

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



**Técnicas de captación de agua de lluvia aplicables en el corredor seco  
de Guatemala en Agua Blanca, Jutiapa**

Trabajo de graduación presentado por Marvin Jair Aguirre Sanchez para  
optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil

Guatemala,

2021



**Técnicas de captación de agua de lluvia aplicables en el corredor seco  
de Guatemala en Agua Blanca, Jutiapa**

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



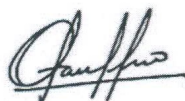
**Técnicas de captación de agua de lluvia aplicables en el corredor seco  
de Guatemala en Agua Blanca, Jutiapa**

Trabajo de graduación presentado por Marvin Jair Aguirre Sanchez para  
optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Civil

Guatemala,

2021

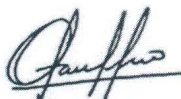
Vo.Bo.:



(f)

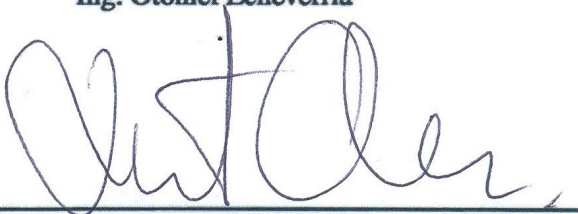
Ing. Otoniel Echeverría

Tribunal Examinador:



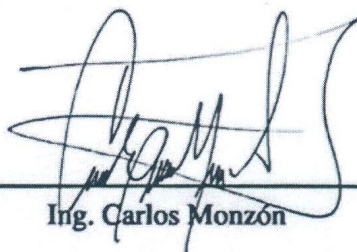
(f)

Ing. Otoniel Echeverría



(f)

Ing. Roberto Godo



(f)

Ing. Carlos Monzón

Fecha de aprobación: Guatemala, 9 de diciembre de 2021.

## **PREFACIO**

El corredor seco de Guatemala es una región que se ve afectada por la falta de lluvias y como consecuencia la falta de agua en los municipios que los conforman, varios de ellos dedicados a la agricultura y ganadería como principales fuentes de ingresos económicos. Es importante buscar soluciones a esta problemática, por eso en el presente trabajo se presentan diferentes tipos de sistemas de captación de agua de lluvia y se escoge el que mejor se adapte al municipio de Agua Blanca, Jutiapa, utilizando diferentes herramientas como sistemas de información geográficos, imágenes satelitales de la NASA e información de las estaciones meteorológicas del INSIVUMEH.

Este trabajo está dedicado primeramente a Dios, por darme la fuerza, sabiduría y oportunidad para realizar este trabajo; a mis padres, Delmy Sanchez y Marvin Aguirre, quienes me han apoyado a lo largo de mi vida y son pilar importante de este logro; a mi hermana Delmy Aguirre por todo el apoyo que siempre me ha dado.

Agradezco al ingeniero Otoniel Echeverría por la asesoría y ayuda brindada para la realización del trabajo; al ingeniero Roberto Godo por el apoyo durante la carrera y a todos los catedráticos con quien tuve la oportunidad de aprender y formarme como profesional y agradezco a todas las personas, amigos y familiares que fueron parte de esta etapa en mi vida.

## CONTENIDO

	<b>Página</b>
<b>PREFACIO</b> .....	IV
<b>LISTA DE CUADROS</b> .....	VIII
<b>LISTA DE GRÁFICOS</b> .....	XI
<b>LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS</b> .....	XIII
<b>RESUMEN</b> .....	XIV
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>II. ANTECEDENTES</b> .....	<b>2</b>
<b>III. JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>3</b>
<b>IV. OBJETIVOS</b> .....	<b>4</b>
A    Objetivo general .....	4
B    Objetivos específicos .....	4
<b>V. ALCANCE</b> .....	<b>5</b>
<b>VI. Marco teórico</b> .....	<b>6</b>
A    Corredor seco .....	6
1    Contexto regional .....	6
2    Contexto nacional.....	7
3    Características del corredor seco guatemalteco.....	8
4    Agua y cuencas en el corredor seco guatemalteco .....	9
5    Aspecto socioeconómico de la región del corredor seco guatemalteco	10
6    Problemáticas en el corredor seco .....	10
7    Jutiapa en el corredor seco guatemalteco .....	11
B    Agua Blanca, Jutiapa.....	12
C    Precipitación aprovechable .....	12
1    La lluvia con la que se puede contar.....	13
D    Técnicas generales captación de agua de lluvia.....	15
1    Microcaptación .....	15
2    Macrocaptación .....	15
3    Derivación de manantiales y cursos de agua mediante Bocatomas.....	15
4    Cosecha de agua de techos de vivienda y otra estructuras impermeables .	16
5    Captación de aguas subterráneas y freáticas.....	16

6	Captación de agua atmosférica .....	16
E	Técnicas de macrocaptación de captación de agua de lluvia .....	17
1	Macrocaptación en bordos trapezoidales.....	17
2	Macrocaptación en bordos rectangulares (Teras).....	17
3	Bordos permeables de piedra en contorno.....	18
4	Captación de cuenca y embalse superficial para riego .....	19
F	Cuenca Ostúa-Güija .....	29
1	Localización y ubicación .....	31
2	Geología de la región.....	31
G	Agua de lluvia .....	31
1	Uso de vivienda .....	33
2	Consumo animal.....	34
H	Antecedentes de captación de agua de lluvia.....	35
1	Antecedentes de captación de agua de lluvia en Guatemala .....	35
2	Antecedentes de captación de agua de lluvia internacionalmente.....	39
I	Análisis foda de los diferentes tipos de macrocaptación.....	41
1	Análisis foda de bordos trapezoidales y rectangulares.....	41
2	Análisis foda de bordos de piedra. ....	42
3	Análisis foda de captación de cuenca y embalse superficial para riego..	42
<b>VII. ANÁLISIS Y RESULTADOS.....</b>		<b>44</b>
A	Recomendaciones para la elección del sistema de captación.....	44
B	Lluvia en el municipio .....	46
1	Estaciones meteorológicas del INSIVUMEH a nivel nacional .....	46
2	La ceibita, Monjas, Jalapa .....	47
3	Asunción Mita .....	48
4	Esquipulas .....	49
5	Polígonos de Thiessen .....	50
6	Corrección de datos faltantes de la estación de Asunción Mita .....	51
7	Datos de Giovanni NASA .....	52
8	Datos de temperatura de la estación meteorológica de Asunción Mita	56
C	Caracterización de la cuenca Ostúa-Güija .....	58
1	Ubicación en Guatemala de la cuenca.....	58
2	Parámetros morfométricos generales .....	59
3	Parámetros de forma de la cuenca .....	60
4	Parámetros morfométricos asociados a la red de drenajes de la cuenca	60
5	Parámetros de relieve de la cuenca.....	60
6	Curva hipsométrica e histograma de altitudes de la cuenca .....	61
D	Caracterización de Agua Blanca .....	62



1	Modelo de elevación digital.....	62
2	Curvas de nivel Agua Blanca .....	63
3	Técnicas artesanales de captación de lluvia en el municipio.....	64
4	Redes de drenaje del municipio.....	65
5	Economía del municipio.....	66
E	Elección del sistema de captación.....	67
F	Diseño del sistema de captación .....	68
G	Análisis y discusión de los resultados obtenidos .....	71
<b>VIII. CONCLUSIONES.....</b>		<b>75</b>
<b>IX. RECOMENDACIONES.....</b>		<b>76</b>
<b>X. BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>78</b>
<b>XI. APÉNDICES.....</b>		<b>80</b>
A	Fotos de captación existente.....	80
B	Mapas desarrollados.....	84
<b>XII. Glosario .....</b>		<b>93</b>

## LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
1 Kilómetros lineales de la red hidrográfica en el corredor seco por departamento.....	9
2 probabilidad de lluvia en Esquipulas .....	14
3 Áreas Ostúa-Güija.....	30
4 Criterios para selección del sistema de captación. FAO, 2013.....	44
5 Sistemas de captación y finalidad de uso. FAO, 2013.....	45
6 Resumen de lluvia de 1998 a 2018 en la estación de La Ceibita, en Monjas, Jalapa.....	47
7 Resumen de lluvia de 1998 a 2018 en la estación de Asunción Mita, Jutiapa. ....	48
8 Resumen de lluvia de 1998 a 2018 en la estación de Esquipulas, Chiquimula.....	49
9 Resumen de lluvia de 1998 a 2018 corregido, en la estación de Asunción Mita, Jutiapa.....	51
10 Tabla de información para obtener la lluvia disponible el 75 % de las veces en Agua Blanca, Jutiapa.....	51
11 Resumen de lluvia de 1998 a 2018 de la misión TRMM.....	54
12 Tabla de información para obtener la lluvia disponible el 75 % de las veces en Agua Blanca, Jutiapa.....	55
13 Temperatura desde el año 1998 al año 2000 en la estación meteorológica de Asunción Mita, Jutiapa.....	56
14 Parámetros morfométricos de la cuenca.....	60
15 Parámetros de forma de la cuenca.....	60
16 Parámetros morfométricos asociados a la red de drenajes de la cuenca .....	61
17 Parámetros del relieve de la cuenca.....	61
18 Valores del coeficiente de escorrentía superficial (C) .....	70
19 Lluvia total en milímetros en las estaciones cercanas a Agua Blanca, Jutiapa en los años 2014 y 2015 .....	72

## LISTA DE GRÁFICOS

Ilustración	Página
1	Corredor seco centroamericano .....7
2	Corredor seco guatemalteco y riesgos de sequías. .... 8
3	Mapa de kilómetros lineales de la red hidrográfica .....9
4	Mapa de Jutiapa .....11
5	Mapa de Agua Blanca .....12
6	Ejemplo de precipitación a través de los años .....13
7	Técnicas de captación según su uso .....16
8	Esquema de bordo trapezoidal .....17
9	Esquema de bordo rectangular .....18
10	Esquema de bordo permeable .....19
11	Esquema del terreno de la técnica de captación de cuenca y embalse superficial para riego .....20
12	Esquema del sistema de aprovechamiento de la escorrentía superficial en embalses para riego de salvación por gravedad .....21
13	Esquema Embalse de tierra con doble compartimiento .....22
14	Disposición espacial de los elementos básicos del riego de salvación..... 24
15	Esquema de la localización de los elementos básicos del embalse .....28
16	Cuenca Ostúa-Güija .....31
17	Indicaciones para manejar el recurso hídrico según las condiciones climáticas. ....32
18	Captación en casa al nordeste de Brasil .....34
19	Consumo de agua de diferentes especies. ....34
20	Consumo de agua de diferentes bovinos. ....35
21	Consumo de agua de ganado de carne .....35
22	Sistema de captación de agua de lluvia realizado por la municipalidad de la Ciudad de Guatemala .....36
23	Ubicación de aguadas en el área de estudio .....37
24	Esquema de las aguadas .....38
25	Reservorios en aldea el Tempisque, Agua Blanca, Jutiapa .....39
26	Sistema de captación <i>in situ</i> para cultivos anuales .....40
27	Sistema de captación <i>in situ</i> para cultivos perennes .....40
28	Análisis foda de bordos trapezoidales y rectangulares.....41
29	Análisis foda de bordos de piedra .....42

30	Análisis foda de captación de cuenca y embalse superficial para riego .....	43
31	Estaciones meteorológicas del INSIVUMEH en el país.....	47
32	Gráfico de resumen de lluvia de 1998 a 2018 en la estación de La Ceibita, en Monjas, Jalapa. ....	48
33	Gráfico de resumen de lluvia de 1998 a 2018 en la estación de Asunción Mita, Jutiapa.....	49
34	Gráfico de resumen de lluvia de 1998 a 2018 en la estación de Esquipulas, Chiquimula.....	50
35	Polígonos de Thiessen de las estaciones cercanas a Agua Blanca.....	50
36	Gráfico de disponibilidad de Lluvia con datos de la estación de Asunción Mita, Jutiapa.....	52
37	Obtención de datos en la plataforma de Giovanni NASA.....	53
38	Base de datos de la lluvia mensual en Agua Blanca de la misión TRMM.....	53
39	Gráfico de resumen de lluvia de 1998 a 2018 en Agua Blanca, Jutiapa, de la misión TRMM.....	54
40	Gráfico de disponibilidad de Lluvia con datos de la misión TRMM .....	56
41	Temperaturas medias anuales desde el año 2000 al año 2018 en la estación meteorológica de Asunción Mita .....	57
42	Temperaturas medias mensuales desde el año 2000 al año 2018 en la esta- ción meteorológica de Asunción Mita .....	58
43	Localización de la cuenca Ostúa-Güija en Guatemala.....	59
44	Curva hipsométrica de la cuenca.....	62
45	Histograma de altitudes de la cuenca .....	63
46	Modelos de elevación digital de Agua Blanca.....	64
47	Curvas de nivel de Agua Blanca .....	65
48	Ejemplo de laguna artesanal para captar el agua de lluvia.....	66
49	Redes de drenaje de quebradas y riachuelos en Agua Blanca. ....	67
50	Lluvia anual en milímetros en la estación de Asunción Mita desde 1998 a 2018 . . . . .	73
51	Área de siembra en Agua Blanca, Jutiapa.....	75
52	Anexo 1 - Ejemplo de laguna artesanal para captar el agua de lluvia .....	80
53	Anexo 2 - Ejemplo de laguna artesanal para captar el agua de lluvia .....	81
54	Anexo 3 - Ejemplo de laguna artesanal para captar el agua de lluvia .....	82
55	Anexo - 4 Vista satelital de la laguna artesanal para captación de agua de lluvia.....	83

56	Mapa 1. Red hídrica de la cuenca Ostúa-Güija .....	84
57	Mapa 2. Localización de la cuenca Ostúa-Güija.....	85
58	Mapa 3. Agua Blanca en la cuenca Ostúa-Güija.....	86
59	Mapa 4. Modelo de elevación digital Agua Blanca .....	87
60	Mapa 5. Curvas de nivel Agua Blanca.....	88
61	Mapa 6. Estaciones del INSIVUMEH cerca de Agua Blanca .....	89
62	Mapa 7. Polígonos de Thiessen.....	90
63	Mapa 8. Potenciales redes de drenaje para generar embalses .....	91



## LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

<b>Acrónimo</b>	<b>Español</b>	<b>Inglés</b>
<b>DEM</b>	Modelo de Elevación Digital	Digital Elevation Model
<b>EMBRAPA</b>	Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria.	
<b>FAO</b>	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura	Food and Agriculture Organization
<b>INSIVUMEH</b>	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala.	
<b>MAGA</b>	Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación	
<b>QGIS</b>	Quantum GIS	Quantum GIS
<b>SIG</b>	Sistema de Información Geográfica	Geographic Information System

## **RESUMEN**

En este trabajo se investigó y trataron técnicas de captación de agua, específicamente de agua de lluvia, el trabajo está enfocado en el municipio de Agua Blanca, al norte del departamento de Jutiapa, este municipio se encuentra de la región del corredor seco según el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación de Guatemala. El municipio de Agua Blanca, al igual que la gran mayoría de municipios y comunidades del corredor seco basa su economía en la ganadería y agricultura, en cultivos como el maíz, el tomate, arroz, pepino, entre otros.

Para este trabajo se utilizaron diferentes fuentes de información del INSIVUMEH y NASA para obtener los valores de lluvia promedio en el municipio a analizar. También en el trabajo se investigó sobre experiencias previas de captación de agua de lluvia en otros países con condiciones similares y también experiencias previas en el propio municipio de Agua Blanca, además se encuentra información sobre las principales actividades económicas del municipio.

Con este trabajo se pretende dar soluciones para mejorar la calidad de vida de la comunidad, así como el desarrollo de comunidades cercanas, ya que este trabajo de investigación puede ser de utilidad para aplicar en diversos municipios y lugares que lo necesiten, se encuentren dentro del corredor seco o en alguna otra región de la república.



## I. INTRODUCCIÓN

Guatemala es un país que tiene la ventaja de contar con una ubicación geográfica cerca del Ecuador, lo que beneficia a lo largo del año a tener un clima agradable, además de contar con salida hacia los dos océanos lo que es una ventaja para el comercio. A pesar de tener estas características, Guatemala cuenta con una región en el país que se denomina el corredor seco, que es una región ubicada en valles en medio de regiones montañosas que evitan que la humedad y por ende las lluvias lleguen en cantidades como lo hacen en otras regiones del país, esta es una región con potenciales riesgos de sequías especialmente en los valles de oriente, que se encuentran en departamentos como Zacapa, El Progreso, Chiquimula y Jutiapa. (Tórtola, 2015)

La lluvia es muy importante para que se cumpla con el ciclo hidrológico y exista el recurso hídrico en una región, en este caso en la región del corredor seco no se cuenta con cantidades de precipitaciones constantes y no es lo mismo todos los inviernos, en algunos inviernos los valores de precipitación pueden encontrarse por arriba de lo normal y otros inviernos por debajo de lo normal, esto es un gran problema en esta región, ya que su economía se basa principalmente en la agricultura y la ganadería, que necesitan de agua para que estas puedan llevar a cabo. Al no presentarse precipitaciones las cosechas corren riesgo de pérdida total, esto trae varios problemas, como la desnutrición, ya que cuando no se pueden dar las cosechas las familias presentan problemas económicos que conlleva con problemas de desarrollo y nutrición de la niñez, que es un problema nacional, pero que en épocas de sequía se agrava en el corredor seco.

Una de las soluciones que podemos encontrar ante el problema de la falta de agua, es la captación de agua de lluvia, que es una manera de amortiguar el impacto que genera la falta de agua en una región o comunidad determinada, existen diversos métodos aplicados en diferentes países de la región latinoamericana, cada uno de ellos se adapta a las necesidades específicas de cada lugar. En el siguiente trabajo de investigación se encontrará información de diversas fuentes sobre diferentes sistemas de captación de agua de lluvia aplicables en Agua Blanca, Jutiapa. Se analizarán las diversas opciones para escoger el mejor sistema de captación que mejor se adapte al municipio con diferentes criterios como la lluvia promedio, experiencias previas y la economía del lugar.

El uso de SIG en este trabajo es muy importante, específicamente el programa QGIS, ya que este es útil para localizar puntos estratégicos para la captación de agua de lluvia por medio de modelos de elevación digital obtenidos por satélites de la NASA, además de realizar un estudio de la morfometría de la cuenca Ostúa-Güija, en la que se ubica el municipio de Agua Blanca. El uso de estas tecnologías demuestra que la profesión del ingeniero civil posee muchos campos de aplicación, además que con este trabajo se pretende demostrar que los sistemas de información geográficos pueden ser útiles para resolver problemáticas nacionales, en este caso la falta de agua en el corredor seco.

## II. ANTECEDENTES

Es importante conocer el contexto en el que se encuentra el corredor seco centroamericano, especialmente el corredor seco guatemalteco, una región que se ve afectada por constantes sequías que generan diversos problemas en la región, conocer la delimitación, la caracterización socioeconómica y ambiental del sitio y propuestas para mejorar el bienestar humano es de suma importancia como podemos encontrar en (PNUD, 2013) y en (Van De Zee *et al.*, 2012), donde también se encuentra en detalle los municipios y la gravedad que se ven afectados, además se encuentra información de como los pequeños productores de granos básicos sufren los efectos de la sequía en esta región.

Como el corredor seco en Guatemala, existen otras regiones alrededor del planeta que sufren de sequías y falta de agua, como podemos observar en el manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia, experiencias de América Latina (FAO, 2000), en este documento se encuentra información técnica y experiencia de diferentes tipos de captación de agua de lluvia en los países de México, Brasil, Argentina, Chile y Perú, cada sistema de captación de agua de lluvia expuesto en el documento mencionado, ofrece una solución innovadora y que se adapta a las diferentes características y necesidades de las regiones específicas de cada país. Para cada sistema de captación se ofrecen antecedentes históricos, Aspectos técnicos e impactos socioeconómico y ambiental. En este documento se puede encontrar información útil e interesante, ya que los sistemas de captación propuesto pueden ser aplicados en diferentes regiones de Guatemala según las necesidades específicas de cada lugar.

A nivel nacional ya se cuenta con investigaciones sobre la captación del agua de lluvia, como se puede encontrar en (Martínez, 2007), donde se puede encontrar un estudio sobre estructuras de captación y aprovechamiento de agua de lluvia conocidas como “aguadas”, esto para dar solución para dar abastecimiento de agua de consumo animal en la época seca, en la zona conocida como el Chal, ubicada en los ubicada entre los municipios de Santa Ana y Dolores del departamento de Petén.

### III. JUSTIFICACIÓN

Los departamentos que se encuentran en el corredor seco del país y además se encuentran en la zona oriente de Guatemala basan gran parte de su economía en la ganadería y en la agricultura, por lo tanto, el acceso al agua es muy importante para el desarrollo de la región. Una manera de poder alivianar las sequías en esta región es el aprovechamiento y la captación de agua de lluvia para contar con ella cuando llegue la época seca y así extender la disponibilidad de agua durante todo el año.

Realizando las investigaciones necesarias de proyectos de captación de agua de lluvia en otros países, como lo puede ser en el nordeste brasileño, que tiene problemas con el manejo y la conservación del agua y suelo, esto debido a las bajas precipitaciones y los suelos pedregosos del lugar, Brasil tiene experiencia en temas de captación de agua de lluvia en regiones áridas y semi áridas. (FAO, 2000). Además, se harán los estudios necesarios en la región del corredor seco de Guatemala, se tiene como objetivo definir que métodos de captación de agua de lluvia son los que mejor se adaptan a las características físicas y las necesidades de la región, además de ayudar a las comunidades que se encuentran en el corredor seco de Guatemala.

Este proyecto es innovador ya que para poder realizar los estudios de la zona a estudiar se utilizarán herramientas GIS, en este caso el programa QGIS con su extensión de GRASS para el análisis de cuencas, sub-cuencas y causas en el lugar de estudio por medio de modelos de elevación digital que se obtendrán de instituciones internacionalmente reconocidas como lo es la NASA, además de obtener datos del clima con información que posee esta misma institución que serán útiles en el trabajo.

Otros casos similares al de Brasil y que se pueden adaptar para el corredor seco de Guatemala son los proyectos que se han realizado en Chile para captar agua de lluvia y utilizar vertientes en el secano, también hay casos en Argentina como el del aprovechamiento del recurso hídrico por medio de mallines de la Patagonia. (FAO, 2000)

La Organización de las Naciones unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por su siglas en inglés) a través de su proyecto NAP y trabajando en conjunto con el ministerio de agricultura, como forma para la adaptación de la agricultura ante el cambio climático que afecta el corredor seco, ha realizado reservorios de agua en la aldea del Tempisque en Agua Blanca, Jutiapa, para combatir las canículas que se generan en el sector que llegan a tardar hasta 40 días, como se menciona en (FAO, 2019), a un agricultor es beneficiado de un reservorio con una capacidad de 6,500 m<sup>3</sup>, con esto puede suministrar agua a sus 10 manzanas de parcela para cultivar arroz. (FAO, 2000). Con este ejemplo que ya se aplica en la actualidad se ve que la captación de agua de lluvia es una buena solución para los problemas generados por el cambio climático en el corredor seco, que ya son una realidad. Por esto se realiza este trabajo, para brindar soluciones a las problemáticas generadas por la falta de lluvias en el sector.

## **IV. OBJETIVOS**

### **A. Objetivo general**

Evaluar que tipo de captación de agua de lluvia se adapta mejor a las condiciones de Agua Blanca.

### **B. Objetivos específicos**

- Identificar técnicas de captación que se hayan utilizado en otros países y puedan aplicarse en Guatemala
- Aplicar sistemas de información geográficos para definir los lugares estratégicos de captación.
- Comparar que sistemas de captación son más convenientes en el municipio.

## V. ALCANCE

En Guatemala actualmente existen proyectos de captación de agua de lluvia como se menciona en (FAO, 2019), donde específicamente en Agua Blanca se realizan reservorios para ayudar a los agricultores en la siembra de tomate, también se han realizado investigaciones y proyecto sobre otros métodos de captación de agua como el de captación de aguade techos como se muestra en (Gonzalez, 2017).

El presente trabajo está dedicado a la investigación sobre qué tipos de captación de agua de lluvia pueden aplicarse en Agua Blanca, Jutiapa. Se presentan datos como el estudio de la cuenca donde está ubicado el municipio, datos sobre lluvia mensual, economía y características fisiográficas del lugar apoyando en sistemas de información geográficos.

## VI. Marco teórico

### A. Corredor seco

#### 1. Contexto regional.

Como consecuencia del cambio climático las amenazas por sequías y otros eventos meteorológicos ha aumentado, estos efectos tienen consecuencias en la producción agrícola y amenazan la seguridad alimentaria de la población. El término de corredor seco, a pesar de ser un fenómeno climático, tiene una base ecológica, el corredor seco define un grupo de ecosistemas que combinan la ecorregión del bosque tropical seco de Centroamérica, que inicia en Chiapas, al sur de México, y abarca las zonas bajas de la vertiente del Pacífico y gran parte de la región central premontana de Guatemala, El Salvador, Honduras, Nicaragua, y parte de Costa Rica (Hasta Guanacaste), en Honduras incluyen fragmentos que se aproximan a la costa del Caribe. (Van De Zee *et al.*, 2012)

Actualmente el bosque se encuentra muy fragmentado y los efectos climáticos adversos recaen sobre los organismos vivos y la población humana que habita en la ecorregión. El corredor seco centroamericano presenta un fenómeno cíclico de sequía, que causa situaciones de crisis y desastres en términos sociales como ambientales y productivos económicos en ámbitos nacionales y regionales. La sequía en Centroamérica tiene un concepto diferente a la sequía en otras partes del mundo. Por lo general, la sequía en Centroamérica es cíclica y está relacionada estrechamente con el período de oscilación de sur. La Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD) informa que en los últimos 60 años se han registrado alrededor de 10 eventos de “el niño” que se extienden alrededor de 12 y 36 meses. (Van De Zee *et al.*, 2012)

La sequía que se presenta en Centroamérica está más relacionada con la distribución anómala de las precipitaciones dentro del período lluvioso, en especial cuando inicia la lluvia, el receso de la canícula y su reinicio, en 79 % de los 1,800 casos que se han documentado, la sequía dura un período de 2 meses o menos, y en los eventos más críticos, la anomalía aumenta por un déficit de precipitación total anual o se prolonga durante todo el período de la postera. Por las características de la sequía, esta afecta de mayor manera a la agricultura y la ganadería (en ese orden) que al sistema de recarga de las fuentes de agua, la que resulta afectada es la recarga de los acuíferos de montañas, con menor volumen de almacenamiento. Con lo mencionado la sequía que se produce en la región si llega a ser lo suficientemente acentuada puede ser una sequía agrícola con tendencia transformarse a una sequía agropecuaria, sin embargo, la sequía no es tan acentuada como para convertirse en una sequía hidrológica severa, algunos de los efectos hidrológicos que se presente pueden ser por un mal manejo de la cuenca, así que este efecto se puede aminorar. (Van De Zee *et al.*, 2012)

Las diferentes zonas por el nivel de efecto de la sequía en el corredor seco de Centroamérica son las siguientes:

- Zona de efecto severo, en esta zona la precipitación pluvial es baja (800-1,200 mm de lluvia al año), hay más de 6 meses secos, la evaporación es alta, en promedio mayor a 200 mm al mes, se caracteriza por tener arbustales, sabana de graminoides

con arbustos deciduos, bosques deciduos con muchas especies de hojas compuestas micro-foliadas. (Van De Zee *et al.*, 2012)

- Zona de efecto alto, en esta zona la precipitación pluvial es media (1,200-1,600 mm de lluvia al año), hay de 4 a 6 meses secos, la evaporación es media, en promedio 130 mm al mes, se caracteriza por tener , bosques deciduos, sabana de gramínoideas con arbustos deciduos, pinares y bosques mixtos.(Van De Zee *et al.*, 2012)
- Zona de efecto bajo, en esta zona la precipitación pluvial es alta (1,600-2,000 mm de lluvia al año), hay de 4 a 6 meses secos, la evaporación potencial es baja, en promedio menor a 100 mm al mes, se caracteriza por tener, bosques deciduos, bosques estacionales siempre verde, algunos pinares y bosques mixtos y riberinos. (Van De Zee *et al.*,2012)

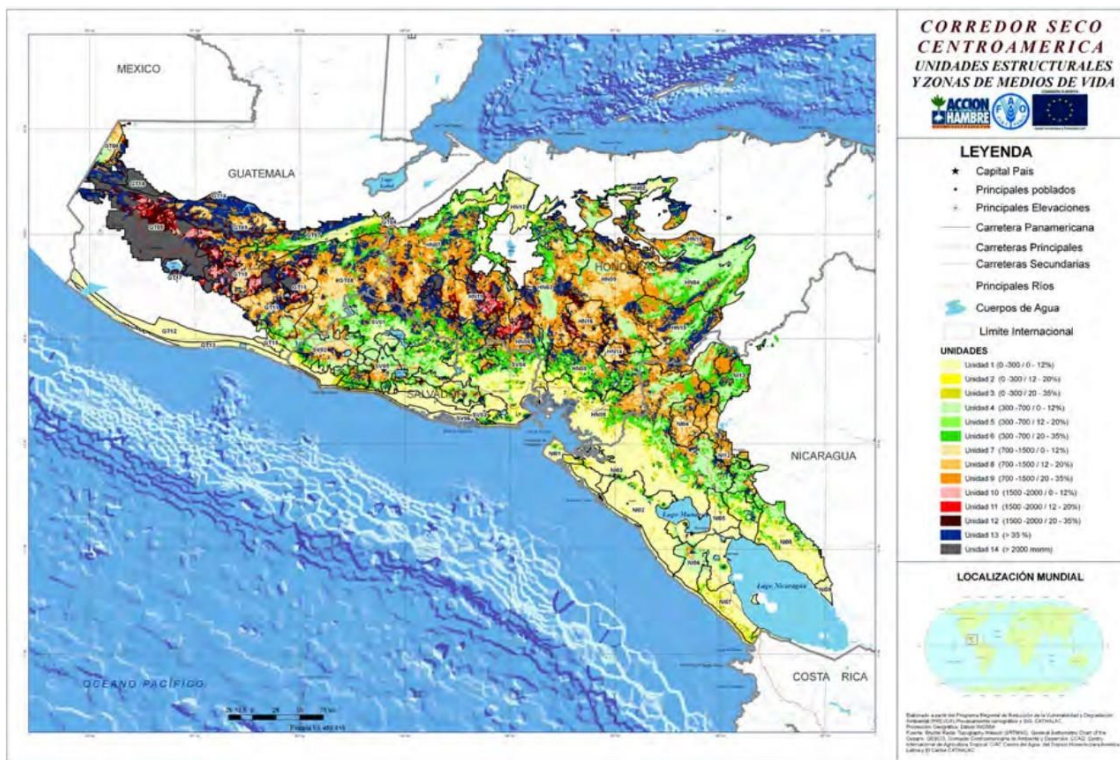


Figura 1. Corredor seco centroamericano.

