{min}} - Z = 0.099 \text{ m}$$

Altura de tirante mínima en el desarenador

$$H_{\text{desarenador}_{\text{prom}}} := H_{\text{prom}} - Z = 0.203 \text{ m}$$

Altura de tirante promedio en el desarenador

$$H_{\text{desarenador}_{\text{max}}} := H_{\text{max}} - Z = 0.249 \text{ m}$$

Altura de tirante máxima en el desarenador

1.2.3.2 Definir longitud (L)

$$L_{\text{desarenador}} := 22.5 \cdot H_{\text{desarenador}_{\text{max}}} = 5.591 \text{ m}$$

Longitud del desarenador

Nota. se tomó la altura del tirante más crítico, ya que corresponde a la altura con el caudal máximo.

1.2.3.3 Definir la velocidad horizontal de flujo constante

$$v_h := \frac{Q_{\text{minimo}}}{Q_{\text{maximo}}} = 0.4 \quad \text{m/s}$$

Velocidad horizontal en el desarenador seleccionada, debe estar entre 0.25 y 0.4 m/s para que exista un flujo constante.

$$B_{\text{min}} := \frac{Q_{\text{minimo}}}{v_h \cdot H_{\text{min}}} = 0.706 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

Ancho del mínimo del desarenador

$$B_{\text{diseño}} := 1.3 \text{ m}$$

Ancho mínimo de diseño

$$v_{hmin} := \frac{Q_{\text{minimo}}}{B_{\text{diseño}} \cdot H_{\text{desarenador_min}}} = 0.387 \frac{m}{s}$$

Velocidad horizontal en el desarenador seleccionada, debe estar entre 0.25 y 0.4 m/s para que exista un flujo constante.

$$v_{hprom} := \frac{Q_{\text{promedio}}}{B_{\text{diseño}} \cdot H_{\text{desarenador_prom}}} = 0.378 \frac{m}{s}$$

Velocidad horizontal en el desarenador seleccionada, debe estar entre 0.25 y 0.4 m/s para que exista un flujo constante.

$$v_{hmax} := \frac{Q_{\text{maximo}}}{B_{\text{diseño}} \cdot H_{\text{desarenador_max}}} = 0.387 \frac{m}{s}$$

Velocidad horizontal en el desarenador seleccionada, debe estar entre 0.25 y 0.4 m/s para que exista un flujo constante.

1.2.3.4 Geometría del desarenador

$$L_{\text{desarenador}} = 5.59 \text{ m}$$

Largo del desarenador

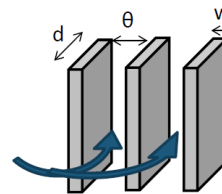
$$B_{\text{desarenador}} := B_{\text{diseño}} = 1.3 \text{ m}$$

Ancho del desarenador

1.2.4 Definir geometría de rejilla

Cuadro 2: "Geometría rejilla"

Tipo	Ancho de barra (w)	Profundidad de barra (d)	Separación entre barras (θ)
Gruesa	10 – 13 mm	38 – 64 mm	40 – 100 mm
Mediana	8 – 10 mm	38 – 51 mm	20 – 40 mm
Fina	6 – 10 mm	38 mm	10 – 20 mm



(Sperling, 2007).

1.2.4.1 Definir geometría Velocidad de la reja

$$d := 40 \text{ mm}$$

Profundidad de barras

$$\theta := 20 \text{ mm}$$

Separación entre barras

$$w := 10 \text{ mm}$$

Ancho de barra

1.2.4.2 Velocidad del canal

Nota. Se utilizará el mismo ancho y altura que el canal de entrada

$$v_{c_promedio} := \frac{Q_{\text{promedio}}}{B_{\text{canal}} \cdot H_{\text{canal}}} = 0.33 \frac{m}{s}$$

velocidad en el canal debe estar entre 0.3 y 0.6 m/s

$$v_{c_maximo} := \frac{Q_{maximo}}{B_{canal} \cdot H_{canal}} = 0.42 \frac{m}{s}$$

La velocidad en el canal debe estar entre 0.3 y 0.6 m/s.

1.2.4.3 Comprobando eficiencia canal de rejillas

$$E := \frac{\theta}{\theta + w} = 0.667$$

Nota. Eficiencia de la rejilla según la geometría

1.2.4.4 Verificando velocidad entre barras

$$v_{b_maximo} := \frac{v_{c_maximo}}{E} = 0.63 \frac{m}{s}$$

Velocidad entre barras máximo velocidad entre barras, se debe considerar menor a 1.2 m/s y estar entre 0.6 y 1 m/s, por lo tanto

$$\text{if} \left(v_{b_maximo} \leq 1.2 \frac{m}{s}, \text{"Cumple"}, \text{"No cumple"} \right) = \text{"Cumple"}$$

1.3 Diseño del reservorio

Según el ministerio de agricultura, ganadería y alimentación la producción diaria de agua por la planta de tratamiento Lo de Coy, es de 140,000 m³/día aproximadamente un caudal de 1.6 m³/s (MAGA, 2016).

Nota. El reservorio se comportará como un bypass hidráulico, será un sistema de varios reservorios en serie. Además, se tomará el 5% del flujo del acueducto Xayá-Pixcayá para abastecerse y se diseñará con gran extensión de área para aprovechar al máximo la precipitación del sitio. El reservorio tendrá que suplir la demanda del PTAR Lo de Coy durante 7 días.

1.3.1 Dimesiones del sitio

$$B_{disponible} := 415 \text{ m} \quad \text{Ancho disponible}$$

$$L_{disponible} := 1160 \text{ m} \quad \text{Largo disponible}$$

$$A_{disponible} := B_{disponible} \cdot L_{disponible} = 0.481 \text{ km}^2 \quad \text{Área disponible sistema de reservorios}$$

1.3.2 Volumen de almacenamiento

$$Q_{producción} := 140000 \frac{m^3}{day} \quad \text{Caudal de producción PTAR Lo de Coy}$$

$$n.dias := 7 \text{ day} \quad \text{Cantidad de días a diseñar}$$

$$V_{almacenar} := Q_{producción} \cdot n.dias = 980000 \text{ m}^3 \quad \text{Volumen total del sistema de reservorios}$$

1.3.3 Dimensionando reservorio natural

$$h := 3 \text{ m} \quad \text{Altura del reservorio}$$

$$B := 112 \text{ m} \quad \text{Base mayor}$$

$$b := 106 \text{ m} \quad \text{Base menor}$$

$$l := 200 \text{ m} \quad \text{Largo del reservorio}$$

1.3.3.1 Chequeando ángulo de talud

$$\text{atan} \left(\frac{h}{\frac{(B-b)}{2}} \right) = 45 \text{ deg}$$

Nota. Se debe conservar la pendiente del talud una relación 1:1, para suelos arcillosos con recubrimiento con rocas.

$$A_{reservorio} := \frac{(B+b)}{2} \cdot h = 327 \text{ m}^2 \quad \text{Área sección transversal (Trapezio)}$$

$$A_{reservorio_planta} := (B) \cdot l = 22400 \text{ m}^2 \quad \text{Área vista en planta}$$

$$v_{reservorio} := A_{reservorio} \cdot l = 65400 \text{ m}^3 \quad \text{Volumen de unidad reservorio}$$

1.3.4 Determinar cantidad de reservorios en el sistema

$$n := \frac{V_{almacenar}}{v_{reservorio}} = 14.985 \quad \text{Cantidad unidades de reservorios}$$

$$n := 15 \quad \text{Cantidad de reservorios aproximado}$$

1.3.5 Chequeo de área disponible

$$A_{total} := n \cdot A_{reservorio_planta} = 0.336 \text{ km}^2 \quad \text{Área superficial de ocupación del sistema de reservorios}$$

$$\text{if}(A_{total} < (A_{disponible} - A_{disponible} \cdot 20\%), \text{"Cumple"}, \text{"No cumple"}) = \text{"Cumple"}$$