(Van De Zee *et al.*, 2012)

## 2. Contexto nacional.

Se denomina corredor seco de Guatemala a la situación a la que se encuentran expuestas zonas de algunos departamentos de la república guatemalteca, es caracterizada por ser una región semiárida que se encuentra muy expuesta a riesgos de sequías, la región abarca un total de 10,200km<sup>2</sup> según el Ministerio de Agricultura, en esta región se encuentran zonas de los departamentos de Quiché, Baja Verapaz, Jalapa, Chiquimula, Zacapa, Guatemala, El Progreso y Jutiapa, con un total de 46 municipios. La región que más se ve afectada por este fenómeno es la región oriental debido a la deforestación, su altura sobre el nivel del mar, que impide que las lluvias lleguen al encontrarse entre 2 regiones montañosas, en total esta región abarca un 54% del total de la región afectada. Los principales problemas de la región es el

aumento de la temperatura y cada vez se reduce más el recurso hídrico. (Tórtola, 2015)

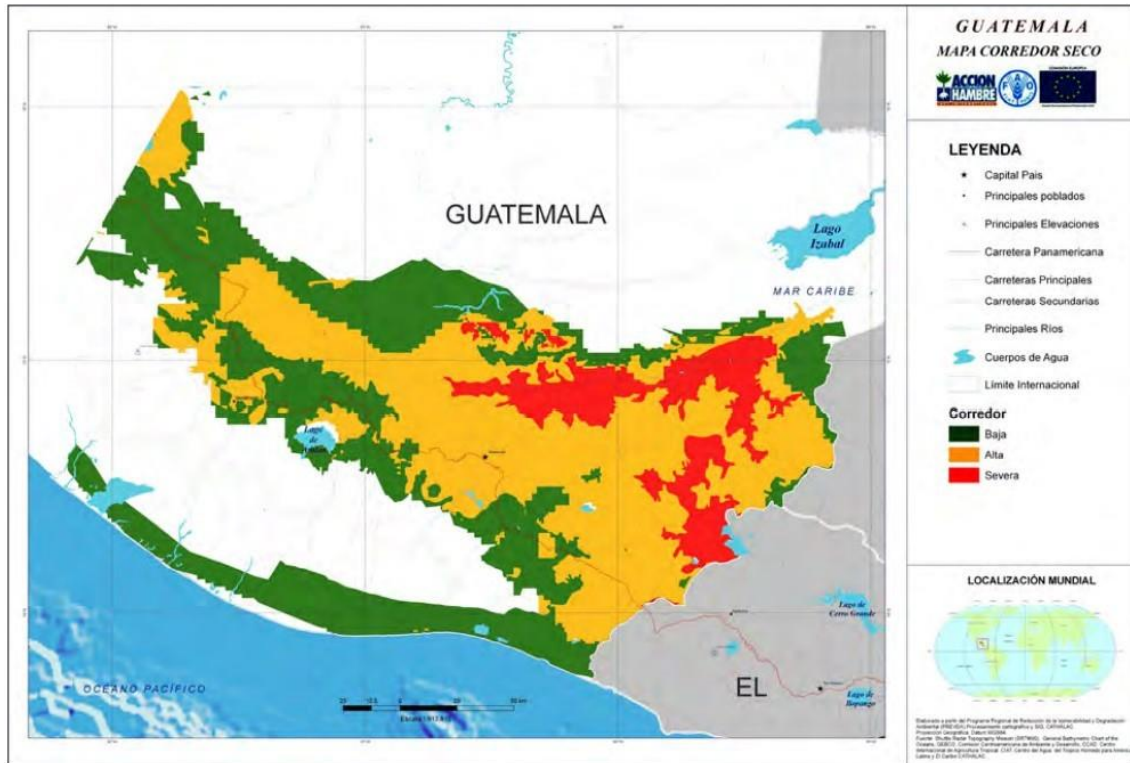


Figura 2. Corredor seco guatemalteco y riesgos de sequías.

(Van De Zee *et al.*, 2012)

### 3. Características del corredor seco guatemalteco.

Las proyecciones del Instituto Nacional de Estadística para el año 2010 se indicaba que un aproximado de 1,251,324 personas habitan en la región. La región del corredor seco contiene zonas de monte espinoso y bosque seco y ha sido clasificada como una ecorregión, el corredor seco es la región centroamericana con la menor cantidad de precipitaciones por año. Los principales bosques secos de la región están al nororiente del país y cuenta con una precipitación pluvial de 500 mm al año, mientras que las regiones montañosas que rodean el corredor seco presentan hasta 3,000 mm de lluvia anualmente. (MAGA, 2010)

En lo que respecta a los factores meteorológicos de la región, la temperatura media ronda entre los 22 y 28 °C y la Humedad relativa promedio esta entre el 60 y el 72 %. (MAGA, 2010)

Al corredor seco lo atraviesan cuatro grandes ríos: Chixoy, Motagua, Grande y Grande. La región cuenta con gran cantidad de cuencas perennes que provienen de las montañas, el drenaje de la superficie es muy alto, especialmente en alta Verapaz. (Tórtola, 2015)

Los suelos del corredor seco son heterogéneos con predominancia de materiales de origen volcánico y metamórficos, los suelos son muy erosionables debido a la presencia de ceniza volcánica en los suelos y estos son de mediana y baja fertilidad. (MAGA, 2010)



#### 4. Agua y cuencas en el corredor seco guatemalteco.

Al corredor seco lo atraviesan cuatro grandes ríos:

- Chixoy
- Motagua
- Grande
- Ostúa

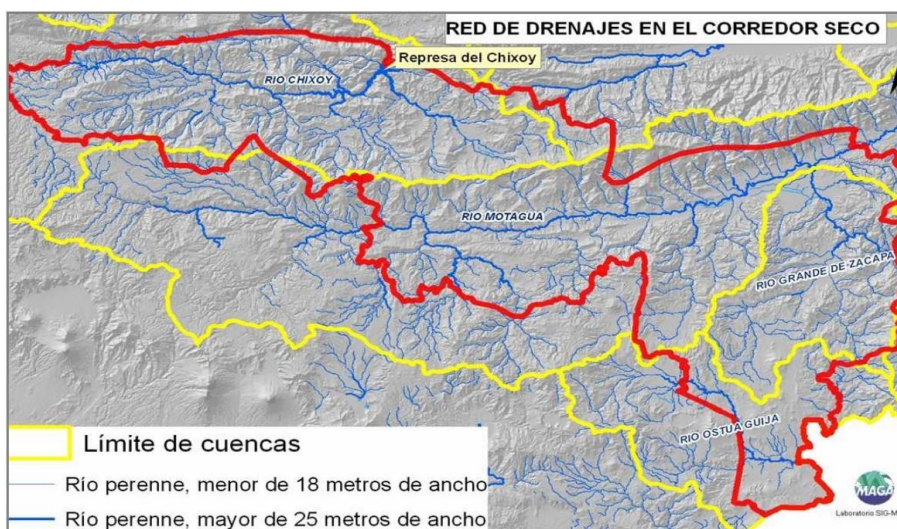


Figura 3. Mapa de kilómetros lineales de la red hidrográfica (MAGA, 2010)

DEPARTAMENTO	DESCRIPCION	KM s	(%)
BAJA VERAPAZ	Curso de agua Intermitente (wadi o aluvión) menor de 18 metros de ancho	5,970.45	88.35
	Río Perenne, menor de 18 metros de ancho	777.84	11.51
	Zanja -acequia- Perenne, menor de 25 metros de ancho	9.57	0.14
	<b>Total BAJA VERAPAZ</b>	<b>6,757.86</b>	<b>100.00</b>
QUICHE	Curso de agua Intermitente (wadi o aluvión) menor de 18 metros de ancho	4,425.72	83.61
	Río Perenne, menor de 18 metros de ancho	853.89	16.13
	Zanja -acequia- Perenne, menor de 25 metros de ancho	13.68	0.26
	<b>Total QUICHE</b>	<b>5,293.30</b>	<b>100.00</b>
EL PROGRESO	Curso de agua Intermitente (wadi o aluvión) menor de 18 metros de ancho	3,550.75	88.60
	Río Perenne, menor de 18 metros de ancho	445.72	11.12
	Zanja -acequia- Perenne, menor de 25 metros de ancho	11.35	0.28
	<b>Total EL PROGRESO</b>	<b>4,007.83</b>	<b>100.00</b>
CHIQUMULA	Curso de agua Intermitente (wadi o aluvión) menor de 18 metros de ancho	2,111.35	82.66
	Río Perenne, menor de 18 metros de ancho	442.59	17.33
	Zanja -acequia- Perenne, menor de 25 metros de ancho	0.25	0.01
	<b>Total CHIQUIMULA</b>	<b>2,554.18</b>	<b>100.00</b>
ZACAPA	Curso de agua Intermitente (wadi o aluvión) menor de 18 metros de ancho	2,759.97	84.19
	Río Perenne, menor de 18 metros de ancho	450.54	13.74
	Zanja -acequia- Perenne, menor de 25 metros de ancho	67.92	2.07
	<b>Total ZACAPA</b>	<b>3,278.43</b>	<b>100.00</b>
JALAPA	Curso de agua Intermitente (wadi o aluvión) menor de 18 metros de ancho	1,668.43	85.24
	Río Perenne, menor de 18 metros de ancho	288.96	14.76
	<b>Total JALAPA</b>	<b>1,957.38</b>	<b>100.00</b>
JUTIAPA	Curso de agua Intermitente (wadi o aluvión) menor de 18 metros de ancho	782.59	83.02
	Río Perenne, menor de 18 metros de ancho	142.66	15.14
	Zanja -acequia- Perenne, menor de 25 metros de ancho	17.35	1.84
	<b>Total JUTIAPA</b>	<b>942.61</b>	<b>100.00</b>
GUATEMALA	Curso de agua Intermitente (wadi o aluvión) menor de 18 metros de ancho	805.39	89.63
	Río Perenne, menor de 18 metros de ancho	93.15	10.37
	<b>Total GUATEMALA</b>	<b>898.54</b>	<b>100.00</b>
<b>TOTAL GENERAL</b>		<b>25,690.12</b>	

Cuadro 1  
Kilómetros lineales de la red hidrográfica en el corredor seco por departamento (MAGA, 2010)

## **5. Aspecto socioeconómico de la región del corredor seco guatemalteco.**

Son diversas las actividades que se realizan en el corredor seco para el sustento económico, en los departamentos de Quiché y Alta Verapaz la principal actividad es la agricultura y la explotación de los recursos naturales, los departamentos de El Progreso y Zacapa se dedican a actividades como la Agroindustria y las maquilas, en menor parte la agricultura, ahora en los departamentos de Jalapa, Chiquimula y Jutiapa se dedican a la producción de granos básicos para venta como para sustento propio, además por ser departamentos fronterizos se dedican al tránsito de mercancías. (MAGA, 2010)

## **6. Problemáticas en el corredor seco.**

El 11.8 % del área total del corredor seco de Guatemala se clasifica como zona de afectación severa, dentro de esta zona se encuentran 54 municipios, entre los cuales está el municipio de Agua Blanca, Jutiapa. (Van De Zee *et al.*, 2012)

En el año 2009 el fenómeno climático de el niño que se presentó en Centroamérica, produjo un importante déficit hídrico, este déficit se notó con mayor fuerza en los meses de julio, agosto y septiembre, meses que son claves para la producción de granos básicos, lo que ocasionó pérdidas importantes en cultivos de maíz, frijol y sorgo. (Acción contra el hambre, 2009)

Las pérdidas que generaron estos cultivos no fueron generalizadas, pero los principales afectados fueron los pequeños agricultores de subsistencia e infra subsistencia, lo que generó un problema de disponibilidad ya acceso a los granos básicos, que son la base de su alimentación. (Acción contra el hambre, 2009)

Los rendimientos del maíz en la zona del corredor seco ubicada en Quiché tuvieron una reducción del 55,4 %, reportando la mitad de los productores pérdidas del 100 %. En el caso del frijol, las pérdidas en la mayoría de los casos fueron de 100 %. (Acción contra el hambre, 2009)

Además, en este área de corredor seco en Quiché, en el año 2009 se identificaron casos de desnutrición crónica en niños en el municipio de San Pedro Jocopilas, los meses en los que los casos de desnutrición crónica son abril, junio, julio y agosto, lo que coincide con la época de escasez de alimentos, a esto se le conoce como hambre estacional, debido a que se presenta con una regularidad cíclica en los meses anteriores a la primera cosecha, cuando las reservas de alimentos del año anterior se agotan y los mecanismos de supervivencia se estiran al límite. (Acción contra el hambre, 2009)

Según el informe de FAO, 2016, para junio de 2016 1.5 millones de personas necesitaban ayuda humanitaria, de las cuales 915,000 personas se encontraban en situación de inseguridad alimentaria severa y moderada, ya que la sequía se había prolongado por tercer año consecutivo y esto traía malas cosechas en el maíz y frijol. (FAO, 2016)

El MAGA reportó que se habían perdido 82,00 toneladas de maíz con pérdidas que representaban pérdidas económicas de 30.8 millones de USD mientras que las pérdidas de 118,200 toneladas de frijol representaban en términos financieros una pérdida de 102.3 millones de USD. En ese año, los bajos niveles de precipitación, así como el inicio tardío de la misma hicieron que la cosecha de maíz en el corredor seco dependiera de las lluvias

que se dieran en el mes de junio. (FAO, 2016)

La FAO como respuesta implemento un programa regional de fortalecimiento de la Resiliencia ante el riesgo de desastres en el corredor seco. El programa presentaba los siguientes objetivos: El fortalecimiento institucional y la formulación de políticas de gestión de riesgo; el desarrollo de sistemas de monitoreo de riesgo para emisión de alertas tempranas a través de planes de manejo de cuencas; y la promoción de buenas prácticas y tecnologías de prevención y mitigación del riesgo para reducir el impacto de eventos extremos (Cultivos de ciclo corto y resistentes a la sequía, sistemas de recolección de agua, fondos comunitarios de contingencia, agroforestería, etc.). (FAO, 2016)

### 7. Jutiapa en el corredor seco guatemalteco.

Jutiapa se encuentra ubicado al suroriente del país, cuenta con salida al mar pacífico además de ser un departamento fronterizo con El Salvador y tiene una extensión de 3,216 km<sup>2</sup>. La economía en Jutiapa se basa principalmente en la ganadería y en la agricultura. El departamento cuenta con 17 municipios: Jutiapa, Agua Blanca, Yupiltepeque, Asunción Mita, El progreso, Moyuta, Pasaco, Jerez, Jalpatagua, Santa Catarina Mita, Zapotitlán, San José Acatempa, Quesada, Conguaco, Comapa y El Adelanto. (Tórtola, 2015)



Figura 4. Mapa de Jutiapa.

(Solís, 2021)



intensidad (volumen de precipitación por unidad de tiempo) y frecuencia (El número de precipitaciones en un tiempo dado y con determinadas características. Por ejemplo, si una precipitación inicia a las 3:00 PM y termina a las 3:30 PM, la duración fue de 30 minutos, si la cantidad de lluvia fue de 20 mm, la intensidad fue de 40 mm/h. La frecuencia de lluvias como esta puede ser de 3 meses. (FAO, 2013)

En la siguiente figura se ve porqué es importante tener un registro de varios años para tener un valor confiable de precipitaciones, ya que cada año la precipitación puede ser menor o mayor dependiendo de los fenómenos meteorológicos que se den en el lugar de estudio. (FAO, 2013)

Años	Precipitación observada en mm										Promedio
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	143										143,0
2	143	175									159,0
3	143	175	98								138,7
4	143	175	98	110							131,5
5	143	175	98	110	220						149,2
6	143	175	98	110	220	102					141,3
7	143	175	98	110	220	102	167				145,0
8	143	175	98	110	220	102	167	96			138,9
9	143	175	98	110	220	102	167	96	123		137,1
10	143	175	98	110	220	102	167	96	123	145	137,9

Figura 6. Ejemplo de precipitación a través de los años

(FAO, 2013)

### 1. La lluvia con la que se puede contar.

Los datos de precipitación para un municipio o región determinada generalmente se encuentra disponible en periodos mensuales, por medio de los servicios meteorológicos en este caso el INSIVUMEH. El número total de años en los que los datos han sido recolectados llegan a ser variables, dependiendo de la estación meteorológica correspondiente. (FAO, 2013)

Aún contando con muchos años de observación (10 o más), el promedio es un valor de referencia que no llega a ser del todo efectivo ya que la precipitación que se da cada año para el mes considerado es mayor al promedio el 50 % de las veces y será menor el otro 50 % de las veces como se observa en la figura 6, donde la precipitación de los años 1, 2, 5, 7 y 10 es superior al promedio de los 10 años (137.9 mm), mientras que en el resto de años la precipitación fue menor. En el caso de algún diseño de captación si se tomará el promedio como la cantidad de lluvia disponible (P50), se estaría tomando la lluvia disponible en 5 de los 10 años de las mediciones, lo cual no sería posible. En los lugares donde la precipitación es muy variable, no es recomendable utilizar el valor promedio (P50), particularmente en regiones con climas semiáridos y subhúmedos, donde la captación de lluvia y la variabilidad de esta suele ser alta. En estos casos es más recomendable utilizar un valor cuya probabilidad de ocurrir sea mayor al 50 %, como un 75 %, dependiendo de las características locales de precipitación, el tipo de uso y la situación de escasez. Por lo general, entre más severa sea la escasez y prioritario el uso, menos incierta debe de ser la cantidad de agua disponible. Si se utiliza un valor de 75 %

(P75) significa que el 75 % de los años la precipitación estimada supera el valor considerado. Si se considera un valor que no ocurre todos los años, la cantidad de agua cosechada se insuficiente para dicha demanda. En situaciones donde los datos son de una alta confiabilidad, se puede utilizar excedencias de entre el 50 y 75 %. Por el contrario, si se presentan situaciones de un elevada variabilidad y vulnerabilidad hídrica, sería oportuno trabajar con probabilidades más altas, con un 80 ó 90 % por ejemplo. (FAO, 2013).

Critchley y Sieger, 1996, proponen un método sencillo para estimar la cantidad de lluvia para diferentes niveles de probabilidad, tomando como ejemplo los datos de la estación del INSIVUMEH en Esquipulas, Chiquimula que se muestran el Cuadro 8, los valores de precipitación se colocan en orden decreciente, la columna de orden decreciente se numera de manera de 1 a N observaciones. Se calcula la probabilidad por medio de la siguiente relación:

$$P(\%) = ((m - 0.375)/(N + 0.25)) * 100 \quad (1)$$

Donde:

- P(%)= Probabilidad (%)
- m = Número de orden
- N = número total de observaciones

N	AÑO	Lluvia (mm)	No. de orden	Probabilidad
9	2006	2127.8	1	3%
8	2005	2089	2	8%
15	2012	1888.7	3	12%
2	1999	1838.4	4	17%
14	2011	1818.9	5	22%
10	2007	1785.6	6	26%
20	2017	1778.9	7	31%
11	2008	1760.8	8	36%
16	2013	1700.4	9	41%
17	2014	1665.7	10	45%
7	2004	1665.1	11	50%
1	1998	1627.6	12	55%
4	2001	1603.4	13	59%
6	2003	1564	14	64%
3	2000	1522.4	15	69%
13	2010	1490.8	16	74%
12	2009	1478.1	17	78%
21	2018	1367.5	18	83%
18	2015	1328.6	19	88%
19	2016	1297.4	20	92%
5	2002	1132	21	97%

Cuadro 2

*Lluvia anual clasificada por probabilidad en la estación meteorológica de Esquipulas, Chiquimula*

Con los valores obtenidos de la probabilidad establecemos una curva de correlación entre las columnas de probabilidad en el eje X y la lluvia decreciente en el eje Y. El procedimiento se vuelve más sencillo utilizando cualquier programa de hoja electrónica, o también se puede realizar manualmente. En el caso del ejemplo la correlación para un 75 % de probabilidad da un resultado de 1435.76 mm.

#### **D. Técnicas generales captación de agua de lluvia**

La gran mayoría de las técnicas de captación de lluvia poseen un origen empírico y han sido desarrolladas con el pasar de los años. En los últimos 30 años se han ido perfeccionando muchas técnicas gracias al aporte de diferentes instituciones y países. Las diferentes técnicas existentes se adaptando a diferentes situaciones con diferentes finalidades. (FAO,2013)

La técnica de captación y aprovechamiento del agua de lluvia se entiende a la práctica (Obra o procedimiento técnico) capaz de ya sea individualmente o combinada con otras técnicas de aumentar la disponibilidad del agua en la finca, para el uso doméstico, animalo vegetal. Generalmente, son técnicas mejoradas para el manejo de los suelos y el agua, manejo de cultivos y animales, así como la construcción y manejo de obras hidráulica que permiten captar, derivar, conducir, almacenar y distribuir el agua de lluvia. (FAO, 2013)

Estas técnicas son agrupadas en grandes modalidades, como las que se presentan a continuación:

##### **1. Microcaptación.**

La técnica de microcaptación consiste en captar la escorrentía superficial que se genera dentro de un terreno de cultivo, en áreas que sean contiguas al lugar donde se encuentre el área que es utilizada como sembradío, el agua se capta para hacerla infiltrar y que pueda ser aprovechada en los cultivos. Para la microcaptación se utilizan las propiedades hidrológicas de un área que cuenta con pendiente lisa que sea poco permeable y que no exista vegetación para generar escorrentía superficial (FAO, 2013)

##### **2. Macrocaptación.**

Esta técnica consiste en captar la escorrentía superficial que se genere en áreas más grandes que las de microcaptación, que pueden estar ubicadas contiguas al terreno de la plantación, macrocaptación externa, o apartadas al terreno de cultivo, macrocaptación externa, para que se pueda infiltrar dentro del terreno del cultivo y pueda ser aprovechada. (FAO, 2013)

##### **3. Derivación de manantiales y cursos de agua mediante Bocatomas.**

Este método no es considerado por muchos como captación de agua de lluvia como tal. Pero estas técnicas son muy útiles para contrarrestar el déficit hídrico en determinadas zonas. Su aprovechamiento puede tener diferentes finalidades, como el riego, abrevaderos incluso el consumo doméstico, dependiendo de la calidad del agua y la escasez. (FAO, 2013)

#### 4. Cosecha de agua de techos de vivienda y otras estructuras impermeables.

Este método es el más conocido y difundido para la captación y el aprovechamiento del agua de lluvia. Este método consiste en captar la escorrentía producida en superficies impermeables o poco permeable, como los techos de las viviendas, establos, patios de tierra batida, superficies rocosas, hormigón, mampostería o plásticos. Este método genera una calidad de agua mucho mejor. (FAO, 2013)

#### 5. Captación de aguas subterráneas y freáticas.

En regiones que cuentan con un déficit hídrico hay posibilidades de aprovechar aguas sub-terráneas y freáticas para diferentes finalidades, dependiendo de la calidad, disponibilidad la modalidad de extracción. (FAO, 2013)

#### 6. Captación de agua atmosférica.

En ciertas condiciones de clima y orografía, es factible la captura y aprovechamiento de la humedad en la atmósfera que se encuentra en forma de niebla (FAO, 2013)

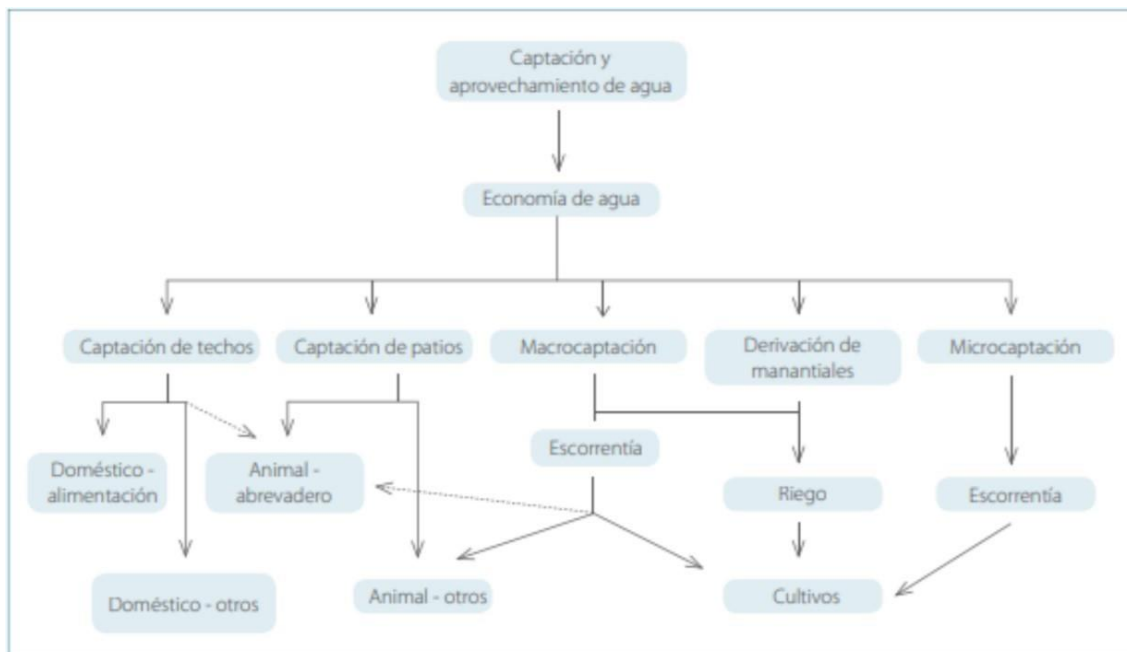


Figura 7. Técnicas de captación según su uso.

(FAO, 2000)



## E. Técnicas de macrocaptación de captación de agua de lluvia

### 1. Macrocaptación en bordos trapezoidales.

#### a. Descripción de la técnica.

Es una técnica tradicional que se aplica en diferentes partes, especialmente en el continente africano, esta técnica ha sido presentada por Critchley y Siegert (1996). La técnica se basa en un Bordo de suelo construido en forma de trapecio, con un bordo base, perpendicular a la línea de la pendiente, que es conectado a dos bordos laterales por lo general de  $135^\circ$ . Los extremos superiores de los bordos constan de una estructura por lo general de piedra, para evacuar los excedentes de la escorrentía hacia otros bordos aguas abajo sin riesgo de que se erosionen los cultivos que se pueden sembrar en el área entre los bordos. (FAO, 2013)

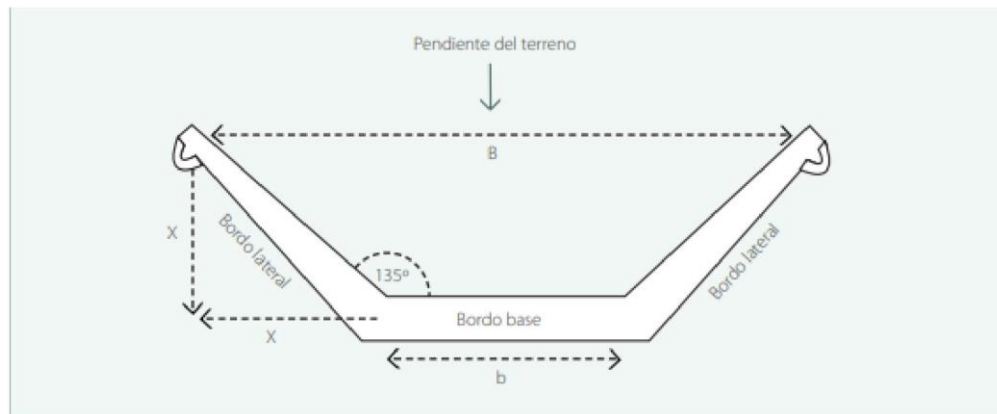


Figura 8. Esquema de bordo trapezoidal.

(FAO, 2000)

#### b. Condiciones de adaptación.

Esta técnica se aplica en zonas áridas y semiáridas, con 250 a 500 mm de precipitación anual. Los suelos donde se aplica esta técnica deben de ser de buena calidad para la agricultura y para la construcción de bordos, esto quiere decir que posean una textura y estructura con buena retención de agua y nutriente, no deben de ser muy compactos, masivos o que se agrieten en periodo seco. Otra condición es que los terrenos sean semiplanos y uniformes, con pendientes de 0.25 al 1.5 %, siendo ideal que no pasen de 0.5 % para que el bordo base no que muy alto ni ancho. (FAO, 2013)

### 2. Macrocaptación en bordos rectangulares (Teras).

#### a. Descripción de la técnica.

Este sistema de macrocaptación es similar a los bordos trapezoidales, la diferencia se encuentra en los bordos laterales, formando un rectángulo sin el lado de arriba que es por donde ingresa la escorrentía superficial al sistema de captación, este sistema también pue-

de ser dotado por brazos laterales principales para adaptarse mejor a las condiciones del terreno, conteniendo rectángulos más pequeños al interior. (FAO, 2013)

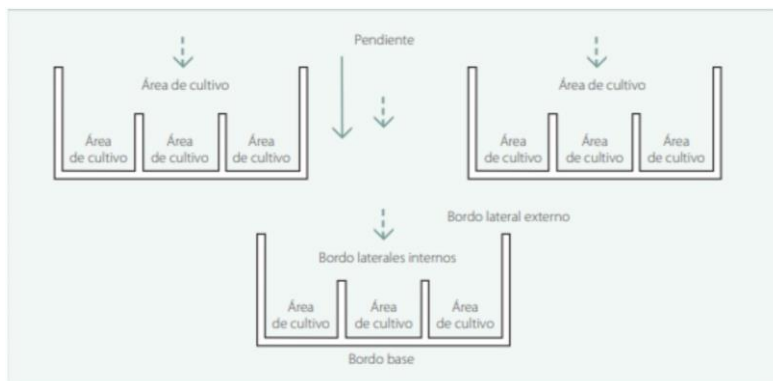


Figura 9. Esquema de borde rectangular.