Nota. Se restará un 20% del área disponible por movimiento de tierras de los taludes y el espacio entre reservorios para realizar el sistema de reservorios.

$$E_{A_{ocupacional}} := \frac{A_{total}}{A_{disponible}} \cdot 100 = 69.8 \quad \text{Eficiencia área ocupacional}$$

1.3.6 Tiempo de llenado reservorio con canal de derivación de entrada

$$t_{canal_entrada} := \frac{V_{almacenar}}{Q_{canal_entrada}} = 113.426 \text{ day} \quad \text{Tiempo de llenado del reservorio con el canal de derivación de entrada.}$$

1.3.7 Precipitación del sitio

Según INE (2016). Precipitación del sitio "Sacatepéquez" 944 mm/añual medidos por la estación "Suiza Contenta". Se debe considerar que la precipitación máxima sucede en invierno, desde mayo hasta octubre.

$$P := 944 \frac{\text{mm}}{\text{yr}} = 2.585 \frac{\text{mm}}{\text{day}} \quad \text{Precipitación anual del sitio}$$

$$Q_{precipitacion} := A_{total} \cdot P = 0.01 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad \text{Caudal de diseño debido a la precipitación anual del sitio}$$

$$t_{precipitacion} := \frac{V_{almacenar}}{Q_{precipitacion}} = 3.09 \text{ yr} \quad \text{Tiempo de llenado del reservorio con la precipitación anual del sitio}$$

1.3.8 Tiempo total de llenado

$$t_{total} := \frac{V_{almacenar}}{Q_{canal_entrada} + Q_{precipitacion}} = 103.067 \text{ day} \quad \text{Tiempo de llenado canal de derivación de entrada + precipitación del sitio en días}$$

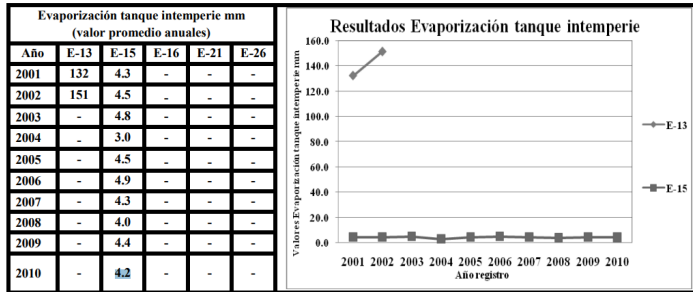
$$t_{total} = 0.282 \text{ yr} \quad \text{Tiempo de llenado canal de derivación de entrada + precipitación del sitio en años}$$

1.3.9 Pérdidas

1.3.9.1 Evaporación

Según estudios de INSIVUMEH (2010) la evaporación del tanque interperie anual es de 4.2 mm/año. Esta variable depende de muchos factores climatológicos, desde la irradianza del sol, nubosidad, presión atmosférica y otros.

Cuadro 3: "Evaporización anual (E-15 Estación INSIVUMEH)".



(Prado, 2012).

$$E_{p_anual} := 5 \frac{mm}{yr}$$

Evaporación promedia anual

Nota. Para ser conservadores tomaremos el máximo registrado. Además, para obtener mejores resultados hacer ensayos de evaporación in situ.