(FAO, 2000)

### 3. Bordos permeables de piedra en contorno.

#### a. Descripción.

Los bordos de piedra en contorno son estructuras que son construidas con piedras sueltas amontonadas en forma de un camellón que tienen como función reducir la velocidad de la escorrentía superficial, favorecer su infiltración y capturar los sedimentos. El origen de la escorrentía puede ser del terreno propio donde se realicen los bordos, en terrenos aledaños o avenidas y Torrente que pasan por el área y son derivados. (FAO, 2013)

Este método es una práctica tradicional en países que buscan principalmente reducir los riesgos de erosión hídrica en zonas semiáridas, principalmente utilizado en África. El trazado cuidadoso a lo largo de las curvas de nivel hace que la técnica sea considerablemente más efectiva, no son necesarios aliviaderos o vertederos, distribuye la escorrentía mejor que los bordos de tierra y requiere menos mantenimiento. (FAO, 2013)

#### b. Condiciones de adaptación.

Esta técnica se aplica en zonas áridas y semiáridas en la que hay disponibilidad de piedras en cantidad considerable que se encuentren sueltas sobre el terreno y sean de tamaños manejables, que no sean demasiado grande y sea arduo moverlas ni tan pequeñas que no permitan ser amontonadas en una barrera, entre 15 y 30 cm son de diámetro ideal. No es necesario que el terreno sea completamente uniforme para la aplicación de esta técnica y se aplica en zonas con una precipitación de 200 y 750 mm por año. (FAO, 2013)

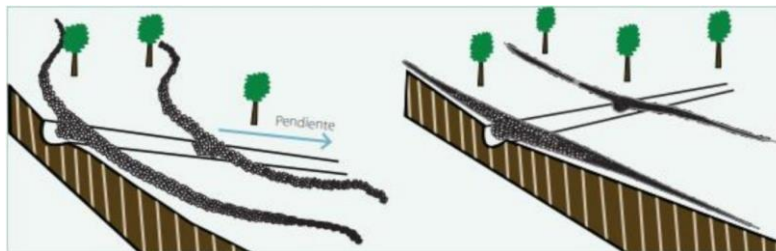


Figura 10. Esquema de bordo permeable.

(FAO, 2000)

#### 4. Captación de cuenca y embalse superficial para riego.

##### a. Descripción.

Esta técnica de captación consiste en la captación de escorrentía generada en una pequeña Cuenca hidrográfica o en partes de esta, la cual es represada en embalses que son estratégicamente construidos aguas abajo, para utilización principalmente en riego por gravedad. En el nordeste de Brasil, donde ha sido estudiada y difundida por la EMBRAPA Semiárido, se conoce como embalse para riego de salvación, aunque el concepto de riego de salvación puede incluir agua captada en otras estructuras. (FAO, 2013)

El agua captada durante el periodo lluvioso sirve para Irrigar los cultivos durante los periodos de canícula que son frecuentes en regiones semiáridas, así como extender la disponibilidad de agua para los cultivos dentro del periodo seco al final de la época lluviosa. (FAO, 2013)

En los sitios donde se puede perder una cosecha por la ocurrencia de períodos secos y donde la época lluviosa no va más allá de 20 semanas al año como puede ser el caso del corredor seco de Guatemala, tener agua disponible por más tiempo, aunque no sea en cantidades ideales puede tener un gran impacto en la Seguridad alimentaria. (FAO, 2013)

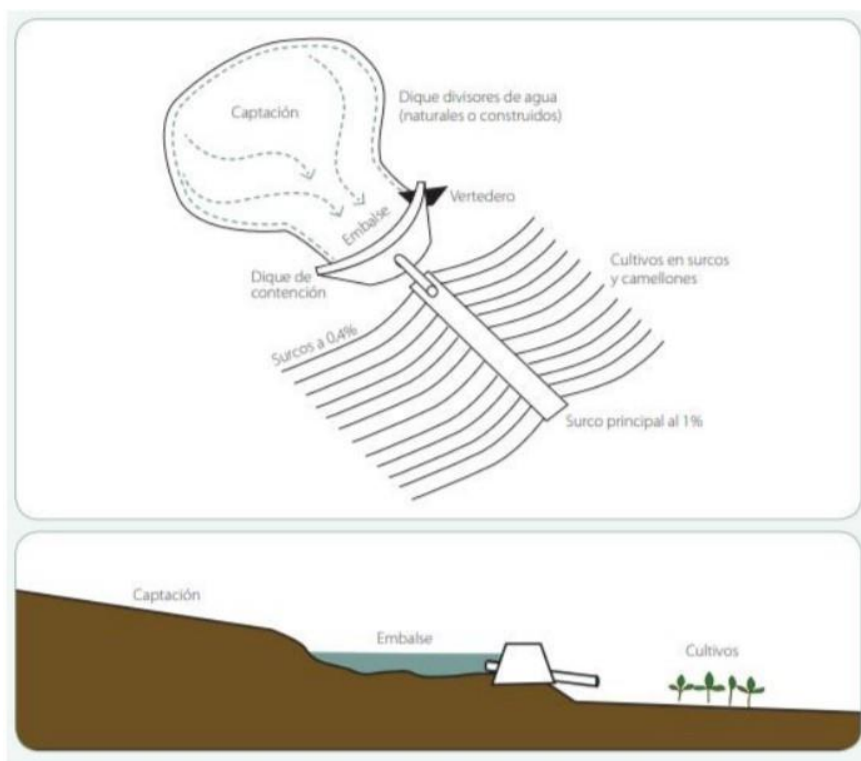


Figura 11. Esquema del terreno de la técnica de captación de cuenca y embalse superficial para riego. (FAO, 2000)

b. Condiciones de adaptación.

Esta técnica ha sido utilizada en zonas con 400 a 800 mm de precipitación anual en terrenos semiáridos brasileños. El terreno del área de captación agua arriba debe presentar baja capacidad de infiltración de agua, es ideal que el terreno cuente con suelos delgados y rocosos, con pendientes moderadas (arriba del 2 %) para que la escorrentía sea más elevada. (FAO, 2013)

El área donde el embalse sea construido debe de poseer un suelo poco permeable, idealmente que sean suelos rocosos en profundidad para que el agua que sea almacenada no se infiltre. El Dique de contención del embalse debe de ser construido con el mismo terreno del suelo y debe de contener un alto contenido de arcilla para asegurar la impermeabilidad. (FAO, 2013)

c. Conformación del terreno.

El área de captación es una pequeña cuenca hidrográfica o una pequeña parte de esta. En este caso, es necesario que en el borde que no es un límite natural de área de captación se utilicen ya sea bordos o surcos que tengan la función de divisores de agua y conduzcan la escorrentía al embalse. (FAO, 2013)

El embalse tiene que estar ubicado en el punto de Convergencia del drenaje natural del terreno, con un dique de contención en forma de semicírculo. Opcionalmente el embalse

puede dividirse longitudinalmente por un dique interno, con la función de evitar un espejo de agua muy grande cuando no exista suficiente agua para llenar completamente todo el embalse, primero se llena y se utiliza un lado y luego el otro. (FAO, 2013)

Sí existe un área de cultivo esta debe de estar ubicada aguas abajo del embalse, de manera que el agua pueda llegar a las siembras por gravedad, mediante un surco principal con una pendiente de entre 0.5 y 1 % y con surcos laterales con pendiente de 0.4 % para que fluya a lo largo del Surco. (FAO, 2013)

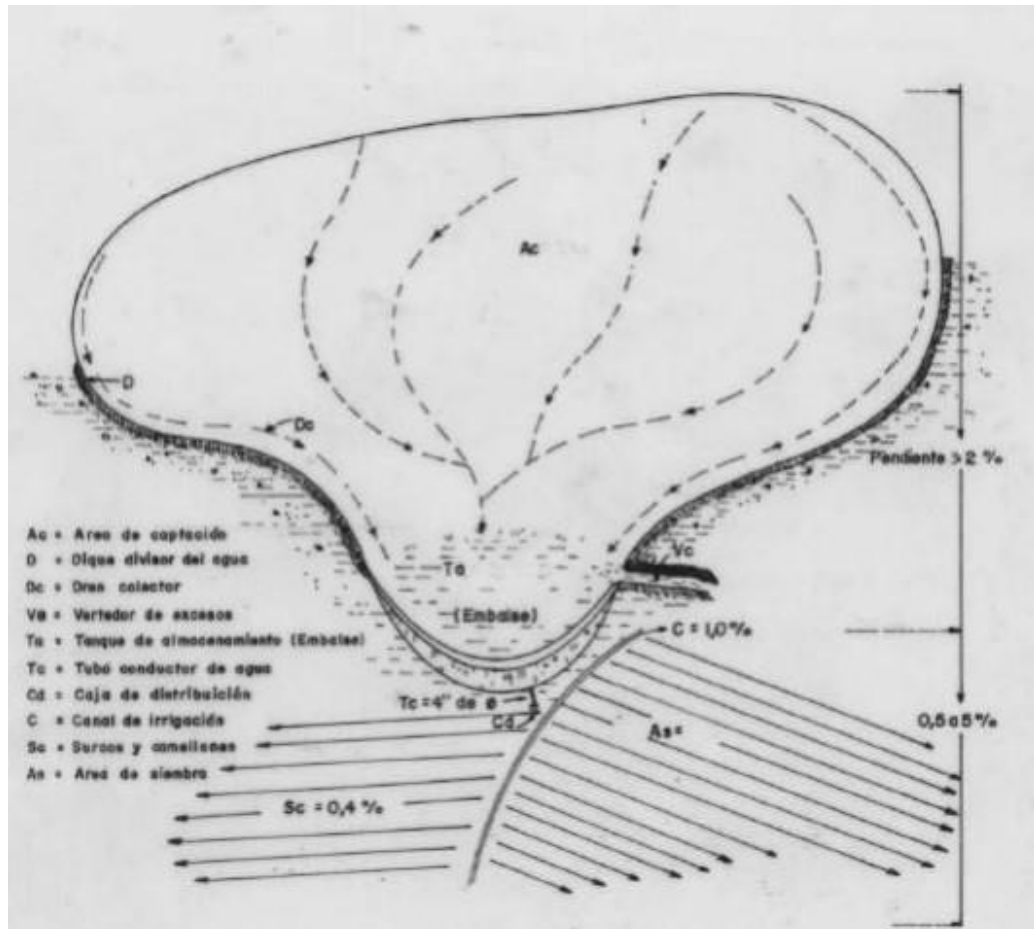


Figura 12. Esquema del sistema de aprovechamiento de la escorrentía superficial en embalses para riego de salvación por gravedad. (FAO, 2000)

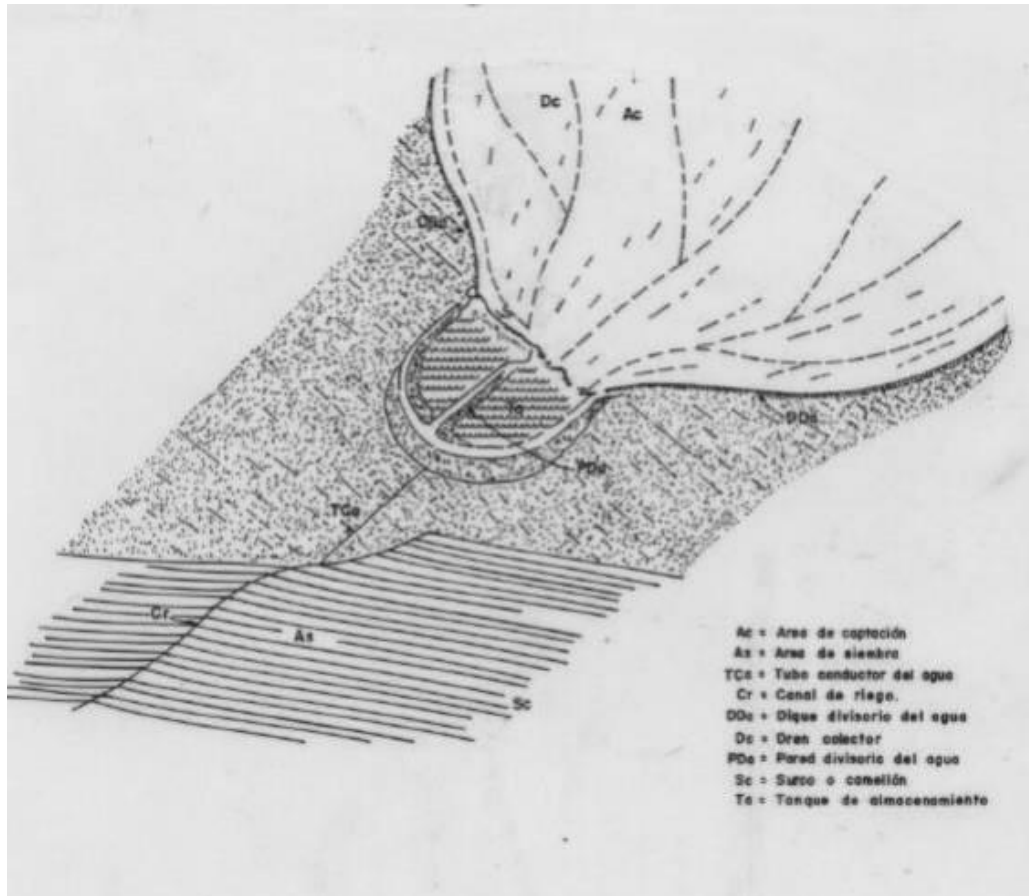


Figura 13. Esquema embalse de tierra con doble compartimiento.

(FAO, 2000)

d. Indicaciones de construcción.

*Área de captación:*

El área de captación es la que está destinada a captar el agua de lluvia con un pendiente variable y un dique divisorio de agua (DDa), pudiendo ser este natural o artificial. En esta área se forma una microcuenca hidrográfica, cuya extensión media es de 3 ha, que varía según la cantidad de agua que se necesite almacenar, el tipo de área cubrir y la cantidad de lluvia que se espera en la región. (FAO, 2000)

Como primer paso, primeramente, se hace una prospección en el área y se identifica preliminarmente el área de captación, en el mejor sitio para el embalse y el área de cultivos. Estas estructuras deben estar lo más cerca posible para evitar costos y pérdidas de conducción de agua. El área de captación debe de ser recorrida completamente, analizando las líneas naturales de drenaje y su convergencia. (FAO, 2000)

En cuanto a la topografía, hay que observar las ondulaciones con las que cuenta el terreno, ya que la presencia de pequeñas depresiones en el área afectarán la cantidad de agua a captar, por Empozamientos, por otra parte, las pendientes del terreno no deben de ser menores al 2 %, ya que por el momento no se tiene experiencia de captación con pendientes menores (FAO, 2000)

Por último, se deben recorrer las líneas de drenaje para saber el punto de convergencia de estas.

*Selección del área tanque de almacenamiento (Ta) o embalse:*

El tanque de almacenamiento, embalse o reservorio está destinado para almacenar el agua proveniente del área de captación. Su capacidad es variable y depende del tamaño del área de siembra y del déficit hídrico esperado durante el desarrollo fenológico del cultivo. (FAO, 2000)

Con una idea del punto de convergencia de las líneas de drenaje, el área de embalse queda automáticamente seleccionada. De forma que el punto de convergencia del drenaje se convertirá en el centro del dique del embalse, tanto del largo como del ancho en la mayoría de los casos. (FAO, 2000)

En el lugar donde se encontrará el embalse es conveniente hacer un muestreo del suelo abriendo una Calicata de suelo hasta la capa impermeable, se recomienda realizar dos calicatas a 20m aproximadamente hacia cada lado de la primera, el muestreo se puede hacer con un barreno, pero los datos son menos precisos que realizando una calicata. (FAO, 2000)

El muestreo del suelo es imprescindible para la selección del área del tanque de almacenamiento, ya que este nos dará una idea exacta de la profundidad máxima del embalse, así como los materiales que se necesitarán para la construcción de la pared, si al realizar las calicatas no se puede excavar más de 1m de profundidad el área de embalse debe descartarse. (FAO, 2000)

No es recomendable realizar la construcción de embalses en áreas donde existan afloramiento de roca, suelos salinos, o materiales que permitan infiltraciones excesivas como arena o similares, que por lo general son muy porosas. El material más apropiado es una capa natural de tierra con textura fina, donde la velocidad de infiltración en la profundidad máxima hasta donde hay realizado la excavación de no sea mayor a los 2mm por día. (FAO, 2000)

*Selección de área de siembra (As):*

El área que se utiliza para siembra debe prepararse con sistema de surcos y Camellones para permitir la aplicación del riego de salvación y/o riego suplementario. Esta área se ubica aguas abajo del tanque de almacenamiento y su extensión debe de ser sugerida por el agricultor. (FAO, 2000)

El área de siembra debe encontrarse lo más cerca posible del embalse y así reducir los costos de distribución del agua, de la misma manera tiene que ser uniforme para simplificar el establecimiento de los surcos y camellones. Deben evitarse áreas con ondulaciones acentuadas, preferentemente, la pendiente del terreno debe de estar en el 2 y 5 % y los suelos deben de contar con las siguientes propiedades. (FAO, 2000)

- Textura: Debe variar entre franco arenoso y franco arcilloso, para que proporciones mayor retención de agua en el suelo y las plantas.
- Profundidad: Mínima de 0.5m inferior a este parámetro elimina el área seleccionada.

Deben de ser evitadas las áreas con Afloramientos rocosos, áreas con problemas de sales evidentes y áreas con problemas de inundaciones. Es muy importante conocer al dueño del terreno o a una que persona que conozca el lugar para obtener información de inundaciones en época lluviosa, entre otras informaciones. (FAO, 2000)

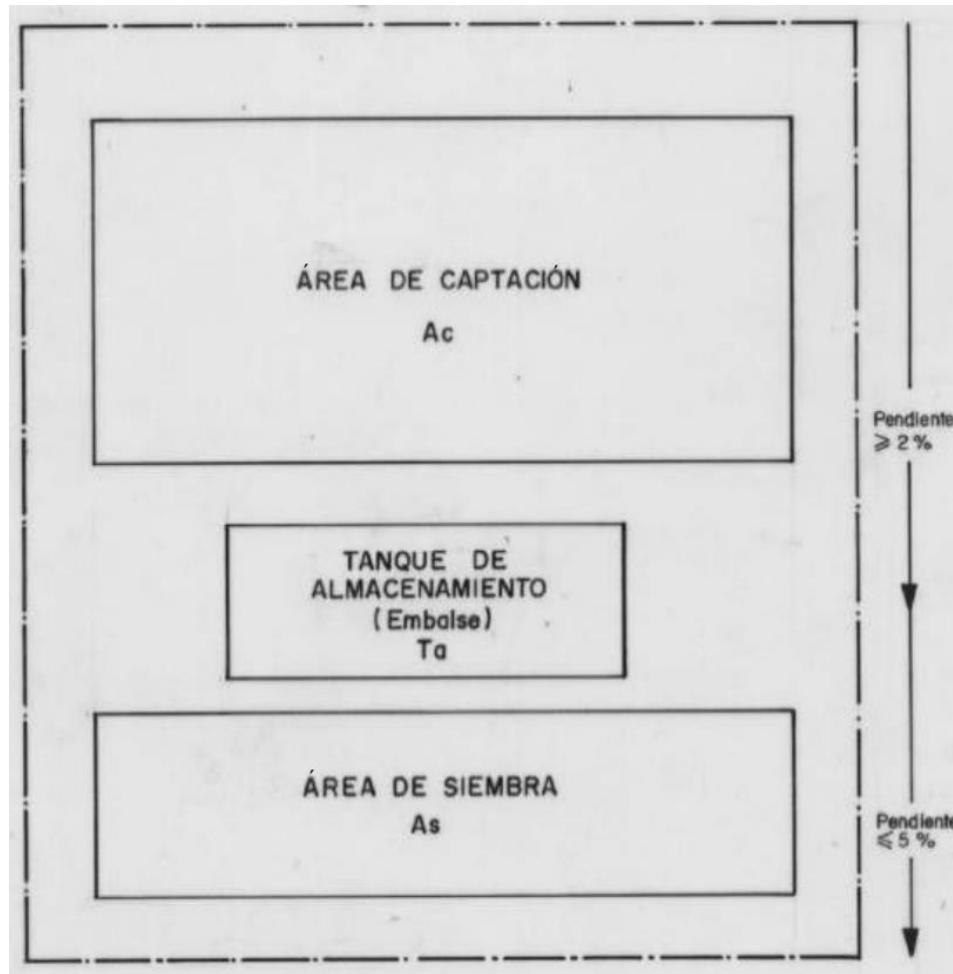


Figura 14. Disposición espacial de los elementos básicos del riego de salvación (FAO, 2000)

#### *Embalse.*

El volumen del embalse debe cubrir el agua a complementar. Hay que tener en cuenta que habrá pérdidas por la infiltración en el fondo y evaporación por la superficie expuesta y no son bajas. Aunque estas pérdidas pueden variar dependiendo del material del fondo, dique y paredes, también por las condiciones climáticas (Radiación solar, temperatura, humedad atmosférica, viento, etc.). Para condiciones semiáridas en Brasil se trabaja con el 50 %, debido a la similitud del nordeste brasileño con el corredor seco guatemalteco se utilizará la misma cantidad, para tener una mayor seguridad de datos. (FAO, 2000)



$$Vemb = (Da * As)/Pe \quad (2)$$

Donde:

- Vemb= Volumen de embalse ( $m^3$ )
- Da = Déficit de agua (m)
- As = Área de siembra ( $m^2$ )
- Pe = Pérdidas en embalse (Decimal)

*Área de captación.*

Con base en el volumen del embalse se verifica cuál es la superficie de captación necesaria, tomando en cuenta la precipitación local y el coeficiente de escorrentía, basado en las características del suelo, terreno y vegetación. Es conveniente que el terreno sea en pendiente, sea un suelo delgado con poca rugosidad, sin ondulaciones que impidan la escorrentía superficial y que cuente con poca vegetación. Los autores citados usan un coeficiente (C) de 0.2. (FAO, 2000)

$$AC = (Vemb/(C * P)) \quad (3)$$

Donde:

- AC = Área de captación ( $m^2$ )
- Vemb= Volumen de embalse ( $m^3$ )
- C= Coeficiente de escorrentía (Decimal)
- P = Precipitación media anual (mm)

Si, estimado este valor, se concluye con que no hay suficiente espacio para llenar el embalse y atender las necesidades de complementación de agua en el área de cultivo, el sistema debe de ser redimensionado partiendo de la disponibilidad de área de captación y volumen de escorrentía. Otra posibilidad es que, habiendo suficiente escorrentía y área de cultivo, el lugar de embalse sea adecuado para un volumen de escorrentía más pequeño, o que no sea adecuado para soportar un embalse de mayor volumen, lo que requerirá de un redimensionamiento del sistema. (FAO, 2000)

*Ubicación, diseño y construcción del embalse.*

Para la ubicación, diseño y construcción del embalse es necesario tomar en cuenta estos factores que se consideran importantes:

- El material del fondo del embalse debe de ser lo más permeable posible para evitar pérdidas excesivas de agua por la infiltración y, debe estar a más de 1.0m de profundidad de la superficie inicial.
- No deben existir problemas de salinidad.
- En caso de que existen pérdidas por filtraciones predecibles, se puede impermeabilizar la superficie con lodo arcilloso.
- Siempre se tiene que contar con un vertedero de excesos, con un mínimo de 0.5m de diferencia de la altura en relación a la cima del dique. (FAO, 2000)

Para el diseño del embalse, se considera inicialmente la lámina media de agua ( $L_m$ ) que se almacenará. Dada por:

$$L_m = ((A_d - A_v) + A_e)/2 \quad (4)$$

Donde:

- $L_m$  = Lámina media de agua (m)
- $A_d$  = Altura de dique (m)
- $A_v$  = Altura del vertedero (m)
- $A_e$  = altura de excavación (m)

(FAO, 2000)

Con la lámina media de agua y el volumen del embalse, se calcula el área de embalse y el radio del semicírculo:

$$Ae = Vemb/Lm \quad (5)$$

Donde:

- Ae = área del semicírculo ( $m^2$ )
- Vemb = Volumen de embalse ( $m^3$ )
- Lm = Lámina media de agua (m)

(FAO, 2000)

Entonces el radio del semicírculo se expresa como:

$$R = \left( \frac{\sqrt{Ae * 2/\pi}}{2} \right) \quad (6)$$

Donde:

- R = Radio del semicírculo (m)
- Ae = área del semicírculo ( $m^2$ )

(FAO, 2000)

Luego de definir el área donde estará el sistema, se debe realizar un levantamiento topográfico plani-altimétrico simple. El instrumento de nivelación debe instalarse en el punto de convergencia de las líneas de drenaje natural del área de captación, se debe trazar con estacas intercaladas a 10m entre sí, una línea básica de nivelación. Esta línea es la espina dorsal de todo el sistema, dividiendo mejor el área de captación, el tanque de almacenamiento (embalse) y el área de siembra. (FAO, 2000)

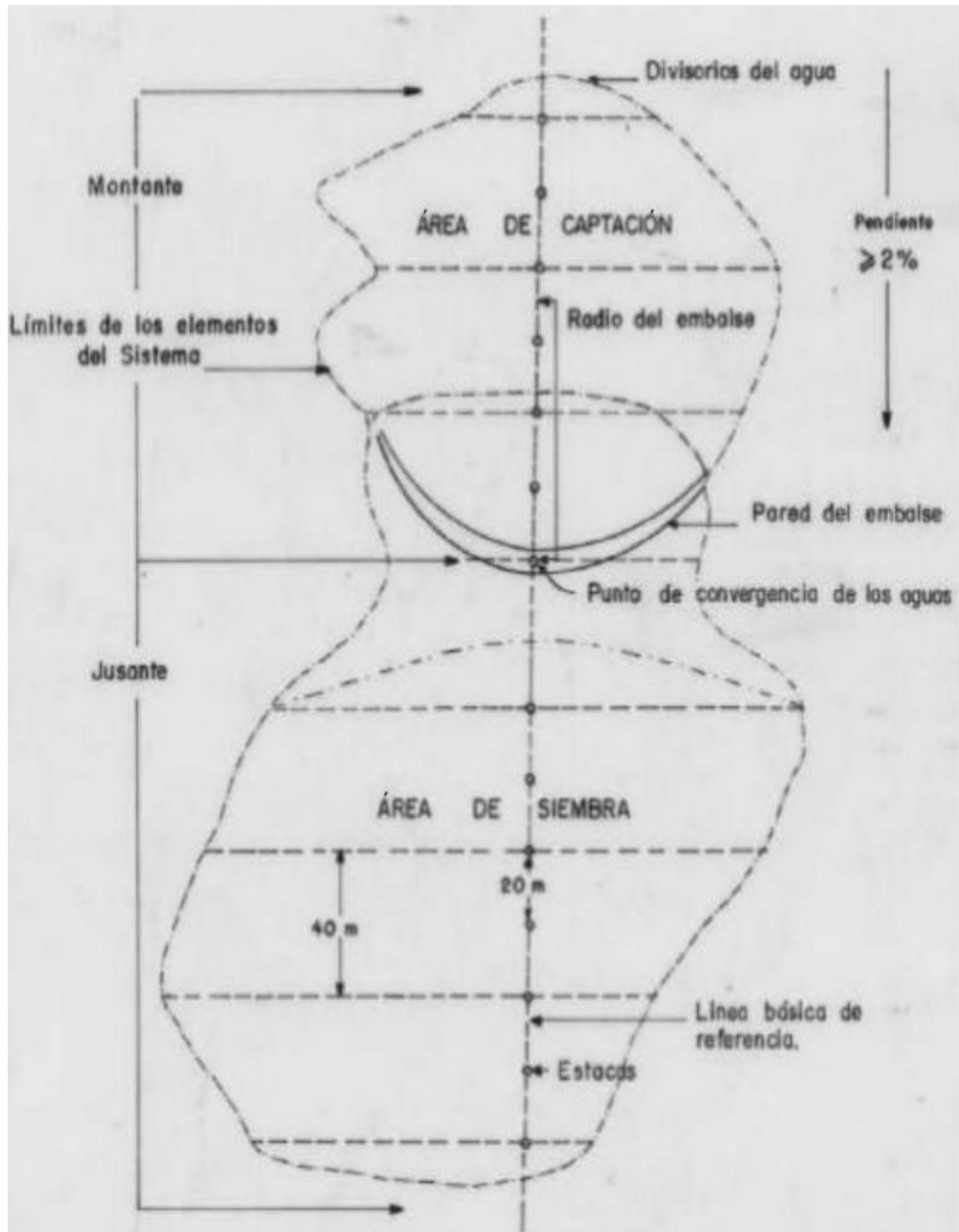


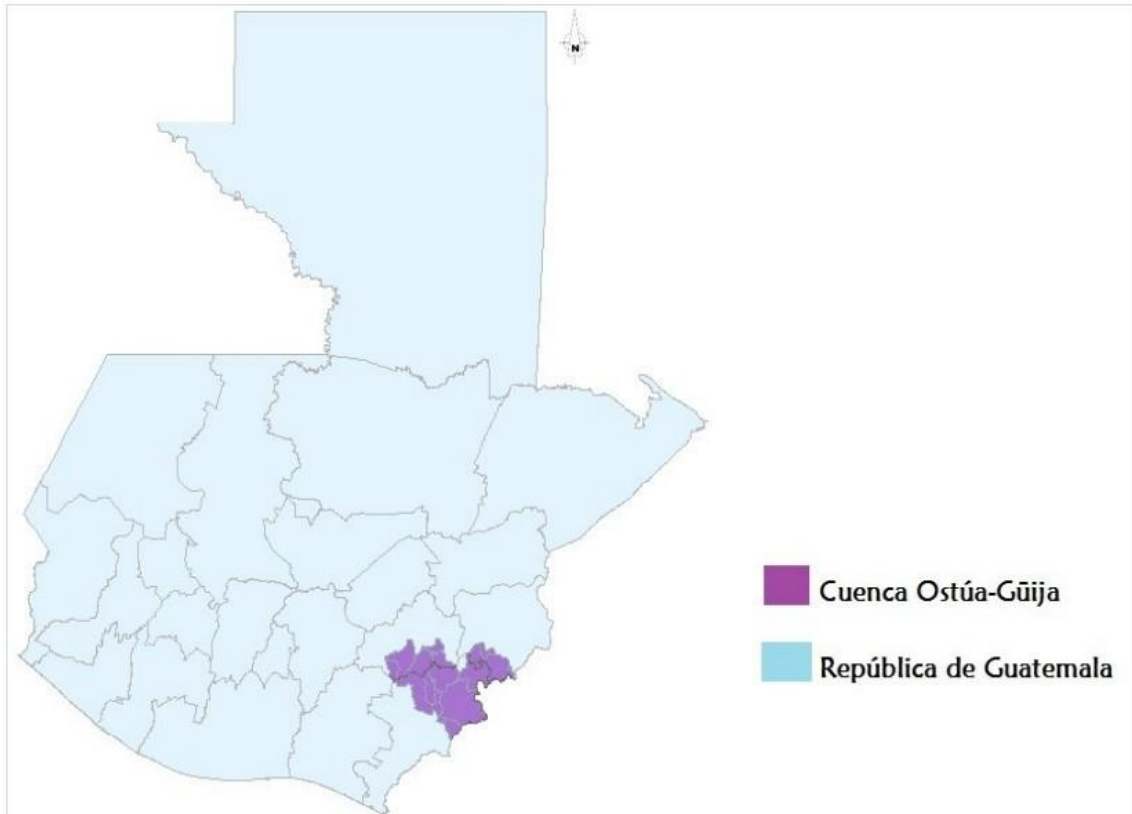
Figura 15. Esquema de la localización de los elementos básicos del embalse

(FAO, 2000)

## F. Cuenca Ostúa-Güija

### 1. Localización y ubicación.

La cuenca Ostúa-Güija se encuentra dentro de los departamentos de Santa Rosa, Jalapa, Chiquimula y Jutiapa. La cuenca es una cuenca endorreica ya que tiene su desembocadura en el lago de Güija y no en algún océano, que es un importante atractivo turístico así como fuente de ingresos de los municipios a sus alrededores tanto en Guatemala como en el Salvador (MEM, 2013).



*Figura 16. Cuenca Ostúa-Güija*

(MEM, 2013)

El área total de la cuenca es de 223,833 Ha, la mayoría de esta área se encuentra en el municipio de Asunción Mita, como se puede observar en el siguiente cuadro:

<b>RÍO OSTÚA GÜIJA</b>						
<b>Departamento</b>	<b>Código</b>	<b>Municipio</b>	<b>Área (Ha)</b>	<b>Área (%) Respecto A La Cuenca</b>	<b>No De Poblados</b>	<b>Población</b>
Chiquimula	2007	Esquipulas	448	0.2	0	0
	2008	Concepción Las Minas	19272	8.61	64	9099
	2009	Quetzaltepeque	4320	1.93	18	1660
	2011	Ipala	8394	3.75	30	5592
<b>Chiquimula Total</b>			<b>32434</b>	<b>14.49</b>	<b>112</b>	<b>16351</b>
Jalapa	2101	Jalapa	18757	8.38	16	1402
	2102	San Pedro Pinula	5059	2.26	8	1750
	2104	San Manuel Chaparrón	8259	3.69	19	4527
	2105	San Carlos Alzatate	6290	2.81	23	8758
	2106	Monjas	14415	6.44	41	18994
<b>Jalapa Total</b>			<b>52780</b>	<b>23.58</b>	<b>107</b>	<b>35431</b>
Jutiapa	2201	Jutiapa	29322	13.1	79	46477
	2202	El Progreso	10005	4.47	32	16499
	2203	Santa Catarina Mita	19697	8.8	53	21207
	2204	Agua Blanca	19944	8.91	69	9855
	2205	Asunción Mita	50631	22.62	119	37234
	2206	Yupiltepeque	1433	0.64	7	2107
	2207	Atescatempa	7005	3.13	29	10108
	2208	Jerez	134	0.06	0	0
<b>Jutiapa Total</b>			<b>138171</b>	<b>61.73</b>	<b>388</b>	<b>143487</b>
Santa Rosa	604	Casillas	448	0.2	6	1202
<b>Santa Rosa Total</b>			<b>448</b>	<b>0.2</b>	<b>6</b>	<b>1202</b>
<b>Río Ostúa Güija Total</b>			<b>223833</b>	<b>100</b>	<b>613</b>	<b>196471</b>

Cuadro 3  
*Porcentaje de área de municipios en la cuenca Ostúa-Güija.*  
 (MEM, 2013)

## **2. Geología de la región.**

En lo que respecta a la geología del lugar, es de origen volcánico, especialmente de tipo ignimbrítico, lavas de composición dacítica. El vulcanismo de la región está relacionado con erupciones fundamentalmente basálticas, además de estar conformado por rocas intrusivas, las cuales están fracturadas y Meteorizadas. Dentro de la cuenca se ubican los volcanes: Mita, San Diego, Cerro Quemado, El Tule, El Puente, Mazatepeque, Suchitán, Ipala, Chingo. (MEM, 2013)

## **G. Agua de lluvia**

En una comunidad rural el agua puede obtenerse por diferentes medios:

- Precipitación;
- Agua subterránea (pozos y humedales);
- Derivaciones de caudales de riachuelos, lagos, ríos y embalses;
- Suministro por medio de proyectos privados públicos a partir de fuentes superficiales o subterráneas

El agua de lluvia es el medio más efectivo y sin coste de aporte para una comunidad, pero tiene sus contras a pesar de que sea gratuita y se distribuye por grandes áreas, el problema es que no se posee control sobre cuanta precipitación caerá, ni cuando caerá, ya que la lluvia es un fenómeno natural aleatorio, aunque se puedan establecer parámetros estadísticos sobre su comportamiento en determinadas zonas, partiendo de su ocurrencia histórica y modelos de predicción.

El uso de técnicas de captación y aprovechamiento del agua de lluvia se hace más necesario si se presentan las siguientes características:

- La cantidad de lluvia precipitada está en el límite inferior o por debajo de la cantidad que se requiere para las diferentes actividades;
- Su distribución temporal varía con las estaciones del año;
- Su distribución es incierta y pueden existir excesos y déficits en diferentes periodos o estaciones.

Condición climática*	Características	Ambiente dominante	Estrategia de manejo del agua
<b>Muy húmeda y húmeda</b> (más de 1.200 mm de precipitación anual)	Precipitación abundante. Dominan excedentes hídricos casi todo el tiempo, sin déficit severo o prolongado. Pueden ocurrir periodos de déficit cortos (veranillos o estacionales).	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Suelos profundos y meteorizados.</li> <li>» Percolación profunda y lixiviación de nutrientes.</li> <li>» Vegetación abundante.</li> <li>» Disponibilidad de fuentes de agua.</li> <li>» Napa freática profunda, en terrenos de altitud, y alta, en terrenos de llanura (donde puede existir mal drenaje o exceso de agua).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Mantener infiltración elevada en el suelo.</li> <li>» Prevención y control de la escorrentía, dado el riesgo alto de erosión hídrica.</li> <li>» Técnicas para evitar la evaporación del agua del suelo y aumentar el almacenaje.</li> <li>» Drenaje puede ser necesario en terrenos llanos.</li> <li>» Baja necesidad de almacenar artificialmente el agua para utilización posterior.</li> </ul>
<b>Subhúmeda</b> (800 a 1.200 mm de precipitación anual)	Precipitación superior a la evapotranspiración en parte del año e inferior en otros meses (déficit estacional más común y severo, régimen de precipitación puede ser muy errático).	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Suelos profundos y meteorizados.</li> <li>» Vegetación menos abundante.</li> <li>» Disponibilidad estacional y más escasa de fuentes de agua.</li> <li>» Alternancia de profundidad de la napa freática puede ser grande localmente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Mantener infiltración elevada en el suelo.</li> <li>» Prevención y control de la escorrentía, dado el riesgo alto de erosión hídrica en el periodo húmedo.</li> <li>» Son recomendables técnicas para captar y almacenar agua en el periodo húmedo para uso en el periodo seco.</li> </ul>
<b>Semiárida</b> (200 a 800 mm de precipitación anual)	Precipitación inferior a evapotranspiración durante gran parte del año. Déficit puede alcanzar casi todo el año.	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Suelos poco profundos y poco meteorizados.</li> <li>» Salinidad frecuente.</li> <li>» Vegetación pobre y característica de regiones con déficit hídrico.</li> <li>» Fuentes de agua escasas.</li> <li>» Agua puede ser de mala calidad para uso doméstico y agropecuario.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Mantener infiltración elevada en el suelo en los meses lluviosos.</li> <li>» Control de la escorrentía, dado el riesgo alto de erosión hídrica en los meses lluviosos.</li> <li>» Técnicas para evitar la evaporación del agua del suelo y aumentar el almacenaje.</li> <li>» Es indispensable aplicar técnicas para captar y almacenar agua en el periodo húmedo.</li> </ul>
<b>Árida</b> (menos de 200 mm de precipitación anual)	Precipitación baja. Déficit todo el año.	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Suelos poco meteorizados.</li> <li>» Salinidad frecuente.</li> <li>» Vegetación casi inexistente.</li> <li>» Fuentes de agua son muy escasas y localizadas.</li> <li>» Agua puede ser de mala calidad para uso doméstico y agropecuario.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>» Prioridad absoluta para consumo humano.</li> <li>» Mantener hábitos y actividades productivas que dependan el mínimo del agua.</li> </ul>

Figura 17. Indicaciones para manejar el recurso hídrico según las condiciones climáticas.

(FAO, 2013)

Los caudales de ríos, quebradas y embalses o sus derivaciones, pueden representar un aporte considerable de agua para una comunidad, principalmente para aquellas actividades de mayor consumo como el riego y abrevaderos vacunos. Es importante considerar que en regiones semiáridas, o en condiciones semiáridas que tienden a ser semiáridas, como lo es el corredor seco de Guatemala, los cauces y pequeños embalses se llegan a secar si la lluvia no ha sido suficiente, requiriendo obras de mayor envergadura para satisfacer las necesidades de uso anteriormente mencionadas. (FAO, 2013)



Las salidas del agua de lluvia en una comunidad se pueden dar por los siguientes motivos:

- Agua que no se infiltra y genera escorrentía;
- Percolación profunda;
- Evaporación del agua libre y superficies húmedas (suelo y plantas);
- Transpiración de plantas.

(FAO, 2013)

A pesar de que el corredor seco se caracteriza por bajas cantidades de precipitaciones, existen épocas en la cual la intensidad de la precipitación es superior a la capacidad de infiltración de la superficie, este generará un volumen sobrante de agua que escurrirá sobre la superficie. En el caso de que este volumen no sea retenido y almacenado, se escurre y genera daños por arrastre de suelo, semillas, plantas jóvenes, inundaciones, etc. Las superficies porosas como algunos tipos de suelo son permeables y producen menos escorrentía que las superficies que no son muy permeables como los patios y techos de casas, las cuales producen mucha escorrentía. (FAO, 2013)

En regiones secas, con una alta incidencia solar y temperatura y/o vientos constantes pueden existir elevadas pérdidas por evaporación, tanto de agua que se encuentra en la superficie, como de agua almacenada en el suelo. (FAO, 2013)

Los usos del agua de lluvia en una comunidad del corredor seco pueden ser los siguientes:

#### **1. Uso de vivienda.**

La dotación es la cantidad de agua que necesita una persona al día para cumplir con necesidades tanto físicas como biológicas de su cuerpo. La dotación puede variar dependiendo de la persona y puede llegar a ser desde 25 litros al día por persona como mínimo, hasta una cantidad de 80 litros diarios por persona (FAO, 2013)

Entre más árida y de menos recursos sea una región, probablemente se le asignara una dotación mínima de agua a cada persona. En zonas donde la lluvia es más abundante y por ende existe más recurso hídrico además de contar con mayores recursos la dotación será mayor. Un ejemplo de zonas con pocas lluvias es la zona nordestes de Brasil, el promedio anual de lluvia en este lugar está alrededor de los 550mm de precipitación, manejando una dotación de 14 litros diarios por persona. (FAO, 2013)



Figura 18. Captación en casa al nordeste de Brasil.

(FAO, 2013)

## 2. Consumo animal:

El consumo promedio de diferentes animales se presenta en lasiguiente figura:

Especie		Condición de consumo	Consumo
Aves	Gallinas		15 litros día <sup>-1</sup> por 100 cabezas
	Pavos		30 litros día <sup>-1</sup> por 100 cabezas
Bovinos			450 litros día <sup>-1</sup> por 10 cabezas
Cerdos		Primeros 12 meses	10 a 12 litros día <sup>-1</sup> por 100 kg de peso
		Engorde	3 a 4 litros día <sup>-1</sup> por kg de MS* consumida
		Marranas en lactancia	15 a 20 litros día <sup>-1</sup>
Ovinos	De pelo (San Pablo, Brasil)	32-35 kg de peso	3,0 litros día <sup>-1</sup> (invierno) 3,8 litros día <sup>-1</sup> (verano)
	En pastoreo (Chile)	Bajo sombra Sin protección	8,0 litros día <sup>-1</sup> 11,0 litros día <sup>-1</sup>
Caprinos			4,5 a 8,0 litros día <sup>-1</sup>
Camélidos	Alpaca		2,9 litros día <sup>-2</sup>
Cuyes	Hembras primerizas		30 a 70 ml día <sup>-1</sup>
	Machos y hembras destetados		45 a 198 ml día <sup>-1</sup>

Figura 19. Consumo de agua de diferentes especies.

(FAO, 2013)

Los Bovinos son de mucha importancia en Agua Blanca y estos generan un gran consumo diario de agua, por lo que se detallan datos de sus consumos en las siguientes figuras:

Finalidad	T° media anual o estación	Consumo
Carne	5° C	3 (litros día <sup>-1</sup> kg <sup>-1</sup> MS*)
	32° C	8 (litros día <sup>-1</sup> kg <sup>-1</sup> MS)
Leche		3 a 4 (litros día <sup>-1</sup> kg <sup>-1</sup> MS)
		3 a 4 (litros día <sup>-1</sup> litros <sup>-1</sup> de leche)
Toros adultos	Invierno	25 (litros día <sup>-1</sup> )
	Verano	50 a 60 (litros <sup>-1</sup> )

Figura 20. Consumo de agua de diferentes bovinos.

(FAO, 2013)

Temperatura media	Vacas lactando	Vacas secas preñadas	Animales en crecimiento		Animales en terminación	
			182 kg	273 kg	364 kg	454 kg
°C	409 kg	409 kg				
4,4	43,1	25,4	15,1	20,1	27,6	32,9
10,0	47,7	27,3	16,3	22,0	29,9	35,6
14,4	54,9	31,4	18,9	25,0	34,4	40,9
21,1	64,0	36,7	22,0	29,5	40,5	47,7
26,6	67,8		25,4	33,7	46,6	54,9
32,2	61,3		36,0	48,1	65,9	78,0

Figura 21. Consumo de agua de ganado de carne.

(FAO, 2013)

## H. Antecedentes de captación de agua de lluvia

### 1. Antecedentes de captación de agua de lluvia en Guatemala.

#### a. Proyecto de captación de agua de lluvia del MARN.

El ministerio de ambiente y recursos naturales (MARN) menciona que Guatemala posee características naturales y meteorológicas que determinan la humedad del suelo, de la cual una fracción del territorio nacional es susceptible a sequías y parte de este es amenazado por la desertificación, lo que representa peligro para las personas que habitan en estos lugares. La desertificación y la sequía son procesos de la naturaleza que causan impactos negativos en la población rural del país, especialmente aquella que depende de la agricultura y ganadería para sobrevivir, lamentablemente estos problemas van en aumento debido a los efectos del cambio climático. (MARN, 2012)

La problemática descrita ha llevado a que el MARN por medio de la unidad de desertificación y sequía -UNIDeseq- trabajen en la construcción de sistemas de recolección de aguas pluviales, como medida para mitigar la falta de agua de calidad para mejorar la calidad de vida del corredor seco ampliado, no solamente la región nororiente

del país, sino además parte del occidente que incluye los departamentos de Huehuetenango, Quiché y Quetzaltenango, con esto se espera mejorar la seguridad alimentaria y nutricional en el área y reducir los impactos que pueda generar el cambio climático en la región. (MARN, 2012)

El método utilizado para recolectar el agua de lluvia fue aprovechar el agua pluvial que escurre por los techos, caminos, patios o áreas de captación especialmente preparadas para este efecto, el agua captada se almacena en depósitos que deben ser herméticamente cerrados para llevar al mínimo los riesgos de contaminación, además los excedentes de agua que es recolectada puede ser utilizada como riego para pequeños huertos familiares y árboles frutales, con tal de fortalecer la seguridad alimentaria de las personas beneficiadas por este proyecto. El depósito plástico (tinaco) utilizado para recolectar el agua de lluvia debe de estar colocado sobre una base de cemento fundida y tiene una capacidad de 8,000 litros, el área de captación a utilizar debe ser un techo de una construcción cercana, ya sea de una escuela, casa, salón social, etc. El sistema fue inaugurado en el año 2012 en la escuela rural mixta La Oscurana, ubicado en la comunidad del mismo nombre. (MARN, 2012)

b. Proyecto de captación de agua de lluvia municipalidad de Guatemala.

La municipalidad de Guatemala implementó sistemas de captación de agua de lluvia por medio de la dirección del medio ambiente, algunos de los sistemas implementados por la municipalidad de la ciudad capital se pueden encontrar en plaza el Amate en la zona 1 y en la escuela La Esperanza que se encuentra en la zona 25 de la ciudad de Guatemala. Este sistema funciona con un sistema de filtros compuestos de arena sílica y carbón activado que captan y a la vez limpian el agua de lluvia, al pasar por estos filtros se agregan sales y minerales además se elimina el sabor, el color y el olor del agua. (Gonzalez, 2017)

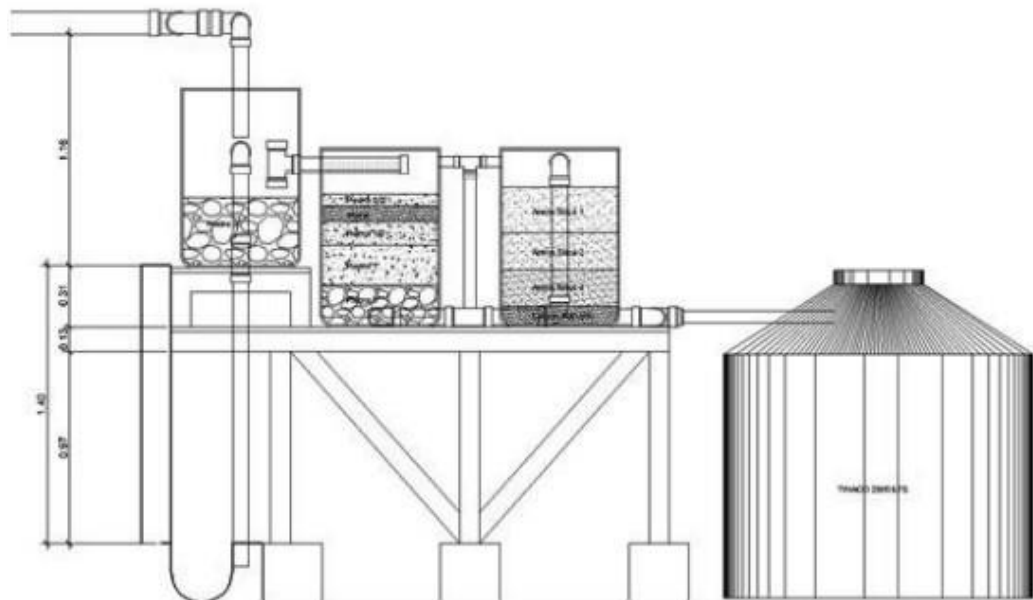


Figura 22. Sistema de captación de agua de lluvia realizado por la municipalidad de la Ciudad de Guatemala.

(Gonzalez, 2017)

c. Estructuras de captación y aprovechamiento de agua de lluvia “aguadas” en los municipios de Santa Ana y Dolores del departamento de Petén, Guatemala.

En los municipios de Santa Ana y Dolores del departamento de Petén, se realizó un ejercicio profesional de investigación que tenía como objetivo proponer lineamientos generales en la construcción de aguadas en cuanto a su ubicación, forma y tamaño, las aguadas son sistemas de captación de agua de lluvia que son excavaciones en la superficie hechas a mano o con maquinaria con el fin principal de abastecer de agua el ganado, estas estructuras suelen ser deficientes ya que son construidas de forma improvisada y no contienen un estudio detrás. (Martínez, 2007)

En esta investigación se realizaron lineamientos generales para la construcción de aguadas mejoradas. Para realizar esta investigación se estableció una red pluviométrica en la zona piloto, así como se hizo un análisis de calidad fisicoquímica y bacteriológica de agua contenida en aguadas del paisaje fisiográfico de ondulaciones. Los principales problemas zona piloto eran la alta degradación de pastizales y el deficiente abastecimiento de agua para el consumo animal en la época seca. Para establecer estos lineamientos se realizaron visitas de campo, se estudiaron los aspectos socio-económicos de la región, los aspectos geográficos y los aspectos biofísicos del lugar. (Martínez, 2007)

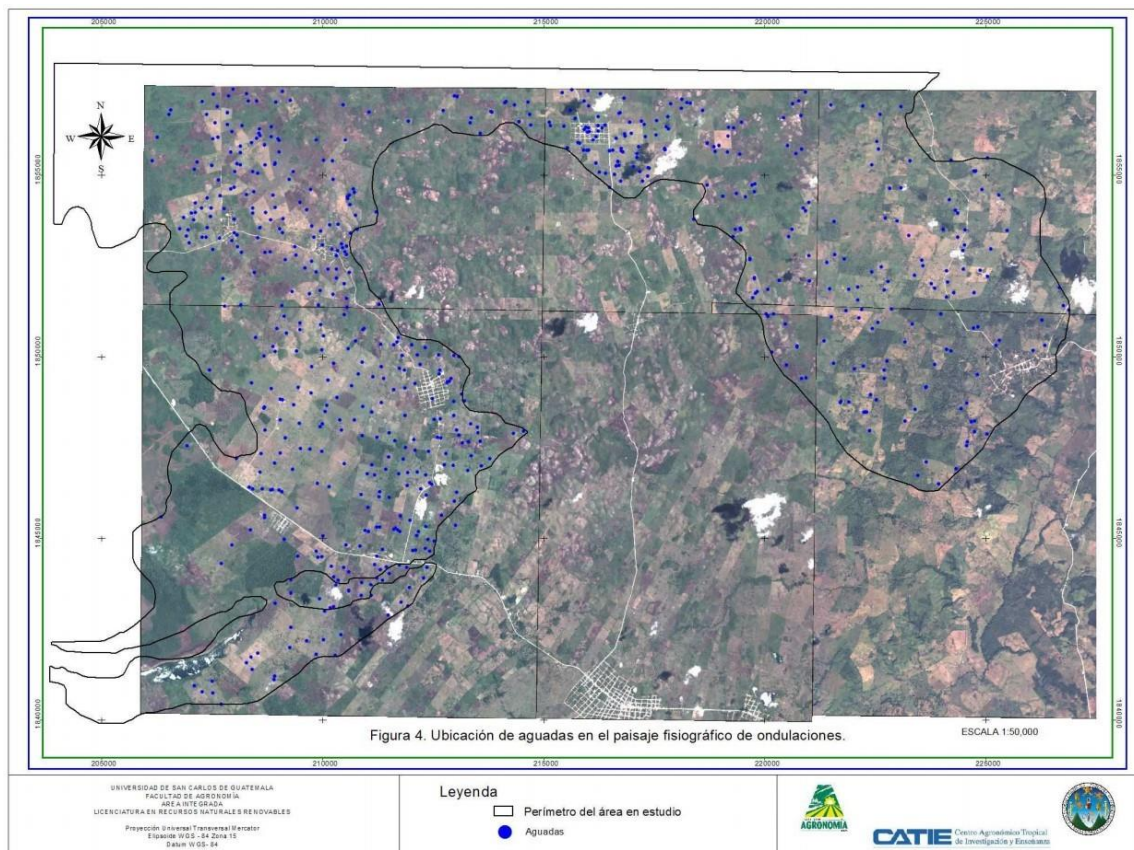


Figura 23. Ubicación de aguadas en el área de estudio

(Martínez, 2007)

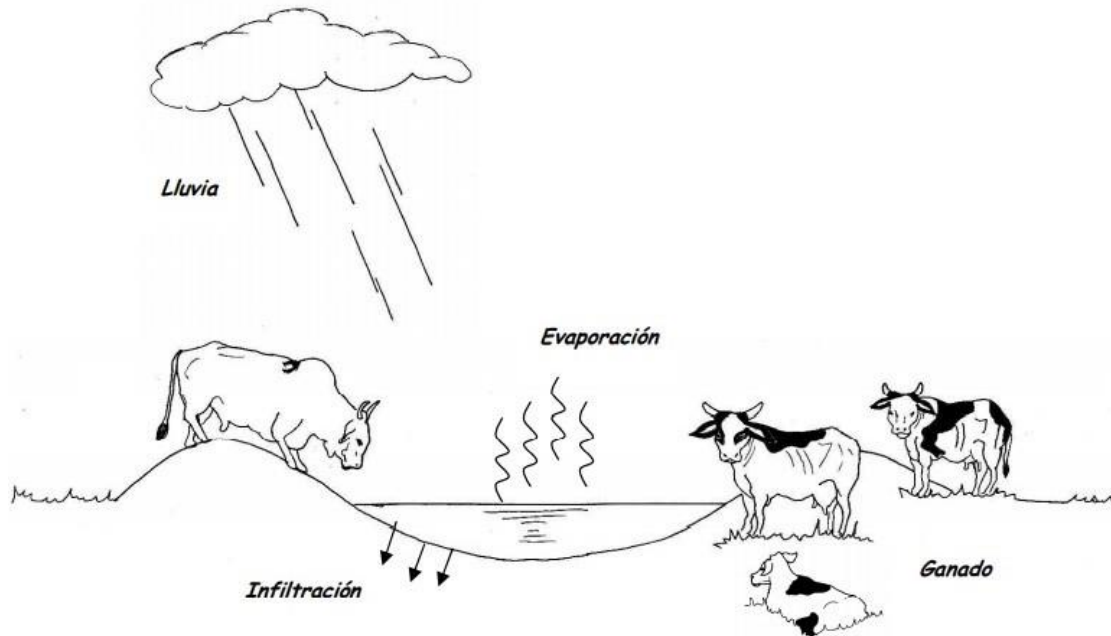


Figura 24. Esquema de las aguadas

(Martínez, 2007)

d. Reservorios en Agua Blanca, Jutiapa.

Para promover la adaptación al cambio climático en la región del corredor seco en Guatemala, el proyecto NAP Agricultura de la FAO brinda asistencia técnica a los agricultores de la zona mencionada en acción conjunta con el MAGA. (FAO, 2019)

El proyecto enfoca su trabajo en la zona semiárida de Guatemala, implementa buenas prácticas de adaptación al cambio climático, para hacer frente a las canículas prolongadas que afectan la región, las cuales llegan a superar los 40 días de duración. Una de las prácticas implementadas es la construcción de reservorios de agua de lluvia que tiene como fin el riego auxiliar, en especial para la producción de arroz, que es el principal cultivo de varios agricultores como el de Miguel Escobar en aldea el Tempisque en Agua Blanca, Jutiapa. (FAO, 2019)

El reservorio construido en la parcela de Don Miguel cuenta con una capacidad de 6,500Mts<sup>3</sup> para captar agua de lluvia, las dimensiones de este reservorio son de 85 metros de largo, 10 metros de ancho y una profundidad de 8 metros, la construcción comenzó en mayo de 2019 y completo su capacidad de llenado la segunda semana de junio. (FAO, 2019)

Don Miguel recibe asistencia técnica de FAO y el MAGA con otros agricultores de la comunidad por medio de la asociación de agricultores de oriente, esta asistencia proporcionada tiene como fin asegurar buenas prácticas para asegurar el crecimiento del cultivo durante el período de canícula o bien continuar con actividades agrícolas durante la época seca. El reservorio en la parcela de Don Miguel lo ayuda a cosechar 10 manzanas de arroz en su parcela en época seca o de canícula. (FAO, 2019)



*Figura 25. Reservorios en aldea el Tempisque, Agua Blanca, Jutiapa.*  
(FAO, 2019)

## **2. Antecedentes de captación de agua de lluvia internacionalmente.**

### **a. Microcaptación, cultivos anuales y perennes en Brasil.**

Las condiciones áridas y semiáridas en el nordeste de Brasil, los problemas relacionados con el manejo y conservación de agua y suelo son muy grandes, considerando factores climáticos como las bajas precipitaciones, su irregularidad espacial temporal (Períodos de 3 a 5 meses), suelos superficiales, pedregosos y con poca capacidad de retención.(FAO, 2000)

En Brasil la idea del uso de técnica para reducir el impacto de la irregularidad de lluvias sobre la producción agrícola data desde los años 30 en el municipio del pilar en Pernambuco, Brasil, donde experimentalmente la necesidad de utilizar técnicas de conservación de agua de lluvia en áreas dejadas en reposo contenía mayor humedad. Las técnicas de captación de agua de lluvia in situ fueron introducidas por el instituto nordestino para el fomento del algodón y oleaginosas (INAFOL) en 1973 y las investigaciones fueron intensificadas por el Centro de Pesquisa do Trópico Semi-árido (CPTSA) en 1982.(FAO, 2000)

El sistema de microcaptación o recolección de agua de lluvia in situ, se basa en la modificación de la superficie natural del terreno, con el propósito de formar uno o más planos inclinados que provoquen la la formación de escorrentía superficial en el propio pie de la planta. De manera general la captación in situ consiste en la formación de surcos y camellones sucesivos; también pueden se pequeñas cuencas o fajas excavadas alrededor de la planta. En una clasificación general se pueden agrupar los cultivos de forma anual o perenne, de esto depende el diseño del tipo de captación. (FAO, 2000)



*Figura 26.* Sistema de captación *in situ* para cultivos anuales.  
(FAO, 2000)



*Figura 27.* Sistema de captación *in situ* para cultivos perennes.  
(FAO, 2000)



b. Riego de salvación en Brasil.