$$E_{p_mensual} := \frac{5}{12} mm = 0.417 \frac{mm}{mes}$$

Evaporación promedia mensual

$$C := 6$$

Número de meses correspondientes al período crítico contados desde que el embalse está lleno hasta que esté vacío o meses de estiaje o secos

$$S := A_{total} = 33.6 \text{ hectare}$$

Área de espejo de agua

$$V_{evaporado_mensual} := 10 \cdot 33.6 \cdot 0.417 \cdot 6 = 840.67$$

$$\frac{m^3}{mes}$$

Volumen de agua evaporada mensual

$$V_{evaporado_diario} := \frac{V_{evaporado_mensual}}{30} = 28.022$$

$$\frac{m^3}{day}$$

Volumen de agua evaporada mensual

$$V_{evaporado_anual} := V_{evaporado_mensual} \cdot 12 = 10088.06$$

$$\frac{m^3}{yr}$$

Volumen de agua evaporada anual

1.3.9.3 Infiltración

$$A_{\text{superficial}} := \left(b + 2 \cdot \sqrt{h^2 + \left(\frac{B-b}{2} \right)^2} \right) \cdot l = 22897.056 \text{ m}^2$$

Área superficial reservorio vacío

$$P := 5 \frac{\text{mm}}{\text{day}}$$

Pérdidas de agua según el suelo

Nota. Se considerará un tipo de suelo arcilla legamosa. Para mejores resultados, realizar ensayos de suelo in situ.

$$V_{\text{infiltracion_diario}} := A_{\text{superficial}} \cdot P = 114.485 \frac{\text{m}^3}{\text{day}}$$

Volumen de infiltración diario

$$V_{\text{infiltracion_mensual}} := 114.485 \cdot 30 = 3434.55 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}}$$

Volumen de infiltración mensual

$$V_{\text{infiltracion_anual}} := V_{\text{infiltracion_diario}} = 41814.856 \frac{\text{m}^3}{\text{yr}}$$

Volumen de infiltración anual

1.3.10 Dimensionando reservorio revestimiento de concreto lanzado

$h_2 := 3 \text{ m}$	Altura del reservorio
$B_2 := 112 \text{ m}$	Base mayor
$b_2 := 109 \text{ m}$	Base menor
$l_2 := 200 \text{ m}$	Largo del reservorio

1.3.10.1 Chequeando ángulo de talud

$$\text{atan} \left(\frac{h_2}{\frac{(B_2 - b_2)}{2}} \right) = 63.435 \text{ deg}$$

Nota. Se debe conservar la pendiente del talud una relación 1/2:1, para suelos arcillosos con recubrimiento con rocas.

$$A_{\text{reservorio2}} := \frac{(B_2 + b_2)}{2} \cdot h_2 = 331.5 \text{ m}^2 \quad \text{Área sección transversal (Trapezio)}$$

$$A_{\text{reservorio_planta2}} := (B_2) \cdot l_2 = 22400 \text{ m}^2 \quad \text{Área vista en planta}$$

$$V_{\text{reservorio2}} := A_{\text{reservorio2}} \cdot l_2 = 66300 \text{ m}^3 \quad \text{Volumen de unidad reservorio}$$

1.3.11 Determinar cantidad de reservorios en el sistema

$$n := \frac{V_{\text{almacenar}}}{V_{\text{reservorio2}}} = 14.781 \quad \text{Cantidad unidades de reservorios}$$

$$n := 15 \quad \text{Cantidad de reservorios aproximado}$$

1.3.12 Chequeo de área disponible

$$A_{\text{total2}} := n \cdot A_{\text{reservorio_planta2}} = 0.336 \text{ km}^2 \quad \text{Área superficial de ocupación del sistema de reservorios}$$

$$\text{if} (A_{\text{total2}} < (A_{\text{disponible}} - A_{\text{disponible}} \cdot 20\%)) , \text{“Cumple”} , \text{“No cumple”} = \text{“Cumple”}$$

Nota. Se restará un 20% del área disponible por movimiento de tierras de los taludes y el espacio entre reservorios para realizar el sistema de reservorios.

$$E_{A_{ocupacional}} := \frac{A_{total2}}{A_{disponible}} \cdot 100 = 69.8 \quad \text{Eficiencia área ocupacional}$$

1.3.13 Tiempo de llenado reservorio con canal de derivación de entrada

$$t_{canal_entrada} := \frac{V_{almacenar}}{Q_{canal_entrada}} = 113.426 \text{ day} \quad \text{Tiempo de llenado del reservorio con el canal de derivación de entrada.}$$