Esta técnica es la ya mencionada anteriormente captación de cuenca y embalse superficial para riego. El aprovechamiento del agua que escurre en la superficie del suelo es una técnica de captación que se conoce desde 4000 años atrás, siendo utilizada por agricultores en la edad de bronce en el desierto de Negev en Israel, en ese entonces recogían piedras que se encontraban en el suelo para así aumentar la cantidad de escurrimiento de agua, también construían tanques de almacenamiento y diques divisorios con la finalidad de captar y conducir el agua hacia las partes bajas de los campos para regar sus siembras. (FAO, 2000)

El sistema de aprovechamiento de la escorrentía superficial a través de embalses de salvación -SAES-ES-, es una técnica de captación que tiene como fin el captar y almacenar en reservorios (embalses) superficiales, el excedente de agua que se produce en la superficie del suelo después de las precipitaciones, para su utilización posterior en periodos en los que no hay lluvias pese a estar en época lluviosa, como riego de salvación y, en época seca como riego complementario. (FAO, 2000)

## I. Análisis foda de los diferentes tipos de macrocaptación

Para facilitar el análisis de que método de captación utilizar, una análisis foda de cada uno es una herramienta que facilita la elección de los mismos.

### 1. Análisis foda de bordos trapezoidales y rectangulares.

A continuación, se presenta el análisis foda para los bordos trapezoidales y rectangulares.



Figura 28. Análisis foda de bordos trapezoidales y rectangulares. (FAO, 2000, M. Aguirre, 2011, León, 2006)

## 2. Análisis foda de bordos de piedra.

A continuación, se presenta el análisis foda para los bordos de piedra en contorno.

### ANÁLISIS FODA DE BORDOS PERMEABLES DE PIEDRA EN CONTORNO

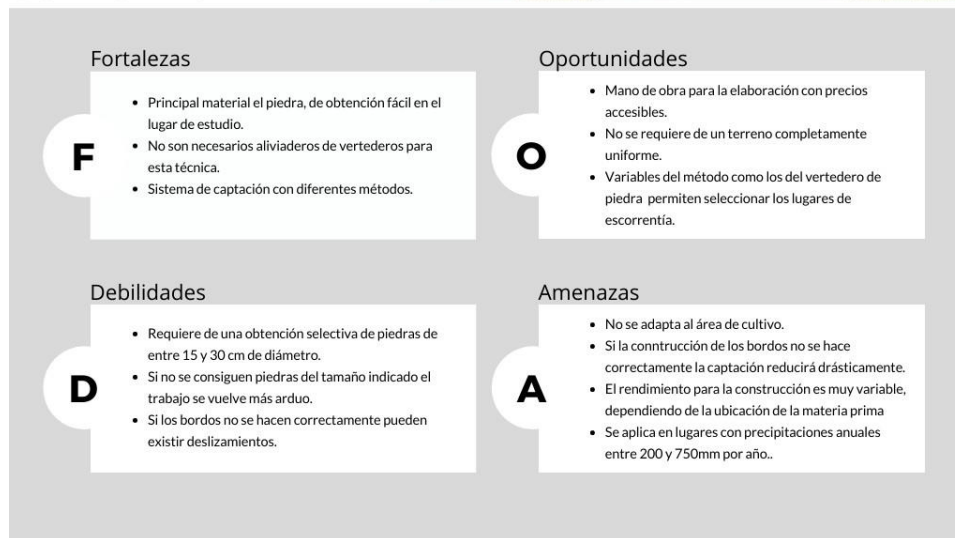
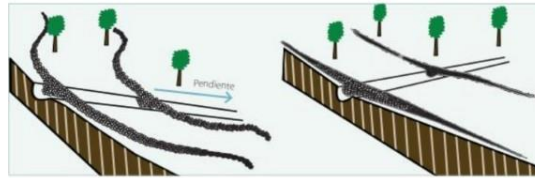
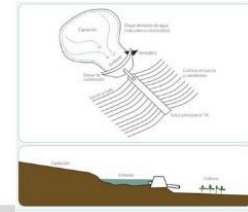


Figura 29. Análisis foda de bordos de piedra.  
(FAO, 2000 M. Aguirre, 2011, León, 2006)

## 3. Análisis foda de captación de cuenca y embalse superficial para riego.

A continuación, se presenta el análisis foda para captación de cuenca y embalse superficial para riego.

# ANÁLISIS FODA DE CAPTACIÓN DE CUENCA Y EMBALSE SUPERFICIAL PARA RIEGO



## Fortalezas

**F**

- Técnicas similares ya son aplicadas en el lugar de estudio.
- No son necesarios aliviaderos de vertederos para esta técnica.
- Se adapta al área de cultivo.

## Oportunidades

**O**

- Aplicado en condiciones similares en Brasil.
- Existen varios documentos de apoyo para ayuda en la elaboración de los embalses
- Con la ayuda de sistemas de información geográfico se pueden determinar los lugares de captación

## Debilidades

**D**

- Requiere de maquinaria más especializada, lo que aumenta su costo de elaboración
- Requiere un estudio detallado de precipitación en el lugar.
- Las estructuras deben estar lo más cerca posible para evitar costos elevados en la elaboración del sistema de captación.

## Amenazas

**A**

- Se debe saber hacia donde se dirigirá la escorrentía
- Puede llegar a necesitar amplias extensiones de terreno.
- Si existe una lluvia fuera de los rangos estimados en fenómenos como huracanes pueden generar inundaciones.

Figura 30. Análisis foda de captación de cuenca y embalse superficial para riego. (FAO,2000 M. Aguirre, 2011, León, 2006)

## VII. ANÁLISIS Y RESULTADOS

### A. Recomendaciones para la elección del sistema de captación

Para seleccionar el sistema de captación de agua de lluvia en hay que tomar en cuenta diferentes aspectos, la FAO presenta diferentes recomendaciones para que la elección se lo más conveniente y efectiva posible:

Criterio	Cuestión a responder
Cantidad y calidad del agua disponible.	¿Con qué volumen de agua y calidad se puede contar?
Prioridades de los usuarios.	¿Cuáles son las prioridades de uso del agua establecidas por los usuarios, considerando su disponibilidad (cantidad y calidad)?
Conocimiento y experiencias locales.	¿Cuáles son los conocimientos y las experiencias (buenas y malas) con que cuenta la comunidad?
Eficiencia.	¿Cuál es la eficiencia en el uso de los recursos actuales? ¿Se puede mejorar?
Exploración de todas las posibilidades.	¿Cuáles son las opciones de captación para la finalidad de uso establecida, compatibilizando volumen, calidad, costos y disponibilidad económica de los interesados?
Capacidades y habilidades.	De las opciones disponibles, ¿cuáles son aquellas que los usuarios perciben como más factibles de manejar y mantener (considerando las capacidades existentes, la factibilidad de implementarlas y los costos, entre otros aspectos)?

**Cuadro 4**  
*Criterios para selección del sistema de captación.*

(FAO, 2013)

Es importante conocer la finalidad de uso que se le dará al sistema de captación, esto varía dependiendo la comunidad.

Finalidad de uso	Subfinalidad de uso	Sistema de captación preferencial
Consumo doméstico	Bebida, alimentación, higiene personal	Techo de la vivienda u otra construcción Pozo con buena calidad de agua
	Lavado de ropa	Techos Pozo
	Higiene de la vivienda	Techos y patios Otras superficies impermeables
Consumo animal	Abrevadero	Techos y patio Pozo Otras superficies impermeables Escorrentía de caminos y cuencas
	Higiene de instalaciones	Otras superficies impermeables Escorrentía de caminos y cuencas
Producción vegetal	Huertos caseros (frutales y hortalizas)	Técnicas de microcaptación de la escorrentía Técnicas de macrocaptación de la escorrentía Aprovechamiento de la napa freática Techos y otras superficies impermeables Pozo
	Forraje	Técnicas de microcaptación de la escorrentía Técnicas de macrocaptación de la escorrentía Aprovechamiento de la napa freática Techos y otras superficies impermeables Derivación de caudales de manantiales
	Áreas de otros cultivos de subsistencia o comerciales	Técnicas de microcaptación de la escorrentía Técnicas de macrocaptación de la escorrentía Aprovechamiento de la napa freática Derivación de caudales de manantiales

**Cuadro 5**  
*Sistemas de captación y finalidad de uso.*

(FAO, 2013)

Para la elección del sistema de captación se establecen ciertas prioridades basadas en las recomendaciones del Cuadro 16.

- La necesidad de las familias de la comunidad son prioridad sobre cualquier otro uso que se le pueda dar agua, además de que, el agua de mejor calidad debe ser destinada a para este consumo. (FAO, 2013)
- Las necesidades de uso pecuario tienen prioridad sobre cualquier uso agrícola, debido a que las plantas presentan una mejor resistencia a la escasez de agua. (FAO, 2013)
- Las áreas de producción para el consumo de las familias y de los animales es prioritario sobre las áreas de producción de cultivos comerciales. (FAO, 2013)
- Para la producción agrícola, las técnicas de captación de escorrentía son prioritarias sobre otras, la escorrentía debe de tener un buen manejo, exista déficit hídrico o no. (FAO, 2013)
- La utilización del agua se debe de dar de manera responsable, ya que no tiene sentido captar el agua y que esta no sea economizada. (FAO, 2013)

Entonces, para realizar actividades y la ejecución de obras de captación y aprovechamiento de agua de lluvia, es importante seguir los siguientes pasos, según la FAO:

- 1) Conocer y cuantificar el ciclo hidrológico de la comunidad o área de interés, estudiar y tener claras cuáles son las posibilidades o actividades que, si son realizadas, permiten mejorar el nivel de convivencia con sus características, en especial en su fase crítica, mejorando la productividad y la calidad de vida. (FAO, 2013)
- 2) Estudiar y verificar el conocimiento y experiencia de los pobladores para establecer posibilidades de mejoramiento y necesidades de cambios. Varias alternativas tecnológicas son buenas y sencillas en uso no tienen la debida divulgación o consideración técnica y son aplicadas de manera aislada. (FAO, 2013)
- 3) Identificar y verificar las necesidades inmediatas y que son prioridad en la comunidad, para definir las finalidades del uso del agua. (FAO, 2013)
- 4) Establecer participativamente objetivos y metas, claros y factibles, de corto, mediano y largo plazo, para definir las mejores técnicas de captación de agua de lluvia, evitando falsas expectativas. (FAO, 2013)

A continuación, para complementar la información ya expuesta en el documento, se presenta información importante para la selección del método de captación de agua de lluvia según las recomendaciones de la FAO.

## **B. Lluvia en el municipio**

Para determinar el tipo de captación a utilizar y la capacidad de esta es importante saber con que lluvia se cuenta en Agua Blanca, para esto nos basaremos en las estaciones del INSIVUMEH que quedan en las cercanías del municipio, las cuales son: La ceibita en Monjas, Jalapa; Asunción Mita, Jutiapa y Esquipulas en Chiquimula. Para obtener los datos se contactó con el INSIVUMEH, el cual brindó una base de datos de las estaciones en la que podemos encontrar la lluvia promedio en la estación, así como datos de las temperaturas máximas, mínimas y medias.

### **1. Estaciones meteorológicas del INSIVUMEH a nivel nacional.**

El INSIVUMEH cuenta con diferentes estaciones meteorológicas por todo el país, que se encuentran ubicadas en los siguientes puntos:

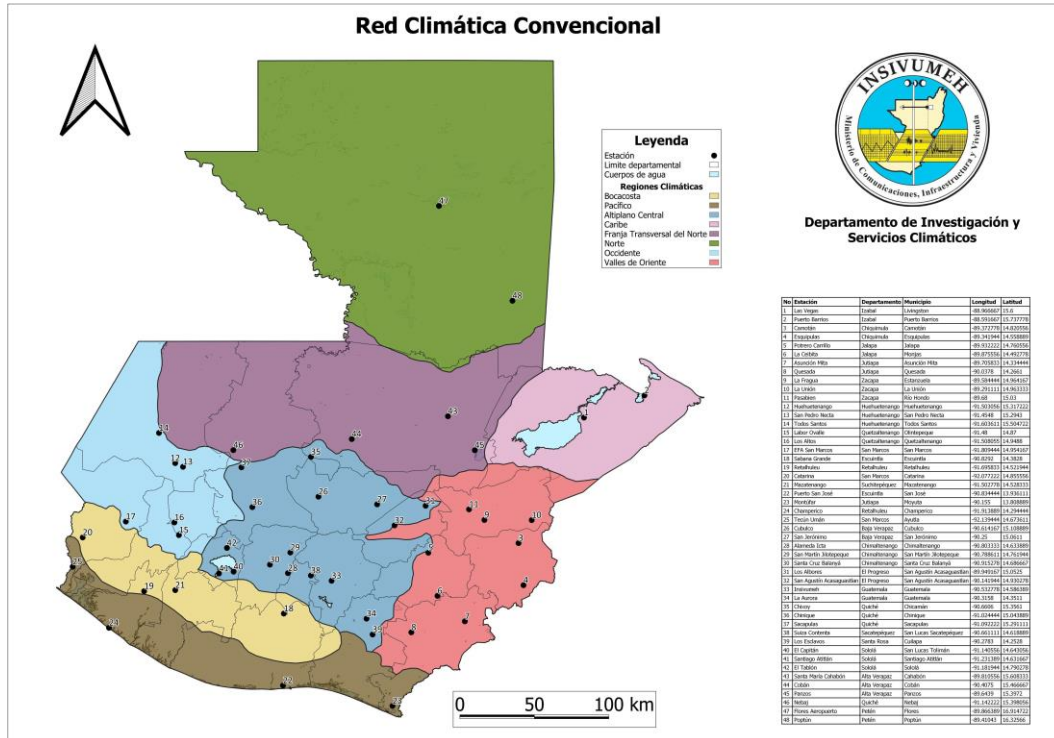


Figura 31. Estaciones meteorológicas del INSIVUMEH en el país.

(INSIVUMEH, s.f.)

## 2. La ceibita, Monjas, Jalapa.

A continuación, se presentan los datos proporcionados por el INSIVUMEH para la estación de La Ceibita, ubicada en Monjas, Jalapa:

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1998	0	0	17.9	0.4	53.7	144.3	186.7	166.3	24.4	340.6	223.3	0
1999	0	0	11.5	0	222.9	252.2	162.9	193.8	254.8	157.5	1.8	3.3
2000	0	0	6.4	0	173.1	296.9	63.1	234.1	119.9	32	0	0
2001	0	0	3.7	19.7	143	115.5	154.4	149.7	180.3	46.3	10	0
2002	0	0	0.1	0	106.6	229.4	109.2	72.4	320.3	61.6	78.7	0
2003	0	0	0.1	0	106.6	229.4	109.2	72.4	320.3	61.6	78.7	0
2004	0	0	4.4	0.3	53.5	151.2	177.5	47.4	206.5	96.6	3.5	0
2005	0	0	1.7	12.5	104.7	330.9	145.3	214.4	162.7	163.1	15	0
2006	0	0	0	7.7	113.9	345.9	169.6	156.9	160.3	128.1	37	1.7
2007	1	0	1	37	101.6	247.6	150.7	139.9	309.6	157.6	3.5	0
2008	0	7.4	4.3	28	23.8	254.5	314.6	190.9	224.3	111.5	0	0.1
2009	0.4	2.2	0	0.1	0	0	0	160.3	68.6	0	0	0
2010	0	0	0	8	123.3	213.5	168.8	358.1	202.6	43.7	5	0
2011	0	0	10.6	0	97.4	0	286.5	148.2	122.1	318.1	0	0
2012	7	0	0	0	218.8	112.8	100.4	298.5	92.2	65.1	0	0
2013	0	0	6	7.4	85.6	98.8	81.3	129.2	251.1	154.7	0	0
2014	0	1.6	2.2	11.2	118.5	150	21	113.9	250.5	122.4	4.4	0
2015	0	0	5	36.2	39	55.2	49.2	59.7	176.3	109.9	77.2	0
2016	0	0	0	2.5	49.4	104.7	60.6	177.6	123.2	9.2	0.6	0
2017	0	0	2.2	5.2	157.2	197.6	179.4	145.9	135.1	139.4	0	0
2018	0.1	1.6	0	16.1	128.6	221.5	47.6	99.6	191.7	120.4	15.8	0

Cuadro 6

Resumen de lluvia de 1998 a 2018 en la estación de La Ceibita, en Monjas, Jalapa. Los datos en amarillo son datos faltantes.

En la siguiente gráfica se presenta el promedio de precipitaciones por mes desde el año 1998 a 2018 en la estación de La Ceibita, en Monjas, Jalapa.

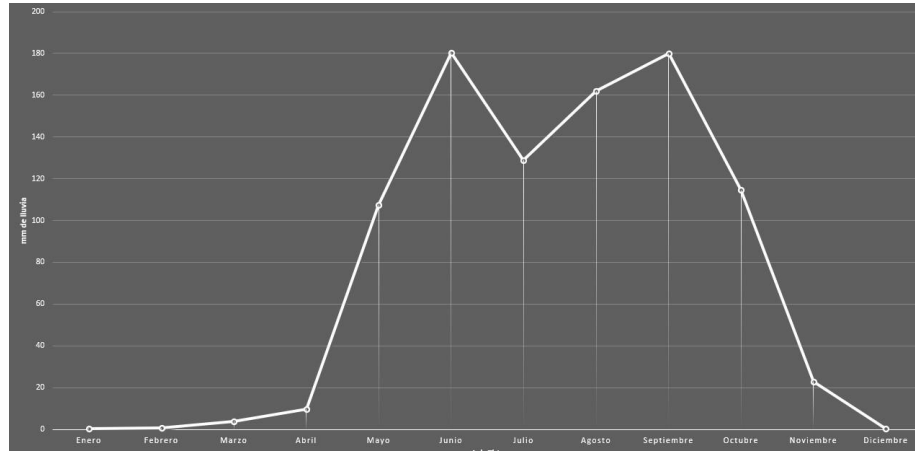


Figura 32. Gráfico de resumen de lluvia de 1998 a 2018 en la estación de La Ceibita, en Monjas, Jalapa.

### 3. Asunción Mita.

A continuación, se presentan los datos proporcionados por el INSIVUMEH para la estación de Asunción Mita, Jutiapa:

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1998	0	0.2	17.7	0	46.9	352.5	183.3	160.1	0	0	0	0
1999	0	0	0	10.1	157	305	168.4	304.2	323.1	309.9	0	0
2000	0	0	8	30.4	273.3	447.2	127.9	234.8	212.1	52.1	0	0
2001	0	0	0	37.6	256.5	95.5	365.4	150.1	401.2	184.4	5.1	9.1
2002	0	0.8	0	4.1	114.1	296.2	203.2	181.2	316.4	110.3	11	0
2003	1	0	21.9	14.6	154.8	290.2	209.8	184.6	443.4	100.8	6.2	0
2004	0.5	5	0	0.6	239.2	175.6	221.2	78.9	250.8	136.8	7.8	0
2005	0	0	7.5	5.4	106.5	320.4	282.9	222.1	308.7	201.2	9.4	0
2006	0	1.7	0	21.7	197.4	405.8	217.3	167	263	243.3	109.9	0
2007	0	0	7.8	48.8	54	330.1	245.2	159.8	320.1	82.6	1.1	0.3
2008	1.4	7.3	3.5	30.9	101.2	391	337.5	221.4	289	156.9	0	0
2009	0	4.4	0	5.9	311.2	180.9	267.4	291	320	104	60	12.4
2010	0	0	0.6	91.6	306.5	305.3	334.1	373.4	215.4	44.9	37	0
2011	0	29.6	8.3	19.1	296.5	283.5	364.4	348.9	268.8	372.2	22.7	0
2012	0	1.3	0.6	44.3	311.2	54.3	160.2	508.1	238.8	108.8	0	13.6
2013	0	0	11.9	32	139.4	252.4	207.4	154.6	491	323.3	21.7	7.3
2014	0	0.3	13.3	4.9	176.7	299.1	25.8	250.1	344	133.2	6.6	0
2015	0	0	15.5	95.8	117.7	104.3	107.9	126.1	322.6	225.4	89.2	2.5
2016	0	0	11.9	0.7	117.1	259.6	134.2	226.4	271.2	9.9	1.6	5.7
2017	0.3	0	3.7	0	223.5	254.6	333.7	186.1	347.6	113.3	0.2	0
2018	0	12.5	26.3	68.4	243.9	500.8	51.7	204.5	242.9	90.6	4.2	0

Cuadro 7  
Resumen de lluvia de 1998 a 2018 en la estación de Asunción Mita, Jutiapa. Los datos en amarillo son datos faltantes

En la siguiente gráfica se presenta el promedio de precipitaciones por mes desde el año 1998 a 2018 en la estación de Asunción Mita, Jutiapa.



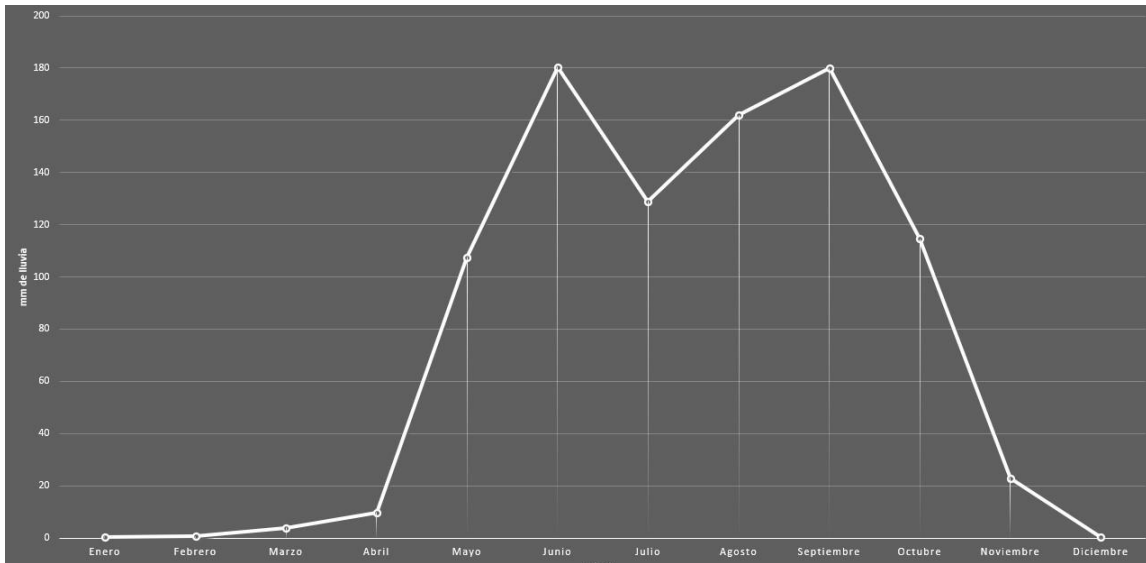


Figura 33. Gráfico de resumen de lluvia de 1998 a 2018 en la estación de Asunción Mita, Jutiapa.

#### 4. Esquipulas.

A continuación, se presentan los datos proporcionados por el INSIVUMEH para la estación de Esquipulas, Chiquimula:

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1998	8.8	0	12	23.6	177.2	309.5	179.1	337.9	158.5	289.6	117.5	13.9
1999	3.6	2.4	6.8	39	67	277	325.4	454	349	274.7	11.4	28.1
2000	8.8	8.3	0.2	5	351.4	340.5	144.5	217.1	358.2	60.2	15	13.2
2001	10	8.2	5.2	58.5	120.5	125.1	402.8	351.7	343	140.7	27.9	9.8
2002	8.6	8.7	5.8	0	87.6	156.1	192	150.6	229.6	188.5	85.3	19.2
2003	20.4	2.3	42.3	13.4	141.2	363.5	93.5	164.7	479.5	202.1	37.6	3.5
2004	11.3	5.7	13	75.6	73	383.3	100.3	357.8	326.3	279.5	25.2	14.1
2005	6.4	0.7	79.3	14.5	199.9	418.6	441.1	355.3	275.3	256.2	37.1	4.6
2006	16.9	6.8	1.1	40.4	216.6	550.7	265	312.3	401	261.8	40.1	15.1
2007	14	7.2	1.4	31.2	88.9	305	325.7	277.6	544	171.6	16.5	2.5
2008	17.8	2	11.9	45.9	121.3	202.3	549.2	298.4	360.2	139.9	3.3	8.6
2009	8.3	10	0.4	9.6	215	210.6	207.7	331.7	256.6	162.1	38.2	27.9
2010	5.5	4.8	0	113.5	211.2	260.9	273.3	312.3	255.7	43.5	4.1	6
2011	7.2	31.4	19.2	29.6	163	274.1	317.6	361.5	282.8	261	54.7	16.8
2012	13.1	4.3	10.2	125.2	221.8	285.5	235.8	454.5	314.9	201.6	12.6	9.2
2013	10.1	9.7	57.8	2.5	249.4	234.6	176.5	211.7	282.5	432.5	19.8	13.3
2014	5.3	4.2	27.8	178.2	80.1	360.9	52.7	259	427.8	192.7	57.5	19.5
2015	19.6	3.8	19.3	60.8	48.5	144.6	148.8	116.9	512.7	167.7	76.5	9.4
2016	5	10.4	2.8	27.9	131.7	390.6	144.6	256.5	261.5	25.8	12	28.6
2017	17.1	2.1	7.3	86.5	313.9	307	367.6	263.1	320	71.2	10.4	12.7
2018	11.4	7.3	4.3	45.6	130.4	451.2	71.1	211	295.2	140	0	0

Cuadro 8

Resumen de lluvia de 1998 a 2018 en la estación de Esquipulas, Chiquimula. Los datos en amarillo son datos faltantes

En la siguiente gráfica se presenta el promedio de precipitaciones por mes desde el año 1998 a 2018 en la estación de Esquipulas, Chiquimula.

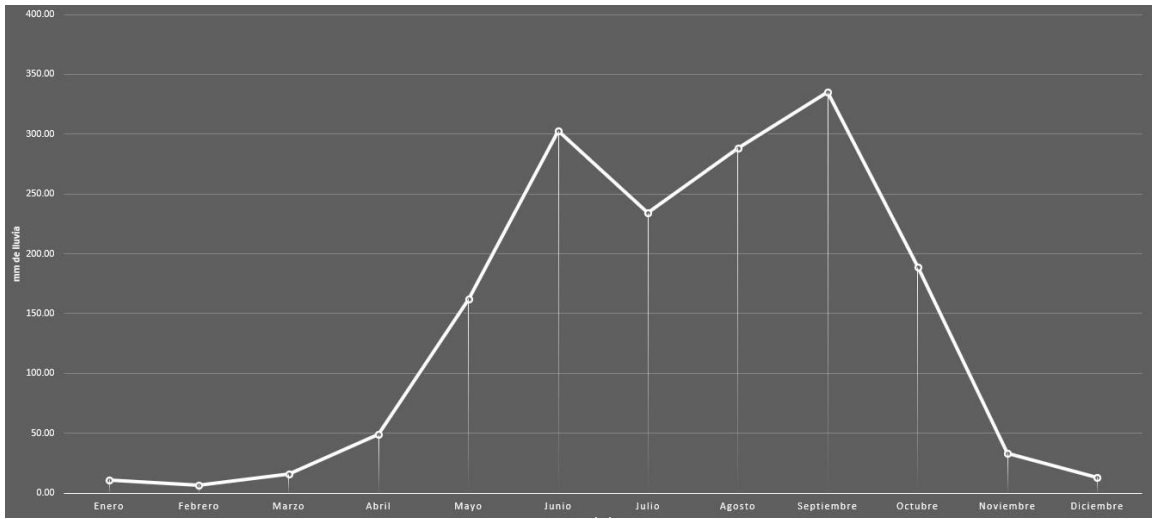


Figura 34. Gráfico de resumen de lluvia de 1998 a 2018 en la estación de Esquipulas, Chiquimula.

## 5. Polígonos de Thiessen.

Para estimar que lluvia se utilizará para decidir y diseñar el sistema de captación de agua de lluvia, es necesario saber que estación tiene más influencia sobre el municipio, esto se logra con QGIS y la herramienta de polígonos de Thiessen (Polígonos de Voronoi).

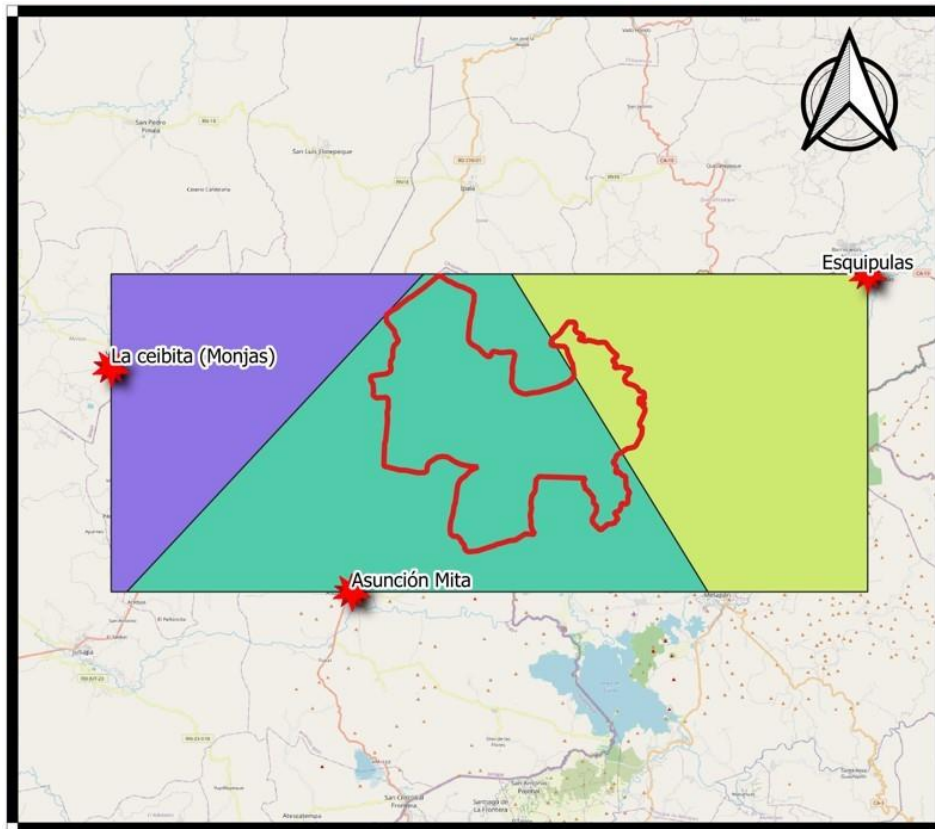


Figura 35. Polígonos de Thiessen de las estaciones cercanas a Agua Blanca. (Elaboración propia)

Como se puede observar en la imagen, la estación de Asunción Mita, Jutiapa es la que mayor influencia tiene sobre Agua Blanca, esto se debe a su cercanía. Con este resultado obtenido, los datos de lluvia que se trabajarán se harán con esta estación.

## 6. Corrección de datos faltantes de la estación de Asunción Mita.

La estación ubicada en Asunción Mita, Jutiapa, tiene dos datos faltantes en el año 1998 en los meses de septiembre y octubre, para realizar la estimación de estos datos faltantes se utilizó el método aritmético, complementando con los datos de las estaciones de los meses con los que no secuentan datos.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1998	0.00	0.20	17.70	0.00	46.90	352.50	183.30	160.10	45.06	179.59	0.00	0.00
1999	0.00	0.00	0.00	10.10	157.00	305.00	168.40	304.20	323.10	309.90	0.00	0.00
2000	0.00	0.00	8.00	30.40	273.30	447.20	127.90	234.80	212.10	52.10	0.00	0.00
2001	0.00	0.00	0.00	37.60	256.50	95.50	365.40	150.10	401.20	184.40	5.10	9.10
2002	0.00	0.80	0.00	4.10	114.10	296.20	203.20	181.20	316.40	110.30	11.00	0.00
2003	1.00	0.00	21.90	14.60	154.80	290.20	209.80	184.60	443.40	100.80	6.20	0.00
2004	0.50	5.00	0.00	0.60	239.20	175.60	221.20	78.90	250.80	136.80	7.80	0.00
2005	0.00	0.00	7.50	5.40	106.50	320.40	282.90	222.10	308.70	201.20	9.40	0.00
2006	0.00	1.70	0.00	21.70	197.40	405.80	217.30	167.00	263.00	243.30	109.90	0.00
2007	0.00	0.00	7.80	48.80	54.00	330.10	245.20	159.80	320.10	82.60	1.10	0.30
2008	1.40	7.30	3.50	30.90	101.20	391.00	337.50	221.40	289.00	156.90	0.00	0.00
2009	0.00	4.40	0.00	5.90	311.20	180.90	267.40	291.00	120.00	104.00	60.00	12.40
2010	0.00	0.00	0.60	91.60	306.50	305.30	334.10	373.40	215.40	44.90	37.00	0.00
2011	0.00	29.60	8.30	19.10	296.50	283.50	364.40	348.90	268.80	372.20	22.70	0.00
2012	0.00	1.30	0.60	44.30	311.20	54.30	160.20	508.10	238.80	108.80	0.00	13.60
2013	0.00	0.00	11.90	32.00	139.40	252.40	207.40	154.60	491.00	323.30	21.70	7.30
2014	0.00	0.30	13.30	4.90	176.70	299.10	25.80	250.10	344.00	133.20	6.60	0.00
2015	0.00	0.00	15.50	95.80	117.70	104.30	107.90	126.10	322.60	225.40	89.20	2.50
2016	0.00	0.00	11.90	0.70	117.10	259.60	134.20	226.40	271.20	9.90	1.60	5.70
2017	0.30	0.00	3.70	0.00	223.50	254.60	333.70	186.10	347.60	113.30	0.20	0.00
2018	0.00	12.50	26.30	68.40	243.90	500.80	51.70	204.50	242.90	90.60	4.20	0.00

Cuadro 9

*Resumen de lluvia de 1998 a 2018 corregido, en la estación de Asunción Mita, Jutiapa.*

En la siguiente tabla se procesó la información de lluvia, ordenándola del año con más precipitación al año con menor precipitación.

N	AÑO	Lluvia mm	No. de orden	Probabilidad
14	2011	2014.00	1	3%
13	2010	1708.80	2	8%
16	2013	1641.00	3	12%
9	2006	1627.10	4	17%
2	1999	1577.70	5	22%
11	2008	1540.10	6	26%
4	2001	1504.90	7	31%
8	2005	1464.10	8	36%
20	2017	1463.00	9	41%
21	2018	1445.80	10	45%
15	2012	1441.20	11	50%
6	2003	1427.30	12	55%
3	2000	1385.80	13	59%
12	2009	1357.20	14	64%
17	2014	1254.00	15	69%
10	2007	1249.80	16	74%
5	2002	1237.30	17	78%
18	2015	1207.00	18	83%
7	2004	1116.40	19	88%
19	2016	1038.30	20	92%
1	1998	985.34	21	97%

Cuadro 10

*Tabla de información para obtener la lluvia disponible el 75 % de las veces en Agua Blanca, Jutiapa.*

Con los datos corregidos, se utiliza el método previamente descrito para estimar la lluvia disponible el 75 % de las veces para realizar el diseño de los embalses, para el cálculo de la probabilidad se utilizó la ecuación 1.

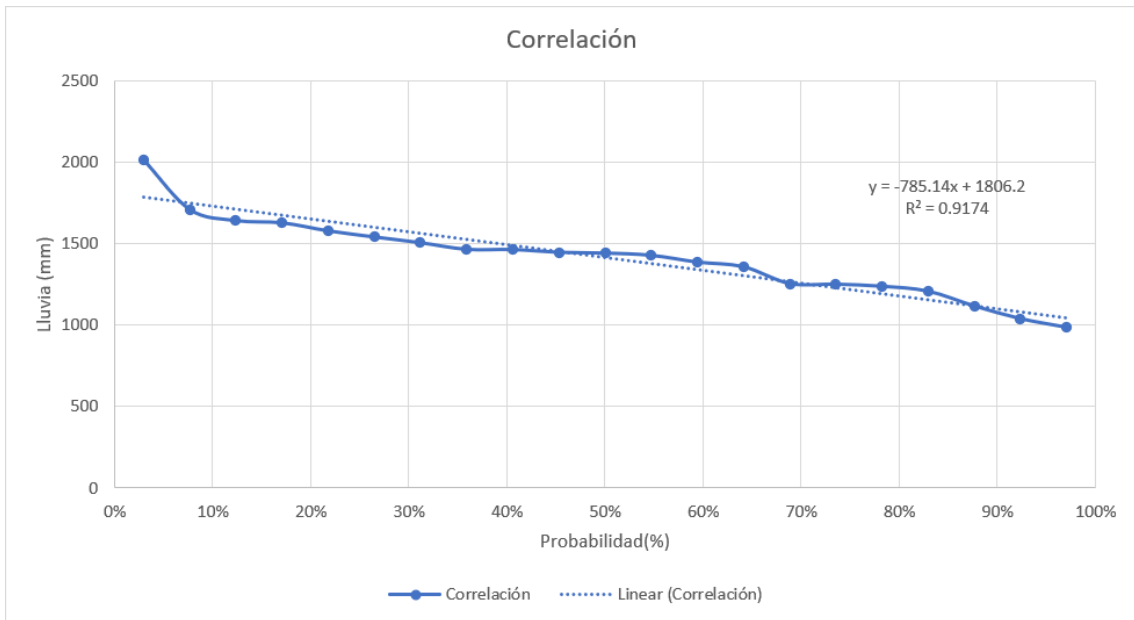


Figura 36. Gráfico de disponibilidad de Lluvia con datos de la estación de Asunción Mita, Jutiapa

Para obtener la lluvia con la que se contará un 75 % de las veces, se aplica la correlación del gráfico.

$$P75 = -785.14(0.75) + 1806.2 = 1163.3525mm \quad (7)$$

El resultado de aplicar esta ecuación es 1163.3525 mm de lluvia con la que se puede contar el 75 % de las veces.

## 7. Datos de Giovanni NASA.

Para obtener datos de diferentes fuentes se utilizó la plataforma de NASA Giovanni, disponibles al público en general en <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/>. Los datos de precipitación son registrados por diferentes satélites, en este caso se utilizarán los datos de la misión Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), estos son datos de lluvia mensual en milímetros desde el año 1998 al 2018 en el área del municipio de Agua Blanca.

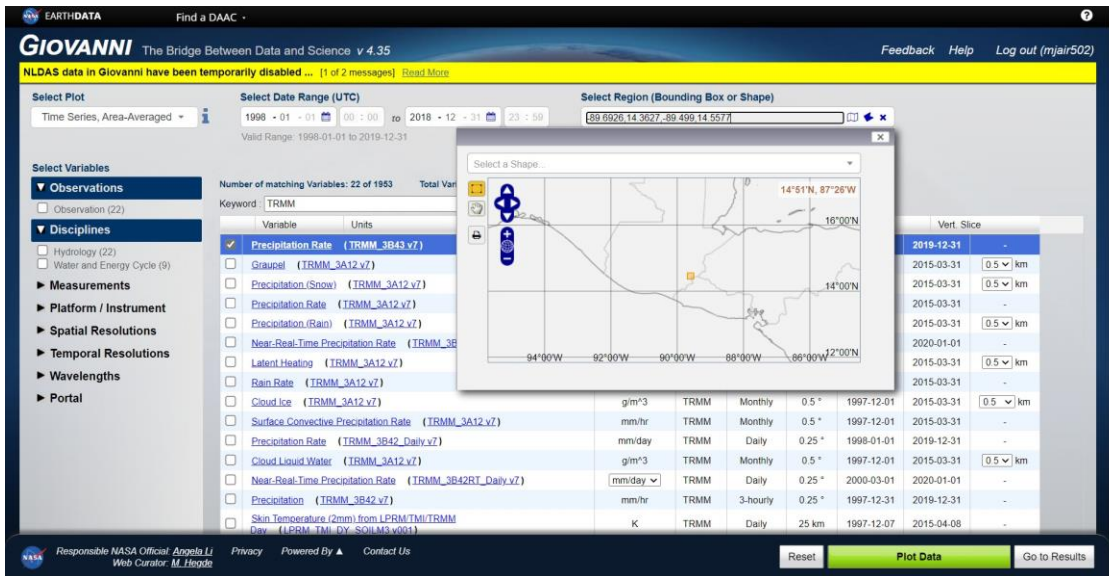


Figura 37. Obtención de datos en la plataforma de Giovanni NASA.

En la figura a continuación se muestra como la plataforma nos da los resultados de lluvia mensual en el área de estudio.

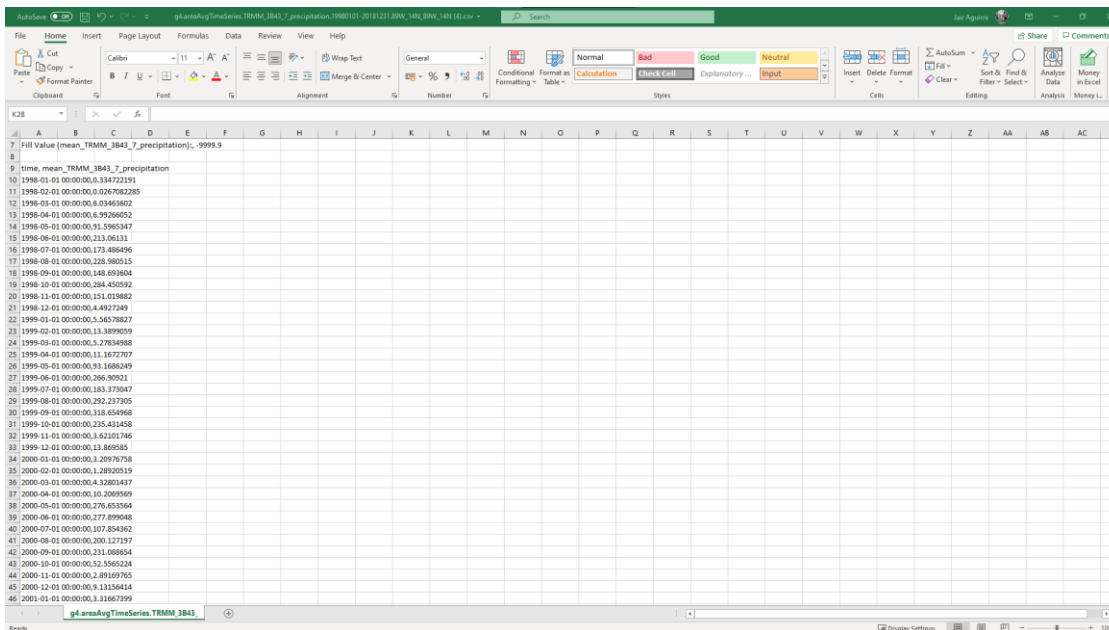


Figura 38. Base de datos de la lluvia mensual en Agua Blanca de la misión TRMM.

Los datos mostrados se ordenaron para obtener una mejor lectura de los mismos y estimar la lluvia con la que se puede contar.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1998	0.33	0.03	6.03	6.99	91.60	213.06	173.49	228.98	148.69	284.45	151.02	4.49
1999	5.57	13.39	5.28	11.17	93.17	266.91	183.37	292.24	318.65	235.43	3.62	13.87
2000	3.21	1.29	4.33	10.21	276.65	277.90	107.85	200.13	231.09	52.56	2.89	9.13
2001	3.32	4.75	5.86	19.79	164.76	82.03	257.67	176.38	275.23	93.82	21.27	2.35
2002	1.58	5.61	1.33	0.92	112.33	183.29	153.00	123.08	254.52	132.66	48.76	6.66
2003	15.16	3.64	29.29	17.74	140.71	271.75	118.19	164.54	332.92	69.09	13.25	6.70
2004	16.08	5.17	15.47	29.46	151.96	189.23	213.79	134.47	236.34	170.90	17.93	8.32
2005	5.70	2.77	34.94	7.38	113.98	317.22	275.88	228.96	243.24	199.76	8.39	2.74
2006	7.00	6.12	2.42	32.01	184.81	360.93	197.27	153.30	221.48	171.81	51.84	4.91
2007	13.47	1.51	7.28	56.13	66.61	280.64	240.35	200.43	341.74	159.15	4.64	21.13
2008	5.93	8.98	11.25	51.18	91.15	249.69	408.35	239.54	312.81	160.97	7.42	9.12
2009	22.37	48.66	9.35	17.00	275.41	445.65	200.30	214.27	130.60	83.22	134.50	33.91
2010	21.30	3.27	1.88	78.29	220.43	323.08	266.03	301.85	254.35	15.11	16.04	3.90
2011	21.25	71.95	30.39	48.26	172.64	282.20	297.68	316.70	246.94	337.62	44.08	0.26
2012	4.68	26.30	16.30	125.99	247.64	172.45	199.48	289.61	180.80	174.70	8.64	39.61
2013	6.04	2.64	43.18	12.28	217.41	178.49	189.57	219.59	196.40	240.22	46.35	5.67
2014	10.22	10.68	27.51	13.23	211.85	276.97	39.39	249.52	301.92	215.97	24.61	10.62
2015	8.77	10.02	21.60	46.88	144.05	134.77	121.93	140.50	311.77	216.25	121.33	0.00
2016	5.13	11.32	6.50	20.81	133.55	301.71	149.38	190.48	178.09	51.61	12.07	28.50
2017	1.77	1.85	2.00	21.58	254.64	280.93	241.96	171.89	326.10	135.73	3.92	0.04
2018	3.80	27.68	9.09	118.89	214.75	211.10	91.96	192.55	127.11	146.96	21.49	8.75

Cuadro 11  
Resumen de lluvia de 1998 a 2018 de la misión TRMM

En la siguiente gráfica se presenta el promedio de precipitaciones por mes desde el año 1998 a 2018 con información de NASA GIOVANNI.

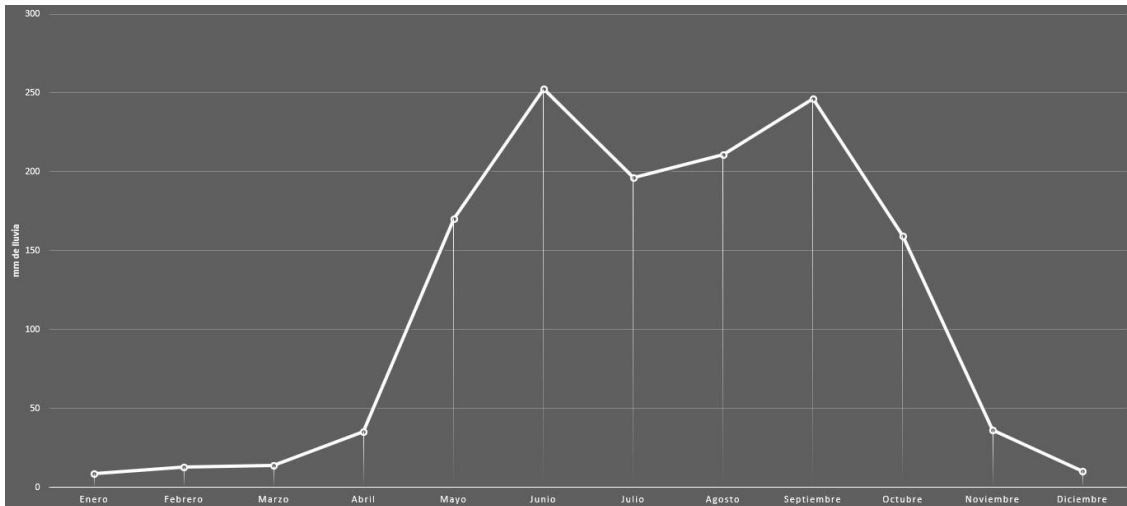


Figura 39. Gráfico de resumen de lluvia de 1998 a 2018 en Agua Blanca, Jutiapa, de la misión TRMM.

Con los datos procesados, se utiliza el método previamente descrito para estimar la lluvia disponible el 75 % de las veces para realizar el diseño de los embalses, para el cálculo de la probabilidad se utilizó la ecuación 1.

N	AÑO	Lluvia mm	No. de orden	Probabilidad
14	2011	1869.97	1	3%
12	2009	1615.24	2	8%
11	2008	1556.38	3	12%
13	2010	1505.53	4	17%
15	2012	1486.20	5	22%
2	1999	1442.67	6	26%
20	2017	1442.41	7	31%
8	2005	1440.97	8	36%
9	2006	1393.90	9	41%
10	2007	1393.08	10	45%
17	2014	1392.48	11	50%
16	2013	1357.85	12	55%
1	1998	1309.17	13	59%
18	2015	1277.87	14	64%
7	2004	1189.10	15	69%
6	2003	1182.95	16	74%
3	2000	1177.24	17	78%
21	2018	1174.13	18	83%
4	2001	1107.22	19	88%
19	2016	1089.15	20	92%
5	2002	1023.74	21	97%

Cuadro 12

Tabla de información para obtener la lluvia disponible el 75 % de las veces en Agua Blanca, Jutiapa.

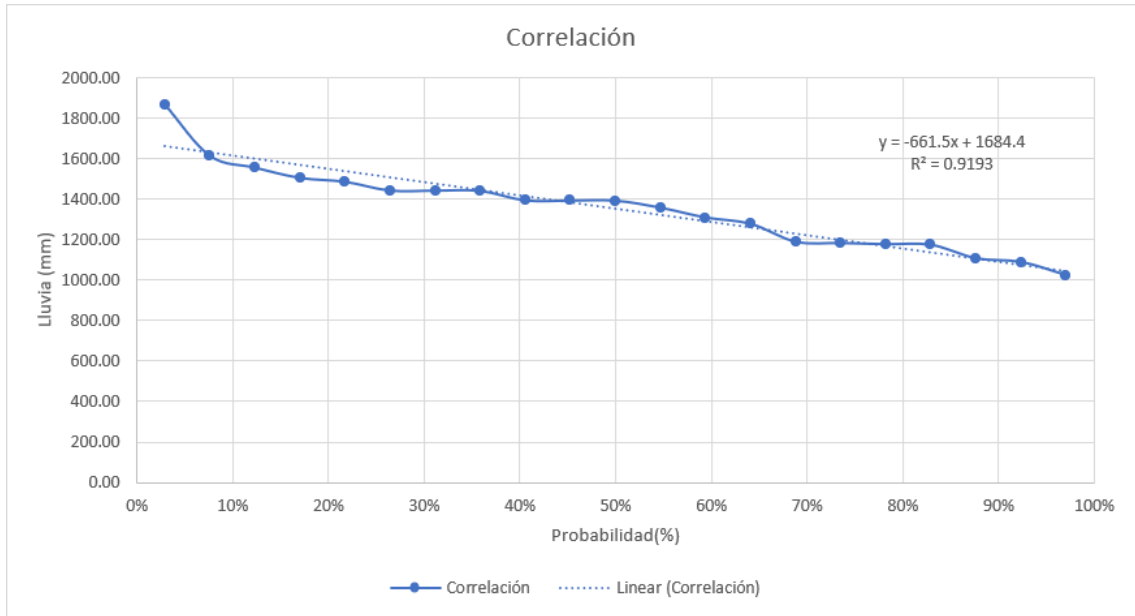


Figura 40. Gráfico de disponibilidad de Lluvia con datos de la misión TRMM

Para obtener la lluvia con la que se contará un 75 % de las veces, se aplica la correlación del gráfico.

$$P75 = -661.5(0.75) + 1684.4 = 1188.28mm \quad (8)$$

El resultado de aplicar esta ecuación es 1188.28 mm de lluvia con la que se puede contar el 75 % de las veces.

### 8. Datos de temperatura de la estación meteorológica de Asunción Mita.

Es importante para analizar impactos del cambio climático, como se ha comportado la temperatura a través de los años, en este caso en la estación meteorológica de Asunción Mita, en este caso se utilizó la misma base de datos del INSIVUMEH, solo que en este caso se procesaron los datos de la siguiente manera:

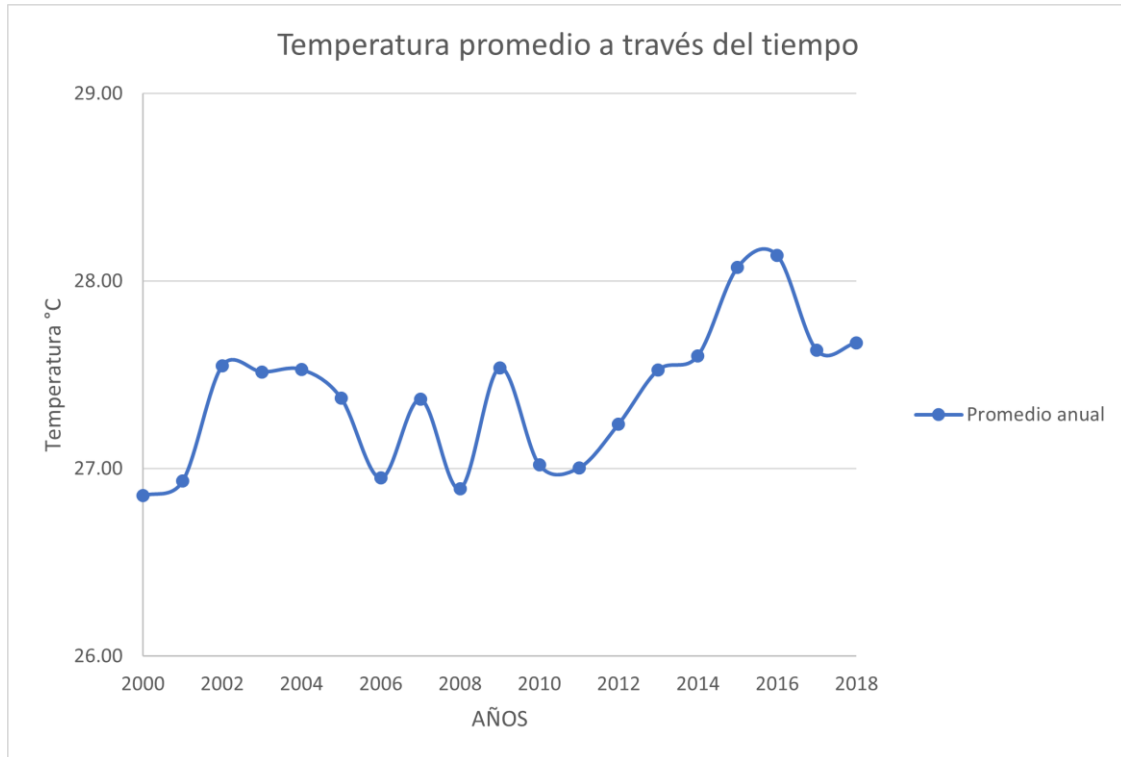
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Promedio mensual
Enero	27.03	0.00	25.43	24.45	26.62	24.97	25.81	25.61	26.03	27.06	26.25	26.19	25.55	26.47	26.19	26.89	25.99	25.94	26.23	26.54	25.15	25.97
Febrero	27.30	0.00	26.25	27.87	27.14	28.11	27.50	27.46	26.45	27.44	27.36	26.48	27.55	27.20	27.34	27.72	28.28	26.75	26.07	27.94	28.04	27.31
Marzo	28.15	0.00	28.64	27.75	28.40	28.73	28.76	28.51	28.12	28.15	27.85	27.31	28.51	27.27	28.01	27.38	29.20	28.33	29.32	28.08	29.03	28.28
Abril	29.85	29.48	29.38	29.46	29.27	28.91	28.23	30.28	29.17	29.22	29.07	29.66	29.67	29.10	28.47	29.83	29.62	29.83	30.49	30.21	28.93	29.40
Mayo	29.27	29.02	26.51	27.66	29.45	29.55	28.71	28.89	28.74	29.52	28.63	28.01	28.41	28.61	27.83	28.74	28.37	29.57	30.67	28.86	28.81	28.71
Junio	28.89	26.87	26.77	27.84	27.39	27.19	27.99	27.44	26.96	27.83	26.90	27.65	27.50	27.25	27.59	27.84	27.28	28.81	28.14	27.03	26.93	27.49
Julio	27.11	27.17	28.28	25.80	28.10	27.89	27.44	27.50	27.80	27.87	26.79	28.38	27.12	27.40	28.32	27.70	29.44	29.07	28.93	27.90	29.03	27.93
Agosto	27.33	20.95	27.33	27.30	28.54	28.31	28.76	27.64	28.19	27.21	26.75	28.14	26.79	27.19	27.19	27.55	28.30	29.47	28.01	27.85	28.36	27.83
Septiembre	0.81	24.54	25.30	26.16	26.26	27.41	27.05	26.98	27.36	26.60	26.46	28.09	26.55	26.50	27.22	26.32	26.66	27.29	27.24	27.51	27.24	26.84
Octubre	0.00	25.29	25.49	26.79	26.84	27.01	27.19	25.93	27.19	25.59	25.95	27.72	26.61	25.33	26.63	27.03	26.46	27.24	27.95	26.47	26.69	26.64
Noviembre	0.00	25.13	27.28	25.64	25.94	26.94	26.65	25.79	22.01	25.80	25.12	26.26	25.98	25.97	25.71	26.70	25.77	26.99	27.32	26.63	27.61	26.11
Diciembre	0.00	25.03	25.63	26.48	26.64	25.17	26.25	26.50	25.40	26.16	25.62	26.57	24.20	25.75	26.36	26.62	25.86	27.58	27.29	26.75	26.22	26.16
Promedio anual	18.80	19.46	26.86	26.93	27.55	27.52	27.53	27.38	26.95	27.37	26.89	27.54	27.02	27.00	27.24	27.53	27.60	28.07	28.14	27.63	27.67	

Cuadro 13

Temperatura desde el año 1998 al año 2000 en la estación meteorológica de Asunción Mita, Jutiapa. Los datos en amarillo significan datos faltantes.



Como se observa en el cuadro anterior, en los años 1998 y 1999 tenemos una cantidad significativa de datos faltantes, por lo tanto, no se tomarán en cuenta para los resultados del promedio de lluvia por año, así como para la lluvia mensual, solo se utilizarán los datos de 2000 a 2018.



*Figura 41.* Temperaturas medias anuales desde el año 2000 al año 2018 en la estación meteorológica de Asunción Mita

En la figura anterior se muestra el gráfico de la temperatura promedio en la estación mencionada desde el año 2000 al año 2018 en grados centígrados.

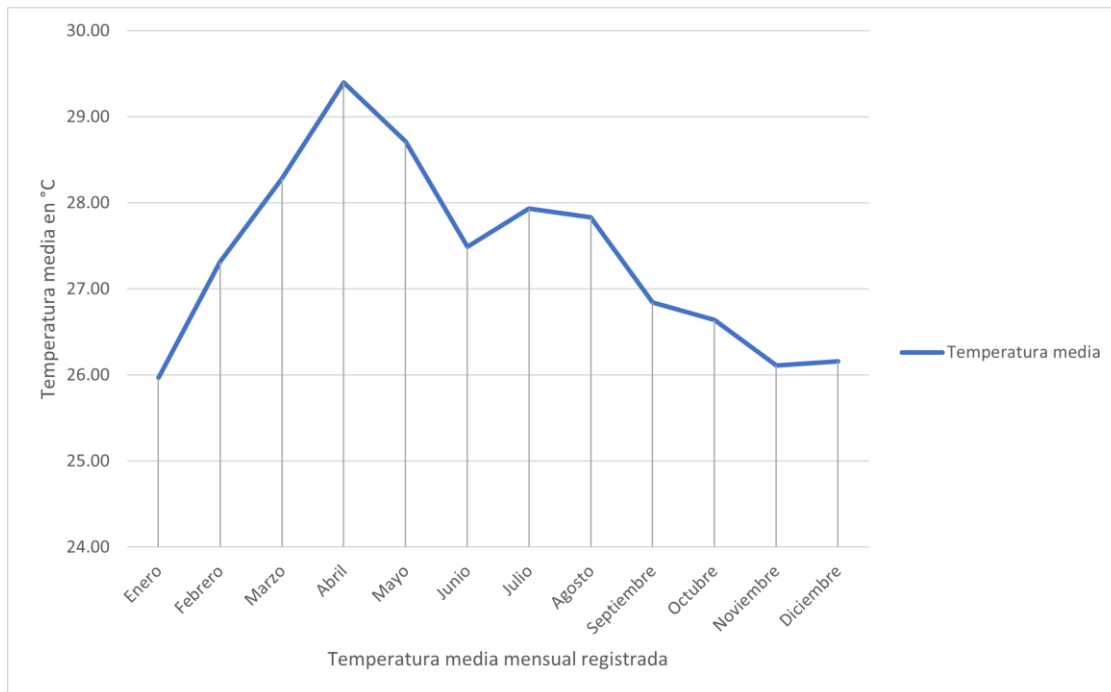


Figura 42. Temperaturas medias mensuales desde el año 2000 al año 2018 en la estación meteorológica de Asunción Mita

En la figura anterior se muestra con los datos proporcionados por el INSIVUMEH, la temperatura media en los diferentes meses del año, tomando un período desde el año 2000 a 2018.