1.3.14 Precipitación del sitio

Según INE (2016). Precipitación del sitio "Sacatepéquez" 944 mm/anual medidos por la estación "Suiza Contenta". Se debe considerar que la precipitación máxima sucede en invierno, desde Mayo hasta Octubre.

$$P := 944 \frac{mm}{yr} = 2.585 \frac{mm}{day} \quad \text{Precipitación anual del sitio}$$

$$Q_{precipitacion} := A_{total2} \cdot P = 0.01 \frac{m^3}{s} \quad \text{Caudal de diseño debido a la precipitación anual del sitio}$$

$$t_{precipitacion} := \frac{V_{almacenar}}{Q_{precipitacion}} = 3.09 \text{ yr} \quad \text{Tiempo de llenado del reservorio con la precipitación anual del sitio}$$

1.3.15 Tiempo total de llenado

$$t_{total} := \frac{V_{almacenar}}{Q_{canal_entrada} + Q_{precipitacion}} = 103.067 \text{ day} \quad \text{Tiempo de llenado canal de derivación de entrada + precipitación del sitio en días}$$

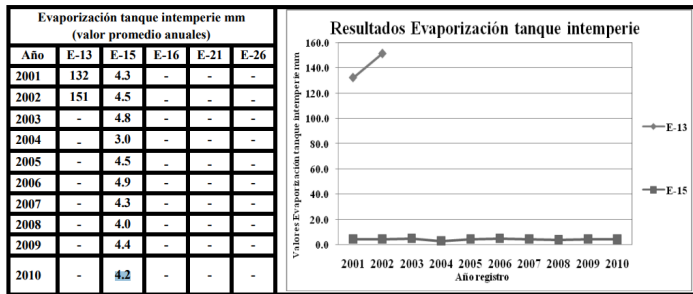
$$t_{total} = 0.282 \text{ yr} \quad \text{Tiempo de llenado canal de derivación de entrada + precipitación del sitio en años}$$

1.3.16 Pérdidas

1.3.16.1 Evaporación

Según estudios de INSIVUMEH (2010) la evaporación del tanque interperie anual es de 4.2 mm/año. Esta variable depende de muchos factores climatológicos, desde la irradianza del sol, nubosidad, presión atmosférica y otros.

Cuadro 3: "Evaporización anual (E-15 Estación INSIVUMEH)".



(Prado, 2012).

$$E_{p_anual} := 5 \frac{mm}{yr}$$

Evaporación promedia anual

Nota. Para ser conservadores tomaremos el máximo registrado. Además para obtener mejores resultados hacer ensayos de evaporación in situ.

$$E_{p_mensual} := \frac{5}{12} mm = 0.417 \frac{mm}{mes}$$

Evaporación promedia mensual

$$C := 6$$

Número de meses correspondientes al período crítico contados desde que el embalse está lleno hasta que esté vacío o meses de estiaje o secos

$$S := A_{total2} = 33.6 \text{ hectare}$$

Área de espejo de agua

$$V_{evaporado_mensual} := 10 \cdot 33.6 \cdot 0.417 \cdot 6 = 840.67$$

$$\frac{m^3}{mes}$$

Volumen de agua evaporada mensual

$$V_{evaporado_diario} := \frac{V_{evaporado_mensual}}{30} = 28.022$$

$$\frac{m^3}{day}$$

Volumen de agua evaporada mensual

$$V_{evaporado_anual} := V_{evaporado_mensual} \cdot 12 = 10088.06$$

$$\frac{m^3}{yr}$$

Volumen de agua evaporada anual

1.3.16.2 Infiltración

$$A_{\text{superficial}2} := \left(b_2 + 2 \cdot \sqrt{h_2^2 + \left(\frac{B_2 - b_2}{2} \right)^2} \right) \cdot l_2 = 23141.641 \text{ m}^2$$