### C. Caracterización de la cuenca Ostúa-Güija

Para realizar el trabajo es importante definir los parámetros de la cuenca en la que se encuentra Agua Blanca, que es la de Ostúa-Güija, una cuenca endorreica que desemboca en el lago de Güija.

#### 1. Ubicación en Guatemala de la cuenca.

A continuación, se muestra la ubicación de la cuenca en Guatemala, como se observa es una cuenca endorreica que desemboca hacia la laguna Güija y colinda con El Salvador.

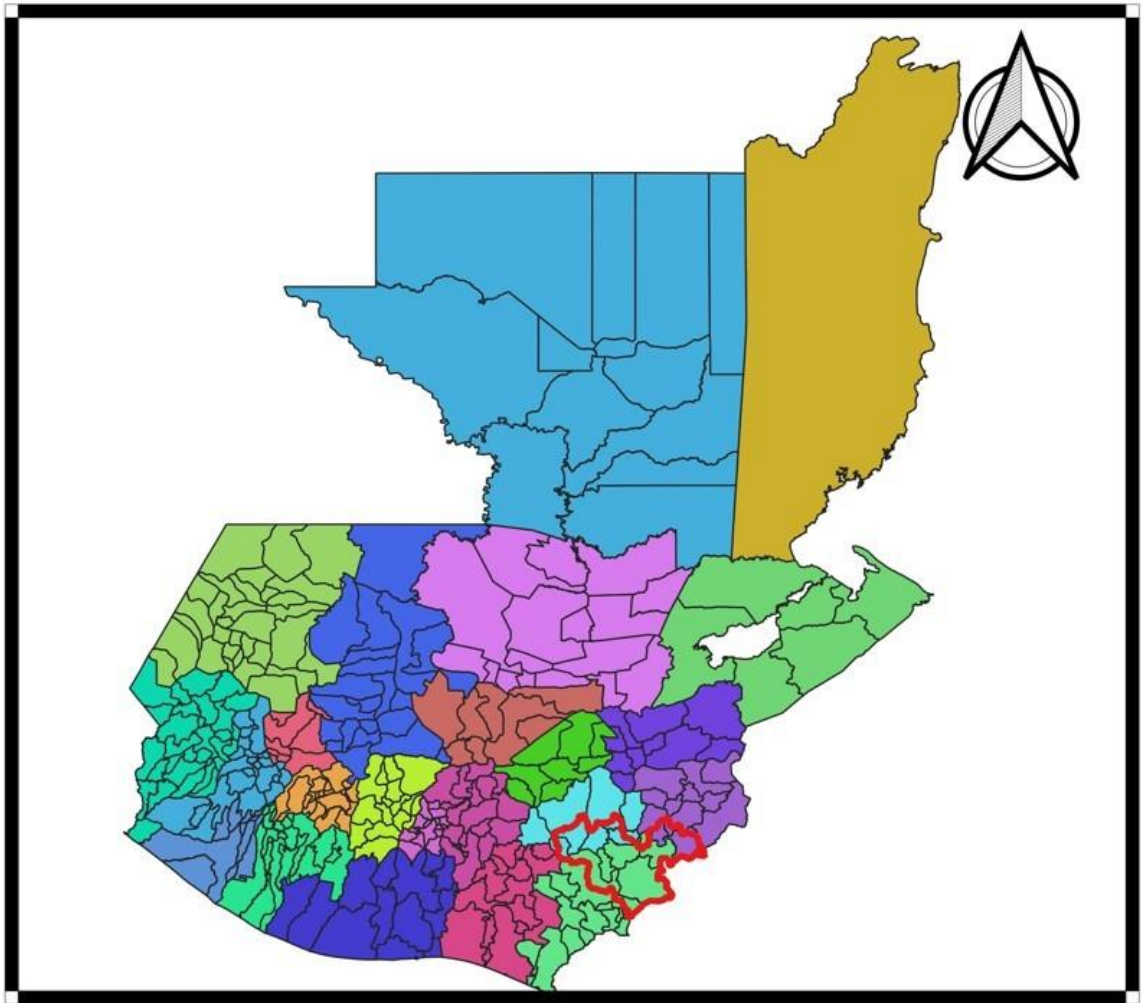


Figura 43. Localización de la cuenca Ostúa-Güija en Guatemala.

(Elaboración propia)

## 2. Parámetros morfométricos generales.

En el Cuadro 14 se observan los parámetros morfométricos de la cuenca que dan una idea sobre la forma y dimensiones de esta.

Parámetros morfométricos generales			
Perímetro	P	344.076	km
Área	A	2191.14	km <sup>2</sup>
Longitud máxima	LM	82.197	km
Longitud cauce principal	LCP	61.478	km
Ancho de la cuenca	AC	26.657	km
Desnivel altitudinal	DA	2103	m

Cuadro 14

*Parámetros morfométricos de la cuenca*

### 3. Parámetros de forma de la cuenca.

En el cuadro de parámetros de forma encontramos parámetros como el coeficiente de compacidad, coeficiente de circularidad y la relación de elongación de la cuenca.

Parámetros morfométricos asociados a la forma de la cuenca			
Factor de forma de Horton $K_f = A/L^2$	FF	0.32431	Ligeramente alargada
Coeficiente de compacidad	Kc	2.0581	Oval - Oblonga a rectangular - oblonga
Coeficiente de circularidad	CC	0.23258	Moderadamente alargada
Relación de elongación	Re	0.64237	

Cuadro 15  
*Parámetros de forma de la cuenca*

### 4. Parámetros morfométricos asociados a la red de drenajes de la cuenca.

En el Cuadro 16 se presentan diferentes parámetros para identificar como drena la cuenca

Parámetros morfométricos asociados a la red de drenajes			
Orden de la cuenca	Oc	4	
Longitud total drenajes	Lt	207.7	
Densidad de drenaje	Dd	0.094791	Cuenca mal drenada, menor a 0.5
Frecuencia de drenajes	F	0.028296	
# Drenajes orden 1		51	
Coeficiente de torrencialidad	Ct	0.023276	
Pendiente del cauce (m/m)	Sc	0.025765	
Tiempo de concentración	Tc	5.323502	California Cuviver Practice (1942)
Tiempo de concentración 2	Tc	16.29559	Kirpich
Pendiente del cauce (%)	Sc	2.576531	

Cuadro 16  
*Parámetros morfométricos asociados a la red de drenajes de la cuenca*

### 5. Parámetros de relieve de la cuenca.

El relieve de la cuenca sirve para identificar que tan accidentada es y cuáles son susalturas máximas y mínimas, así como su pendiente.

Parámetros relieve		
Cota máx	cmax	2525
Cota mín	cmin	422
Cota media	Am	1006
Altitud más frecuente	Af	982.2
Altitud mayor del cauce	Amc	2026
Altitud menor del cauce	Amec	442
Pendiente promedio de la cuenca	Smed	3.42%
Longitud media de corrientes	LMC	9.17

Cuadro 17  
Parámetros del relieve de la cuenca

## 6. Curva hipsométrica e histograma de altitudes de la cuenca.

Estos gráficos sirven para identificar que tan joven o antigua es una cuenca, así como la altura media de la misma.

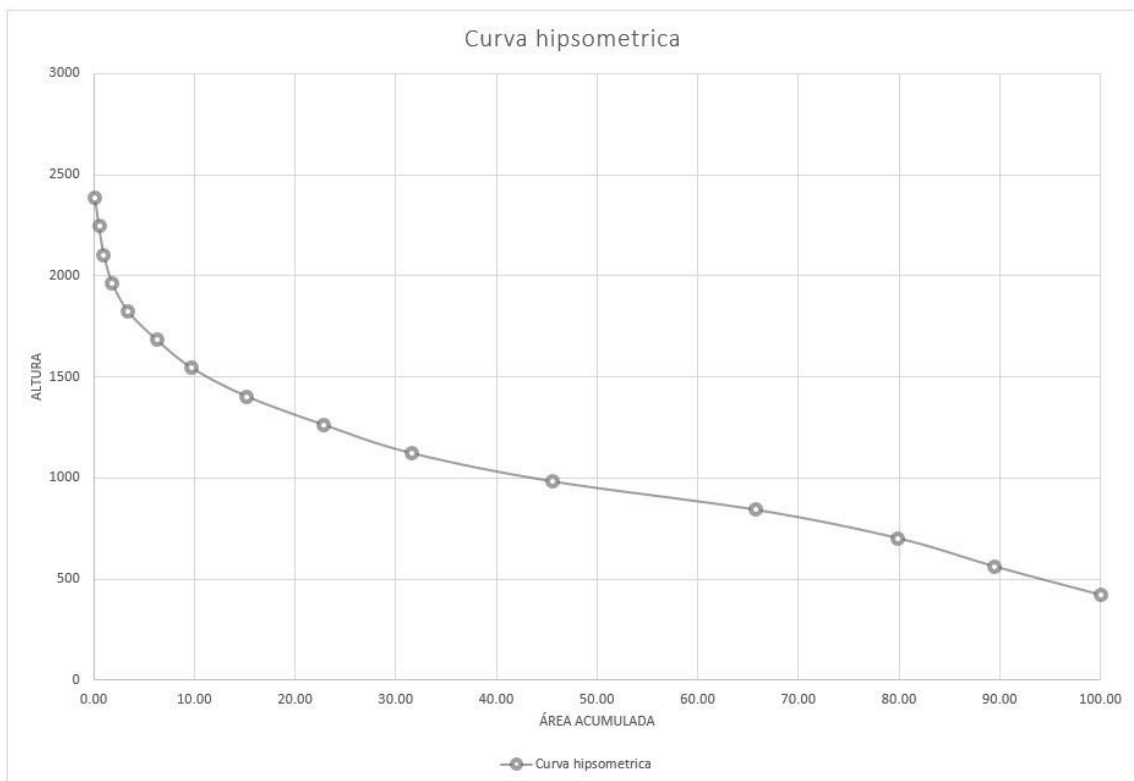


Figura 44. Curva hipsométrica de la cuenca

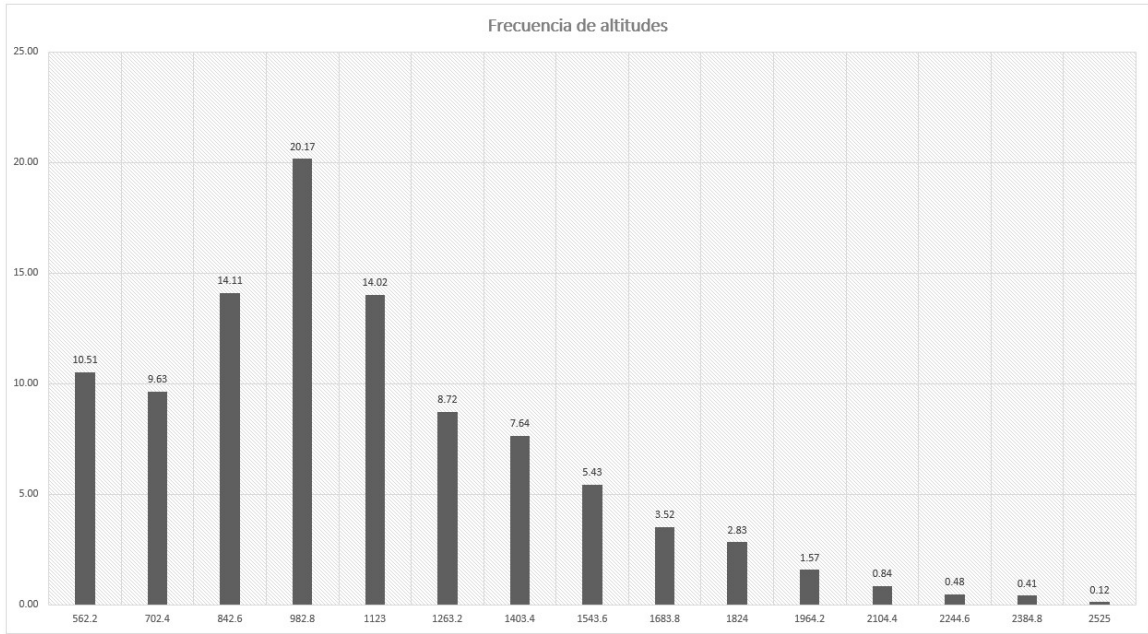


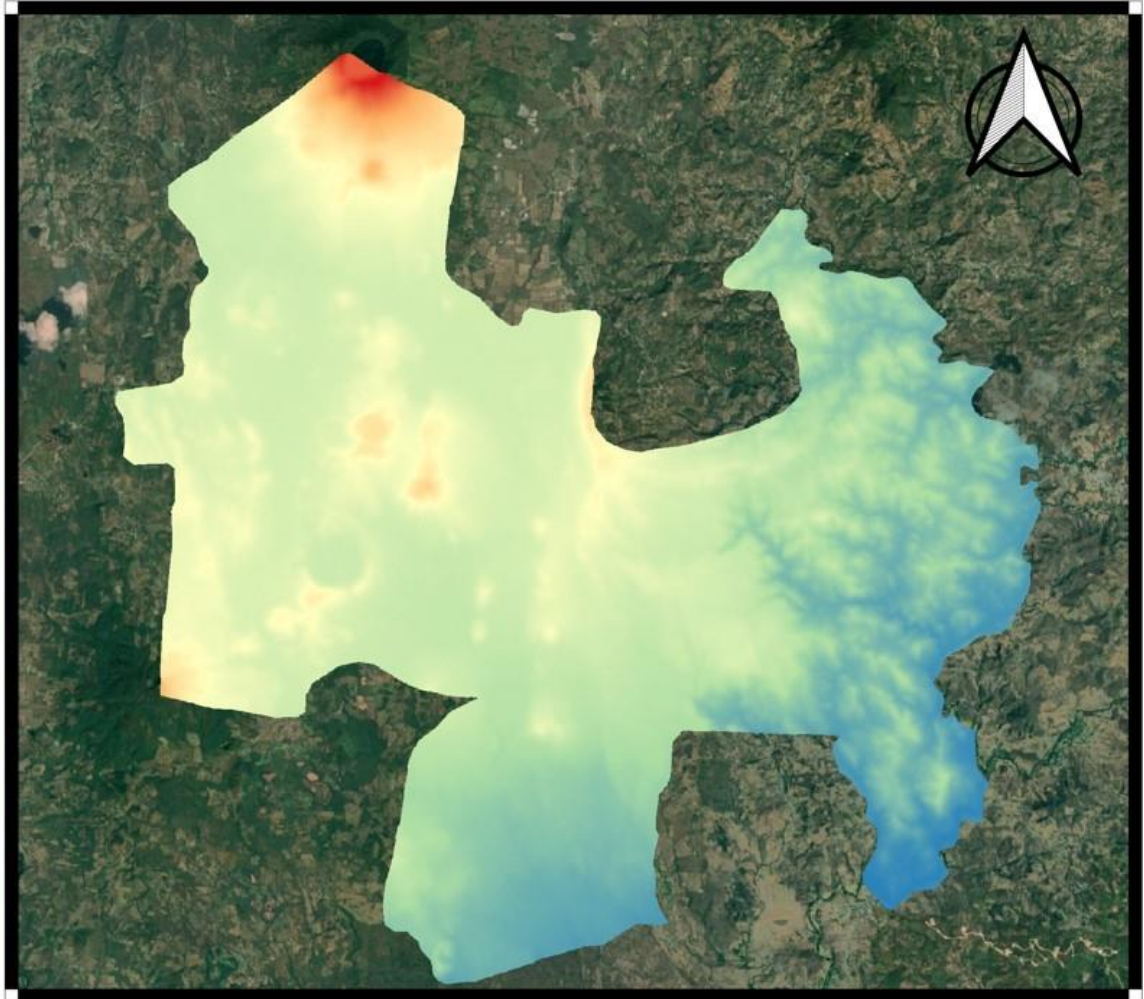
Figura 45. Histograma de altitudes de la cuenca

#### D. Caracterización de Agua Blanca

Es muy importante conocer las características físicas y topográficas del municipio para definir que tipo de captación de debe de utilizar y dónde se debe de utilizar.

##### 1. Modelo de elevación digital.

El modelo de elevación digital de Agua Blanca, fue obtenido por Ortofoto realizadas por el satélite ALOS PALSAR de la NASA, con una resolución de 12.5m



*Figura 46.* Modelos de elevación digital de Agua Blanca, imagen tomada por el satélite ALOS PALSAR de la NASA.  
(Elaboración propia)

## **2. Curvas de nivel Agua Blanca.**

Se presentan las Curva de nivel del municipio de Agua Blanca, para tener una idea de como se comporta el municipio topográficamente. Como se observa, las alturas van desde los 1600 metros sobre el nivel del mar en el volcán de Ipala, hasta los 500 metros a suroeste del municipio

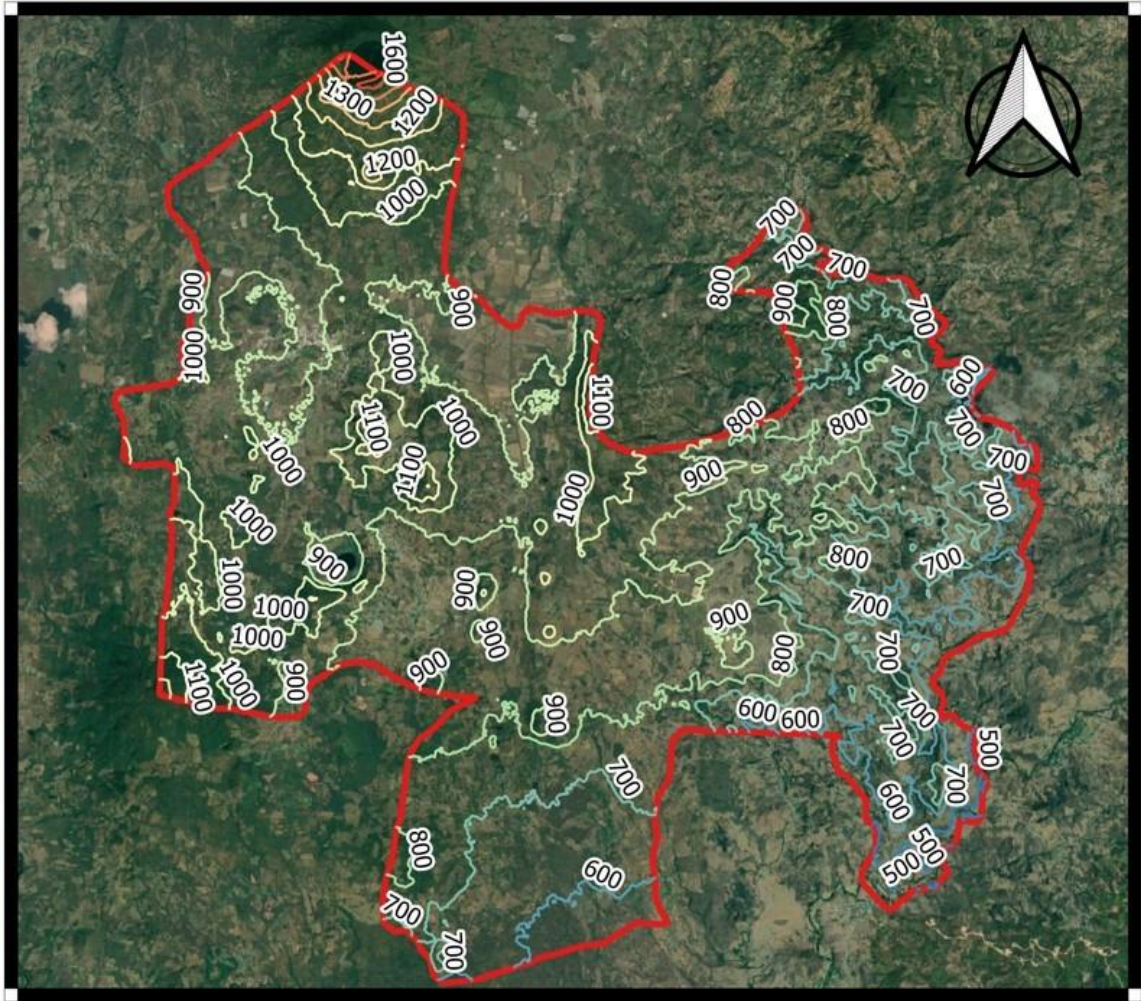


Figura 47. Curvas de nivel de Agua Blanca.

(Elaboración propia)

### 3. Técnicas artesanales de captación de lluvia en el municipio.

En el municipio por la escasez de agua en el periodo seco y los inviernos irregulares, pobladores han realizado lagunas artificiales pequeñas y embalses artesanales, su uso mayormente es para riego y ganado.

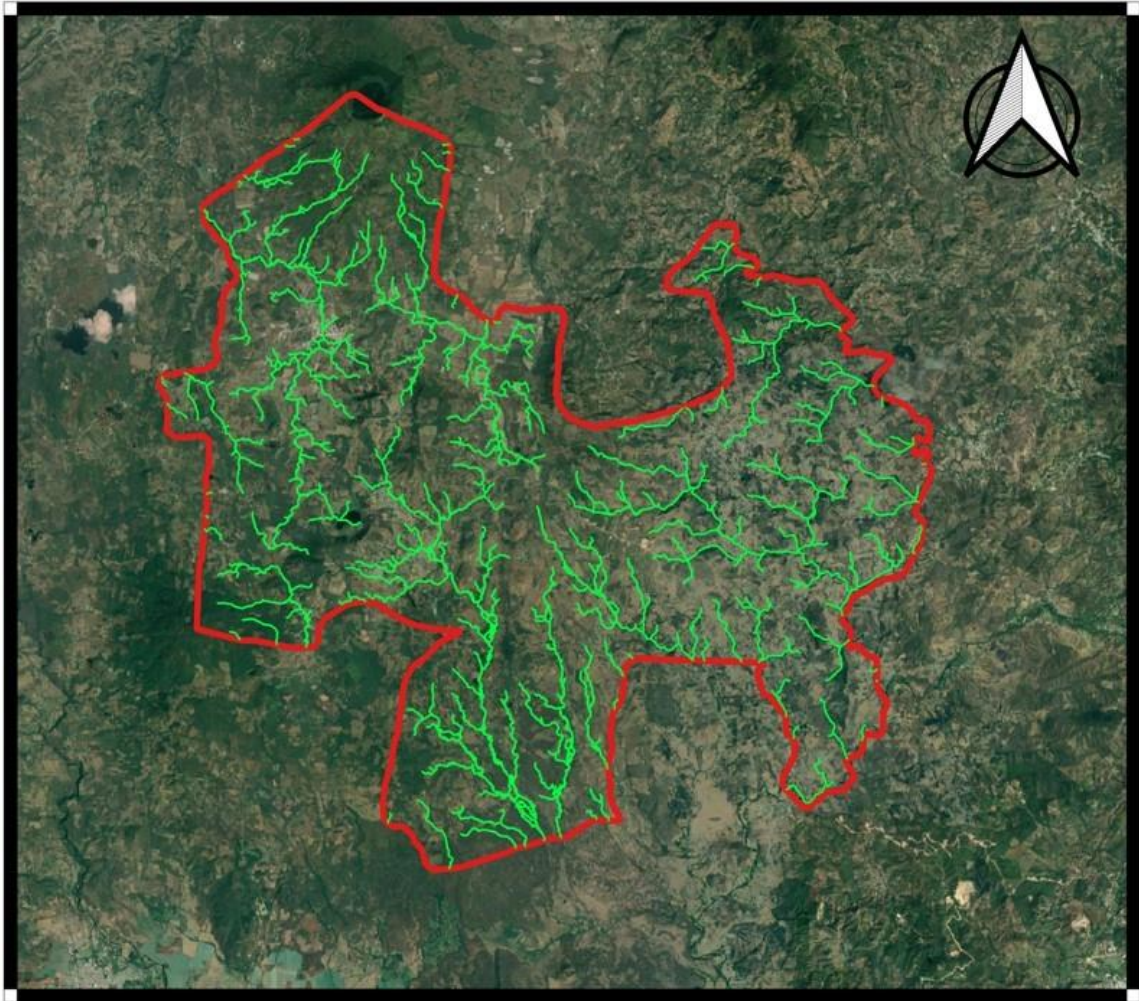




*Figura 48.* Ejemplo de laguna artesanal para captar el agua de lluvia

#### **4. Redes de drenaje del municipio.**

El municipio no cuenta con ningún río perenne en su territorio, lo cual es un problema para la disponibilidad del agua. Con QGIS se pueden identificar redes de drenaje donde se forman quebradas y riachuelos efímeros de los cuales se pueden generar el tipo de captación de agua de esorrentía que se escoja.



*Figura 49. Redes de drenaje de quebradas y riachuelos en Agua Blanca.*

(Elaboración propia)

## **5. Economía del municipio.**

Para la selección de un sistema de captación además de conocer las características de lalluvia y el terreno, es importante conocer sobre la economía del lugar de estudio, saber a que se dedican los pobladores del lugar para generar ingresos.

El sector productivo del municipio de Agua Blanca se encuentra integrado por las actividades agrícola, pecuaria, artesanal, remesas, comercio y servicios. En este caso se analizará la producción del sector agrícola y pecuario por la importancia en el tema de investigación.

### **a. Sector agrícola.**

Los principales cultivos del municipio son el maíz, frijol, tomate y maicillo, pero la producción se centra en los granos básicos, especialmente maíz y frijol, que son destinados para el auto-consumo y venta de los mismos. El excedente se comercializa en el mercados

regionales, nacionales e internacionales. Se han implementado paulatinamente la utilización de tecnología avanzada y asesoría técnica en proyectos ubicados en lugares aledaños a la cabera del municipio, lo que ha permitido una mejor productividad. (García *et al.*, 2004)

b. Sector agrícola.

La actividad principal de este sector es la crianza y el engorde de ganado bovino, este se alimenta con pasto natural en caminos, veredas y pastos cultivados. En la época seca se alimenta con otros complementos alimenticios. (García *et al.*, 2004)

Para el año 2002 el sector de servicios representaba un 61 % de la economía, seguido por el sector agrícola con un 18 %, artesanal con un 11 % y por último el pecuario con un 10 %. (García *et al.*, 2004)

Según los datos expuestos, se observa que los sectores agrícola y pecuario son importantes para la economía y desarrollo del municipio, ya que de estos dependen decenas de habitantes de este. Estos sectores dependen fuertemente de la cantidad de agua disponible, que varía a lo largo del año, como se ha expuesto en el documento, de los meses de noviembre a abril la cantidad de agua precipitada se reduce significativamente por la época seca, luego dentro de la época lluviosa se observa que en los meses de julio y agosto las precipitaciones tienen tendencia a disminuir, lo que nos indica presencia de canícula o Veranillo. Por esto es importante generar soluciones, en este caso captación del agua en los meses que tenemos mayor presencia de lluvia.

#### **E. Elección del sistema de captación**

Con los datos e información expuesta se procede a elegir un sistema de captación que se adecue a las necesidades del municipio.

Dentro de los posibles sistemas previamente expuestos nos encontramos con:

- Macrocaptación en bordos trapezoidales y rectangulares
- Bordos permeables de piedra en contorno
- Captación de cuenca y embalse superficial

El sistema que más encaja con las necesidades y características hidrográficas y físicas del municipio, por la utilidad que se le puede dar, ya sea como abrevadero para el ganado bovino o reservorio para el riego de diferentes cultivos es sistema de captación de cuenca y embalse superficial. Además, se pueden generar diversas adaptaciones dependiendo del uso que se le quiera dar. Otro motivo por el que se escoge este sistema de captaciones por qué ya se tienen experiencias como sistemas de captación artesanales muy similares

al escogido, por lo que se cuentan con experiencias que son sustento para el sistema de captación escogido.

Con todos los datos obtenidos por diferentes fuentes como el INSIVUMEH, NASA, FAO, además de diferentes investigaciones realizadas, se puede realizar una propuesta de diseño de un sistema de captación en el municipio.

## F. Diseño del sistema de captación

El primer paso, es calcular el volumen del embalse utilizando la ecuación 3, suponiendo un área de siembra de 15,000 metros cuadrados, los valores de déficit de agua y pérdidas de embalse se tomaron del ejemplo realizado en FAO, 2000 para riego de salvación, en condiciones climáticas similares en Brasil:

### Calcular el volumen de embalse

- Déficit de agua (m)

$$Da := 0.1 \text{ m}$$

- Área de siembra (m<sup>2</sup>)

$$As := 15000 \text{ m}^2$$

- Pérdidas en embalse (decimal)

$$Pe := 0.5$$

- Volumen de embalse (m<sup>3</sup>)

$$V_{emb} := \frac{Da \cdot As}{Pe} = 3000 \text{ m}^3$$

Como segundo paso, se calcula el área de captación, utilizando la ecuación 5, los valores de escorrentía se toman del ejemplo práctico y se utiliza el cuadro presentado a continuación:

<b>Factores</b>	<b>Características del terreno que afectan C</b>	<b>C</b>
Relieve	Plano; con pendiente media de 0 a 5%	0,10
	Ondulado; con pendiente media de 5 a 30%	
Infiltración	Elevada; textura de suelo franco-arenoso, suelos permeables	0,05
	Normal; textura de suelo media	0,10
	Infiltración Lenta; textura de suelo arcilloso, suelos con capacidad de infiltración baja	0,15
		0,20
Cubierta vegetal	Excelente; aproximadamente 90% del área cubierta con pastos y arbustos u otra cobertura semejante	0,05
	0.05	0,10
	Cubierta Buena; con 50% de área cubierta de pastos o cultivos	0,15
	Vegetal alimenticios no limpios	0,20

Cuadro 18

Valores del coeficiente de escorrentía superficial (C).