Área superficial reservorio vacío

$$P_2 := 1.25 \frac{\text{mm}}{\text{day}}$$

Pérdidas de agua según paredes con revestimiento

Nota. Se considerará un tipo de revestimiento de concreto lanzado como un suelo arcilla muy impermeable.

$$V_{\text{infiltracion_diario}2} := A_{\text{superficial}2} \cdot P_2 = 28.927 \frac{\text{m}^3}{\text{day}}$$

Volumen de infiltración diario

$$V_{\text{infiltracion_mensual}2} := 23.142 \cdot 30 = 694.26 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}}$$

Volumen de infiltración mensual

$$V_{\text{infiltracion_anual}2} := V_{\text{infiltracion_diario}2} = 10565.38 \frac{\text{m}^3}{\text{yr}}$$

Volumen de infiltración anual

- .kml:** Un formato basado en XML para almacenar datos geográficos y su contenido relacionado y es un estándar oficial del Consorcio Geoespacial abierto.. 87
- .kmz:** Es un formato de archivo que se utiliza para mostrar datos geográficos en un navegador terrestre, como Google Earth. 81
- .prj:** Se utiliza para indicar los archivos de datos que son utilizados por varios programas para guardar los datos y la configuración del proyecto.. 87
- altimetría:** Es la parte de la topografía que se encarga a medir las alturas, estudia los métodos y técnicas para la representación del relieve del terreno así como para determinar y representar la altura; también llamada “cota”, de cada uno de los puntos, respecto de un plano de referencia.. 87
- buffer:** Cualquier área de estudio que sirve al propósito de mantener las entidades del mundo real distantes entre ellas.. 84, 87
- bypass hidráulico:** Indica una desviación, colocada en paralelo en un circuito hidráulico. Sirve para dejar fuera de servicio un dispositivo particular del circuito en el caso de que haya sufrido avería o darle mantenimiento.. 3, 12, 94, 95, 97
- cauce:** Concavidad del terreno, natural o artificial, por donde corre un río, un canal o cualquier corriente de agua.. 30
- caudal:** Flujo volumétrico de agua que transporta una corriente.. 41, 54, 59
- efímeras:** Que dura poco tiempo o es pasajero, solo presenta una superficie de agua de corta duración (horas, días).. 29
- estiaje:** Nivel más bajo o caudal mínimo de un río u otra corriente durante una época del año determinada.. 60

geoide: Modelo teórico determinado por la geodesia que describe la apariencia del planeta Tierra, en la cual, se tomará como superficie el nivel medio de los mares que la recorren. Determinar la magnitud y figura del globo terrestre para la elaboración de mapas.. 46

georreferenciados: Posicionamiento espacial de un cuerpo o masa de tierra en una localización geográfica en un sistema de coordenadas y datos en específico.. 81, 82

inherente: Que forma parte de su naturaleza y no depende de algún factor externo.. 54, 58, 59

intermitentes: Presenta una superficie de agua en un periodo de la época húmeda (días, semanas) y solo algunos años.. 29

Modelo de Elevación Digital: Representación visual y matemática de los valores de altura sobre el nivel del mar, proveniente de una nube de puntos densa georreferenciada.. 87

morfología: Es la disposición, la distribución o la forma de algo. El término se utiliza con distintos alcances específicos de acuerdo al contexto.. 7

PTAR: La planta de tratamiento de aguas residuales, consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes presentes en el agua efluente del uso humano.. 5, 9, 11, 81, 95, 97

shape: Formato de archivo informático propietario de datos espaciales desarrollado por la compañía ESRI, quien crea y comercializa software para Sistemas de Información Geográfica.. 3

traslape: Solapar o cubrir ya sea parcial o totalmente una cosa u otra.. 84

trasvasado: Son obras hidráulicas cuya finalidad es, incrementar la disponibilidad de agua en una población adicionando agua desde una cuenca vecina.. 1