(FAO, 2000)

### Calcular área de captación

- Volumen de embalse (m<sup>3</sup>)

$$V_{emb} = 3000 \text{ m}^3$$

- Coeficiente de escorrentía (Decimal)

$$C := 0.2$$

- Precipitación media anual que ocurre el 75% de las veces (m)

$$P := 1.88 \text{ m}$$

- Área de captación (m<sup>2</sup>)

$$Ac := \frac{V_{emb}}{C \cdot P} = 7978.723 \text{ m}^2$$

$$Ac := \frac{V_{emb}}{C \cdot P} = 0.798 \text{ hectare}$$

Como tercer paso, se calcula la lámina media de agua, utilizando la ecuación 4:

#### Calcular lámina media de agua

- Altura de dique (m)

$$Ad := 3 \text{ m}$$

- Altura de vertedero

$$Av := 0.5 \text{ m}$$

- Altura de excavación (m)

$$Ae := 1.5 \text{ m}$$

- Lámina media de agua (m)

$$Lm := \frac{(Ad - Av) + Ae}{2} = 2 \text{ m}$$

Como último paso, se calcula la lámina media de agua, utilizando la ecuación 6:

#### Calcular área y radio del semicírculo del reservorio

- Volumen de embalse (m<sup>3</sup>)

$$V_{emb} = 3000 \text{ m}^3$$

- Lámina media de agua (m)

$$Lm = 2 \text{ m}$$

- Área semicírculo del reservorio (m<sup>2</sup>)

$$A_{semicirculo} := \frac{V_{emb}}{Lm} = 1500 \text{ m}^2$$

- Radio del semicírculo del reservorio (m)

$$R := \sqrt{\frac{A_{semicirculo} \cdot 2}{\pi}} = 30.902 \text{ m}$$

## G. Análisis y discusión de los resultados obtenidos

Se investigaron diferentes sistemas de captación de los cuales se analizaron sus ventajas y desventajas, se realizó un análisis de las precipitaciones en el municipio de Agua Blanca, un estudio de la cuenca Ostúa-Güija para determinar sus parámetros morfométricos, además se realizó un estudio del relieve de Agua Blanca para determinar redes de drenaje y dónde es posible generar sistema de captación de agua de lluvia por medio de embalses.

La lluvia que se da en el municipio es importante para determinar el sistema de captación a utilizar, el INSIVUMEH cuenta con estaciones que registran la lluvia diariamente, para este proyecto se seleccionaron tres que eran las más cercanas al municipio, para determinar el área de influencia con polígonos de Thiessen como se muestra en la Figura 35. Por tener la mayor área de influencia se seleccionó la estación ubicada Asunción Mita, sobre las otras dos. Si tomamos la información de lluvia total en los años 2014 y 2015 para las tres estaciones y realizar una comparativa se obtienen los siguientes datos:

<b>Estación</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>
<b>La ceibita, Monjas, Jalapa</b>	795.7 mm	607.7 mm
<b>Asunción Mita, Jutiapa</b>	1254.00 mm	1207.00 mm
<b>Esquipulas, Chiquimula</b>	1665.7 mm	1328.6 mm

Cuadro 19

*Lluvia total en milímetros en las estaciones cercanas a Agua Blanca, Jutiapa en los años 2014 y 2015*

Como se observa en el Cuadro 19, las lluvias anuales totales son menores en la estación de La Ceibita, seguida por la estación de Asunción Mita que son mayores al igual que la estación de Esquipulas que es la que cuenta con mayor cantidad lluvia en un año.

En las Figuras 32, 33 y 34, se observa que los meses que más lluvia presenta son el mes de junio y el mes de septiembre en todas las estaciones, además se observa una reducción notable en los meses de julio y agosto, que por lo general son los meses donde se presenta la canícula o veranillo, que son meses en los que las precipitaciones pueden ser escasas y los embalses para riego pueden ser útiles con la lluvia que se haya captado en los meses anteriores, especialmente en junio que es de los meses que más precipitaciones presenta. La época de lluvia se ve marcada, inicia en el mes de mayo y finaliza a finales de octubre y principios de noviembre, en los otros meses de época seca se pueden presentar precipitaciones pero estas son aisladas, en estos meses es donde mayor provecho pueden tener los embalses de riego para diferentes cultivos que se den en estas épocas o que sirva como abrevaderos para ganado.

Como se observa en la siguiente Figura y con los datos mostrados en el Cuadro 10 el año en el que más milímetros de lluvia hubo fue en el año 2011 con 2014 mm de lluvia y el año que menos precipitaciones hubo fue el año 1998. En el gráfico también se observa quedese el año 2013 a 2016 las lluvias fueron disminuyendo, empezando con 1641 mm en 2013, 1254 mm en 2014, 1207 mm en 2015 y 1038.30 mm. Además, como se menciona en *Acción contra el hambre, 2009*, en el año 2009 hubo una sequía que generó pérdidas en diferentes cultivos de granos básicos en el municipio de San Pedro Jocopilas, parte del corredor seco ubicado en el departamento del Quiché, en esta año, podemos ver que la precipitación en la estación de Asunción Mita fue de 1357.20mm.

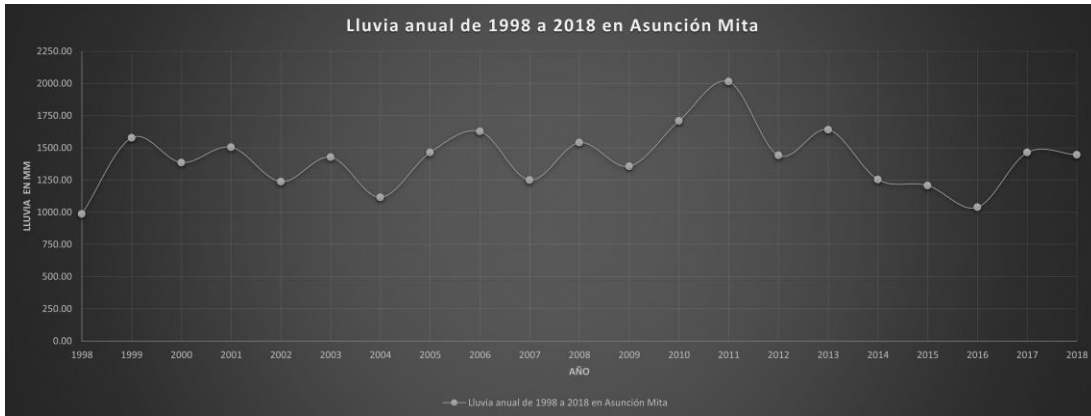


Figura 50. Lluvia anual en milímetros en la estación de Asunción Mita desde 1998 a 2018

Del gráfico en la Figura 50 no se puede observar un patrón claro que nos permita identificar si el siguiente año habrá sequía o no, por esto es importante estar siempre preparados, ya que el invierno puede ser muy lluvioso o puede haber sequías que afecten los cultivos.

Además de contar con la información de las estaciones del INSIVUMEH, se obtuvieron datos de lluvia de 1998 a 2018 de NASA Giovanni para el área del municipio de Agua Blanca, como se muestra en la Figura 37, esto con el fin de tener más datos de lluvia para tener un punto de comparación, además de demostrar la aplicación de información satelital a proyectos hidrológicos. Como se observa en la Figura 39 se mantiene el patrón observado en los datos de las estaciones del INSIVUMEH, que en los meses de junio y julio es cuando se presenta la mayor cantidad de milímetros de lluvia, mientras que en los meses de agosto y septiembre se observa una disminución de las lluvias, especialmente en agosto que es cuando generalmente se presenta la canícula.

Comparando datos con los obtenidos con la estación de Asunción Mita, en esta estación la lluvia P75 obtenida fue de 1163.3525 mm, mientras que con los datos de NASA Giovanni se obtuvo un P75 de 1188.28 mm, lo que da una variación de 24.9278 mm entre datos, lo cual, considerando que los datos satelitales datan desde 1998 donde la precisión en la medición no era tan alta, la diferencia entre ambos es relativamente corta considerando lo anterior, siendo mayor la lluvia obtenida en los datos de NASA Giovanni. Con esta comparación se puede decir que el uso de NASA Giovanni es válido para la estimación de lluvia mensual y anual en un área específica, especialmente en aquellas áreas que no tengan estaciones meteorológicas cercanas y no se puedan aplicar métodos como el de polígonos de Thiessen para la estimación de lluvia anual o mensual. Para el diseño del sistema de captación se utilizaron los datos de la estación en Asunción Mita y los datos de NASA Giovanni ya que la lluvia era menor, por lo tanto, brinda cierto factor de seguridad, igualmente por este motivo se utilizó la lluvia P75, para ser más conservadores y tener más seguridad de la lluvia con la que se puede contar.

Con lo que respecta a la temperatura en la estación meteorológica de estudio, en la Figura 41 se observa una tendencia al aumento de la temperatura media en la estación mencionada, esta tendencia se marca desde el año 2010 al 2016, donde la temperatura media varía de 27.02°C a 28.14 °C, esta tendencia se ve a la baja en los años 2017 y 2018, lo que demuestra que el cambio climático ha afectado de peor manera en los recientes años esta región. En la



Figura 42 se puede observar que el mes más caluroso en la estación mencionada es el mes de abril, con una temperatura media de 29.4 °C y el mes menos caluroso es enero con una temperatura media de 25.98 °C.

Para complementar la información era necesario un estudio morfométrico de la cuenca en la que se encuentra el municipio de Agua Blanca, que es la cuenca Ostúa-Güija, una cuenca endorreica que desemboca en el lago de Güija en el departamento de Jutiapa, en la frontera con El Salvador. Como se resultados se obtuvo que la cuenca es ligeramente alargada, por lo que no es propensa a crecidas repentinas; el coeficiente de compacidad de la cuenca es de 2.05, lo que indica que la cuenca es oval y según su coeficiente de circularidad es moderadamente alargada. El orden de la cuenca es de 4, con una longitud total de drenajes de 207.7km, la cuenca cuenta con 51 drenajes de orden 1, con un tiempo de concentración de 16.29 minutos por el método de Kirpich. La altura máxima de la cuenca es de 2525 msnm y la cota mínima es de 422 msnm que se encuentra en el lago de Güija, la pendiente media de la cuenca es de 3.42 %. Según la curva hipsométrica de la cuenca, en la Figura 44, la cuenca se encuentra en un estado de madurez, pero no es una cuenca vieja.

Analizando la topografía del municipio de Agua Blanca por medio de imágenes satelitales de la misión ALOS PALSAR de la NASA se observa que el punto más alto del municipio se encuentra en el cráter del volcán de Ipala, a 1600 msnm y la cota más baja del municipio es a 500 msnm en el sureste del mismo, en la parte central y oeste del municipio se puede observar que este mantiene una tendencia entre los 1000 msnm y 900 msnm con algunas montañas aisladas.

Actualmente y en tiempo atrás se han utilizado embalses de agua artesanales en el municipios, como los que se observan en las Figuras 48, 55, 52 y 53, estas se encuentran ubicadas en la aldea La Cima y fueron construidas para proveer de agua en caso de que esta escaseara, principalmente para ganado y riego de cultivos, pero también en el pasado se utilizó para uso doméstico.

En la Figura 49, podemos observar redes de drenaje en el municipio, todas de estas entran en la categoría de efímeras, las cuales son útiles para la generación de los embalses de riego propuestos anteriormente, pero la información presentada puede llegar a no ser suficiente, se recomienda realizar levantamientos topográfico o levantamientos con drones los cuales son más precisos y generan mejores modelos de información digital del terreno.

Saber en qué se basa la economía del municipio es importante para determinar si es necesario un sistema de captación de agua de lluvia, ya que aunque un municipio este localizado en el corredor seco puede no requerir sistemas de captación de agua de lluvia si la economía de este no se basa en la agricultura o ganadería, en el caso de Agua Blanca es indispensable contar con agua en todas las épocas del año ya que no solo la economía depende de esto sino también la seguridad alimentaria de muchas familias del municipio que cultivan su propia comida.

La elección del sistema de captación se basó en los parámetros posteriormente dados, teniendo como selección final la captación de cuenca y embalse superficial, se escogió este sobre los otros propuestos ya que en el caso del sistema de captación por medio de bordos trapezoidales y rectangulares los casos de aplicación eran con lluvias de entre 250 y 500 mm al año y en Agua Blanca las lluvias son mayores, además que las dimensiones de los

bordos y movimiento de tierra pone limitaciones a los pequeños agricultores. Tampoco se escogió la técnica de permeables de piedra en contorno ya que esta técnica no se adapta al área de cultivo, además de que la construcción de los mismo requiere más dedicación y si no se realiza correctamente los rendimientos se verán reducidos drásticamente.

Para el diseño de este sistema de captación como se describe en la Sección F de este capítulo, se propuso un área de siembra de  $15,000 \text{ m}^2$ , basado en el ejemplo práctico realizado en FAO, 2000 en la página 102 y en un área de siembra con condiciones similares encontrada en el municipio como se muestra en la siguiente figura:

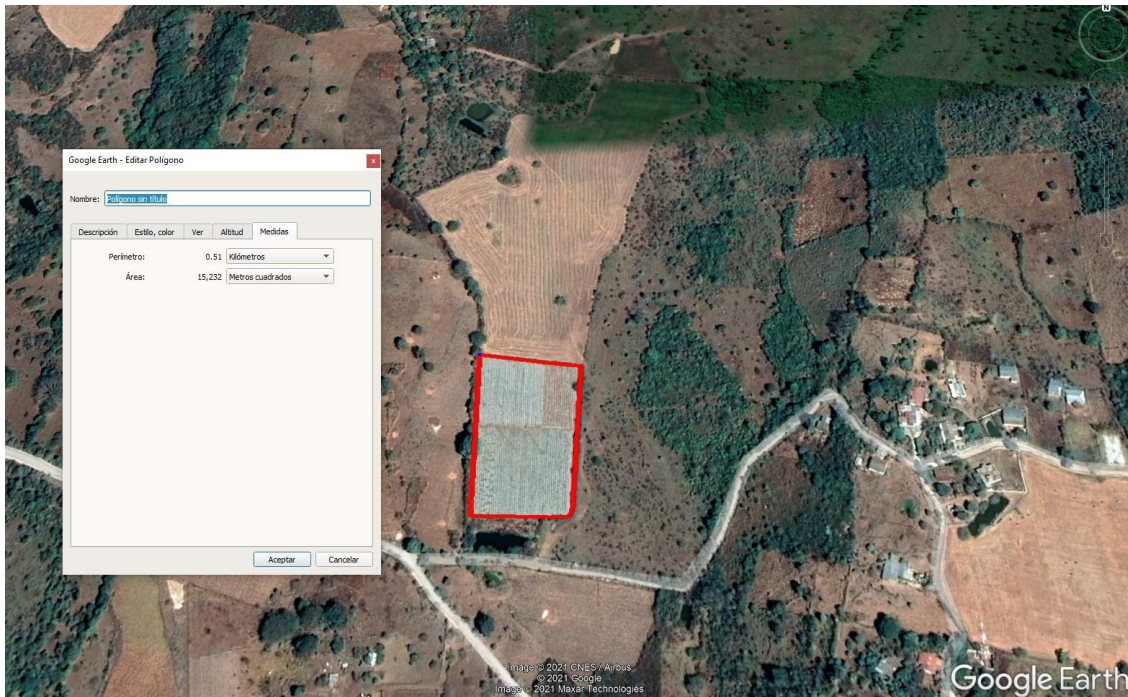


Figura 51. Área de siembra en Agua Blanca, Jutiapa.

(Google Earth, 2021)

Además, los datos de déficit de agua y pérdidas de embalse se tomaron del ejemplo práctico mencionado debido a que se requieren estudios de suelos para saber infiltraciones y pérdidas de embalse además de tener en cuenta la cantidad de personas y animales en la comunidad para saber el déficit de agua en el lugar, además los datos fueron tomados de este ejemplo debido a la similitud de condiciones de ambos lugares. El dato de coeficiente de escorrentía igualmente se tomó del ejemplo práctico, además de basarse en el Cuadro 18. Los valores propuestos de la altura de dique, altura de vertedero y altura de excavación fueron propuestos basándose el ejemplo práctico, pero estos pueden adaptarse según las necesidades de la situación y las condiciones específicas del terreno. Como resultados finales se tiene que el volumen del embalse es de  $3000 \text{ m}^3$ , una lámina media de agua de  $2 \text{ m}$ , el área del semicírculo del reservorio sería de  $1500 \text{ m}^2$  y el radio del semicírculo del reservorio sería de  $30.902 \text{ m}$ .

## VIII. CONCLUSIONES

Con los diferentes sistemas de captación de agua de lluvia utilizados en otros países, se observa que estos han sido útiles para contrarrestar los efectos que la sequía puede causar y con esto mejorar la seguridad alimentaria de determinada región, además en el trabajo se expone la problemáticas que se dan el corredor seco y las consecuencias que estas traen a la población de esta región, que no solo afecta a Guatemala, sino que es un problema que afecta a gran parte de la región centroamericana y este problema se agrava con los problemas que trae el cambio climático. Con este trabajo de investigación se demuestra la importancia que puede tener un ingeniero civil en temas relacionados con el medio ambiente y el cambio climático, además de aplicar sistemas de información geográficos para generar soluciones prácticas a diversos problemas. Conforme a los objetivos planteados en este trabajo de graduación se puede concluir lo siguiente:

- 1) Se investigaron sistemas de captación utilizados en otros países que se pudieran aplicar en Guatemala teniendo como resultado la elección del sistema de captación de cuenca y embalse superficial utilizado en el nordeste de Brasil, una región con características semi-áridas, similares a las del corredor seco de Guatemala, además de la experiencias previas en el municipio, características del terreno y necesidades del lugar, motivos por los cuales se escogió este sistema de captación de agua de lluvia.
- 2) Con la ayuda de sistemas de información geográficos se logró obtener un modelo de elevación digital del municipio y a partir de este se pudo generar curvas de nivel, útiles para saber las pendientes del municipio y obtener las redes de drenaje que son útiles para aplicar el sistema de captación de cuenca y embalse superficial, además de utilizar imágenes satelitales para determinar áreas de siembra y realizar el cálculo de un embalse.
- 3) Se analizaron las ventajas y desventajas de diferentes sistemas de captación que se pueden aplicar en el municipio, de las opciones investigadas que se podrían aplicar en el municipio, se escogió el sistema de captación de cuenca y embalse superficial debido a que esta se adapta de mejor manera a las necesidades, características y experiencias en el área de estudio, además de ser ideales para las condiciones de lluvia en el lugar. Se escogió la opción mencionada sobre los bordos permeables de piedra de contorno porque este tipo de captación depende de la materia prima del lugar y no se adapta a las condiciones del área de siembra y sobre la macrocaptación en bordos trapezoidales y rectangulares debido a que estos son aplicados en regiones con menores cantidades de lluvia y limita el área de cultivo.

## IX. RECOMENDACIONES

El tema expuesto en el presente trabajo es de suma importancia para combatir las problemáticas que ocurren en el corredor seco de Guatemala y Centroamérica, por lo tanto es importante la colaboración de diferentes disciplinas y la continuación de la investigación realizada, ampliándola a temas, sociales, económicos y agropecuarios, para buscar soluciones prácticas y aplicables que se adapten mejor a las necesidades de la región, para mejorar la calidad de vida de sus habitantes, por lo tanto se presentan las siguientes recomendaciones:

- 1) Se recomienda para futura continuación de la investigación presentada, consultar e investigar más sobre área de agricultura para tener datos sobre cuánta agua consumen los diferentes tipos de siembras, o si existen alternativas a las siembras que se producen en el lugar que sean más eficientes en relación a su consumo de agua, también se recomienda la investigación sobre los consumos de agua que genera el ganado bovino. Además de buscar soluciones a la problemática del agua en el corredor seco, es importante aprender y generar conciencia sobre el uso adecuada de este recurso para esto se recomienda investigar sobre métodos para minimizar el consumo de agua y maximizar el rendimiento de las soluciones que se propongan.
- 2) Para la continuación de la investigación, se recomienda buscar soluciones que hayan sido utilizado en países centroamericanos para combatir los efectos adversos en la región del corredor seco, con esto, generar una ayuda colaborativa que pueda ayudar a personas en la región centroamericana.
- 3) Además de buscar soluciones a la problemática del agua en el corredor seco, es importante aprender y generar conciencia sobre el uso adecuada de este recurso, para maximizar el rendimiento de las soluciones que se propongan.
- 4) Cuando se realice un análisis de precipitaciones en determinado lugar, es recomendable contar con dos estaciones o más para contar con más datos y tener mayor seguridad de estos. El uso de NASA GIOVANNI es recomendable para la determinación de precipitaciones en determinado lugar, pero si se tiene existen estaciones cercanas se recomienda comparar datos para que estos sean más certeros.
- 5) El sistema de captación de agua de lluvia por medio de captación y embalse superficial es una buena opción para aplicar en municipios del corredor seco, pero se recomienda realizar estudios del terreno, experiencias previas para escoger el sistema que mejor se adapte, además de realizar una investigación sobre las actividades económicas que se realicen en el lugar de estudio para determinar la conveniencia de los diferentes sistemas de captación que puedan ser aplicados.
- 6) Para el estudio de precipitaciones en determinado lugar se recomienda el uso de datos de al menos de un periodo de 20 años, de esta manera se pueden analizar de mejor manera los datos y tener mejores resultados.
- 7) Para la realización de la captación de cuenca y embalse superficial se recomienda al ente encargado realizar levantamientos topográficos del área en donde se ubicará el

embalse, así también un levantamiento topográfico del área de siempre para identificar pendientes y la mejor forma de determinar la manera de riego, además, es recomendable realizar estudios de suelos del área dónde se planea realizar la construcción del embalse para determinar la resistencia del suelo además de estudios hidrológicos especiales para determinar la evotranspiración y las infiltraciones que se pueden dar en el lugar donde se encuentre el sistema de captación.

## X. BIBLIOGRAFÍA

- Acción contra el hambre. (2009). *Situación del corredor seco en de centroamérica. Situación del corredor seco en de centroamérica.*
- Aguirre, E. (2016). *Diseño de sistemas de agua potable y drenaje sanitario para la aldea el carrizal, Agua Blanca, Jutiapa.* USAC. Consultado en 2021, desde <http://www.repositorio.usac.edu.gt/4290/1/Elios20Humberto20Aguirre20MartC3ADnez.pdf>
- Aguirre, M. (2011). *PROPUESTA DEL MEJORAMIENTO DEL PARQUE OJO DE AGUA DEL MUNICIPIO DE AGUA BLANCA, JUTIAPA.* USAC. Consultado en 2021, desde [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/02/02\\_2909.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/02/02_2909.pdf)
- Critchley, W. & Sieger, K. (1996). *Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia : tomo I: bases técnicas y experiencias en África y Asia. Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia.*
- FAO. (2000). *MANUAL DE CAPTACIÓN Y APROVECHAMIENTO DEL AGUA DE LLUVIA EXPERIENCIAS EN AMÉRICA LATINA.* Consultado en 2021, desde <http://www.fao.org/3/ai128s/ai128s00.pdf>. Captación de agua de lluvia
- FAO. (2013). *Captación y almacenamiento de agua de lluvia, opciones técnicas para la agricultura familiar en América latina y el Caribe.* Consultado en 2021, desde <http://www.fao.org/3/i3247s/i3247s.pdf>. Captación de agua de lluvia
- FAO. (2016). *Corredor seco America Central, informe junio-2016. Informe 2016 del corredor seco.*
- FAO. (2019). *Enfrentando la sequía estacional. Reservorios de agua de lluvia, la solución para don Miguel.* Consultado en 2021, desde: <http://www.fao.org/guatemala/noticias/detail-events/fr/c/1204123/>. Reservorio
- García, S., Hass, E., Herrarte, J., Reynoso, A., Mayén, J., Pinula, S., Hernández, A., C. Palma, Teos, L., Avila, O., De León, B. & Mayen, E. (2004). *Diagnóstico socioeconómico, potencialidades productivas y propuestas de inversión.* USAC. [http://biblioteca.usac.edu.gt/EPS/03/03\\_0161.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/EPS/03/03_0161.pdf)
- Gonzalez, J. (2017). *FACTIBILIDAD DE COSECHA DE AGUA DE LLUVIA EN ESCUELA JARDÍN DE AMOR, SANTA MARÍA DE JESÚS, SACATEPÉQUEZ.* URL. Consultado en 2021, desde <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesiseortiz/2017/06/15/Gonzales-Jezyka.pdf>
- Guerra, R. (2007). *Plan estratégico participativo del municipio de Agua Blanca.*
- León, G. D. (2006). *EVALUACIÓN DE LÍNEAS DE TOMATE (Lycopersicum esculentum Mill.) EN LA BÚSQUEDA DE RESISTENCIA A LA MARCHITEZ BACTERIANA (Ralstonia solanacearum Smith.) EN EL TEMPISQUE, AGUA BLANCA, JUTIAPA.* USAC. [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01\\_2344.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2344.pdf)
- MAGA. (2010). *Diagnóstico a nivel macro y micro del corredor seco y definición de las líneas estratégicas de acción del maga.*
- MARN. (2012). *La captación de agua de lluvia fortalece la seguridad alimentaria en el país.*
- Martínez, A. (2007). *Estructuras de captación y aprovechamiento de agua de lluvia “aguadas” en los municipios de Santa Ana y Dolores del departamento de Petén, Guatemala.* USAC. Consultado en 2021, desde [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01\\_1561.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_1561.pdf)

- MEM. (2013). *Análisis de la información de la cuenca Ostúa-Güija, con énfasis de la calidad de aguas superficiales y subterráneas, y la incidencia del proyecto minero cerro blanco*. Ministerio de energía y minas. Consultado en 2021, desde <https://www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2013/02/INFORME-FINAL-ANALISIS-CUENCA-OSTUA-GUIJA-10-DE-JUNIO.pdf>
- PNUD. (2013). *Evaluación del Bienestar Humano y Ambiente en el Corredor Seco Oriental de Guatemala*. Consultado en 2021, desde [https://www.gt.undp.org/content/guatemala/es/home/library/crisis\\_prevention\\_and\\_recovery/evaluacion-del-bienestar-humano-y-ambiente-en-el-corredor-seco.html](https://www.gt.undp.org/content/guatemala/es/home/library/crisis_prevention_and_recovery/evaluacion-del-bienestar-humano-y-ambiente-en-el-corredor-seco.html). Evaluación
- Solís, C. (2021). *Mapa de Jutiapa*. Consultado en 2021, desde [https://mapas.owje.com/14424\\_mapa-de-jutiapa.html](https://mapas.owje.com/14424_mapa-de-jutiapa.html). Mapa de Jutiapa
- Tórtola, L. (2015). *El ecosistema en el corredor seco de Guatemala*. USAC. Consultado en 2021, desde <http://www.repositorio.usac.edu.gt/3772/1/Luis20Fernando20TC3B3rtola20Lima.pdf>
- Van De Zee, A., Van De Zee, J., Meyrat, A., Poveda, C. & Picado, L. (2012). *Estudio de caracterización en el corredor seco Centroamericano. 1*. Consultado en 2021, desde [https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/tomo\\_i\\_corredor\\_seco.pdf](https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/tomo_i_corredor_seco.pdf)

## XI. APÉNDICES

### A. Fotos de captación existente



*Figura 52.* Anexo 1 - Ejemplo de laguna artesanal para captar el agua de lluvia



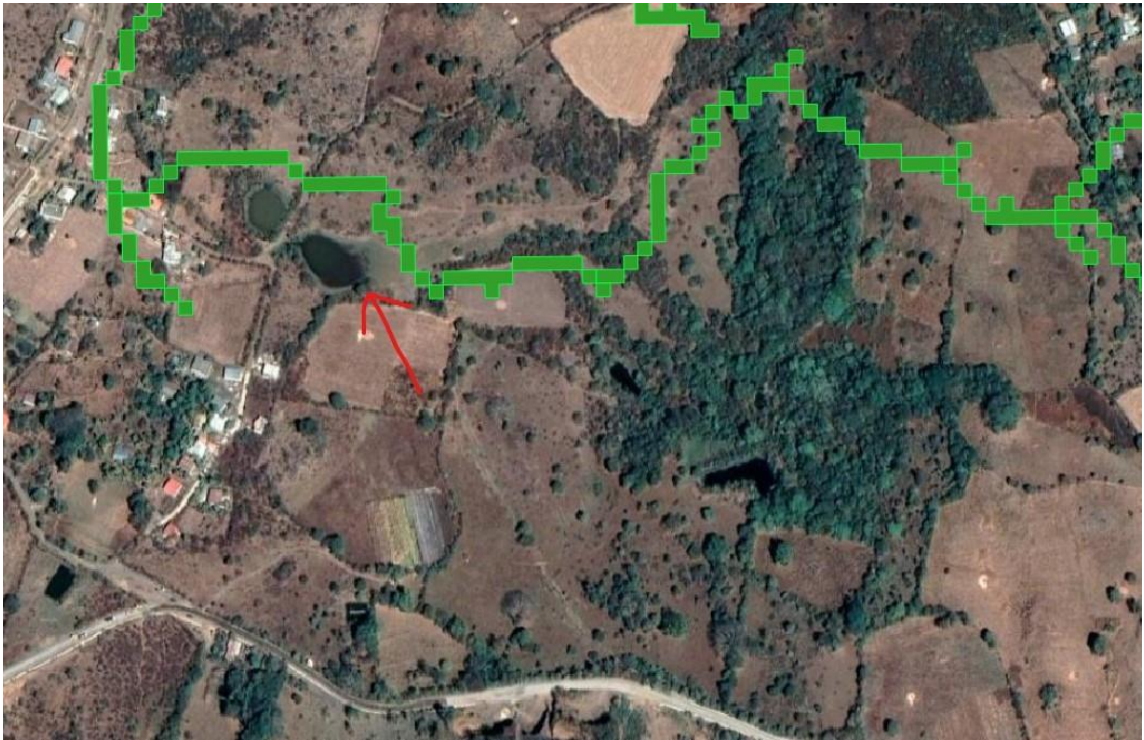


*Figura 53.* Anexo 2 - Ejemplo de laguna artesanal para captar el agua de lluvia



*Figura 54.* Anexo 3 - Ejemplo de laguna artesanal para captar el agua de lluvia

En la siguiente figura se muestra una figura satelital. en la que se observa una red de drenaje que fue aprovechada.



*Figura 55.* Anexo - 4 Vista satelital de la laguna artesanal para captación de agua de lluvia  
(Elaboración propia)

## B. Mapas desarrollados

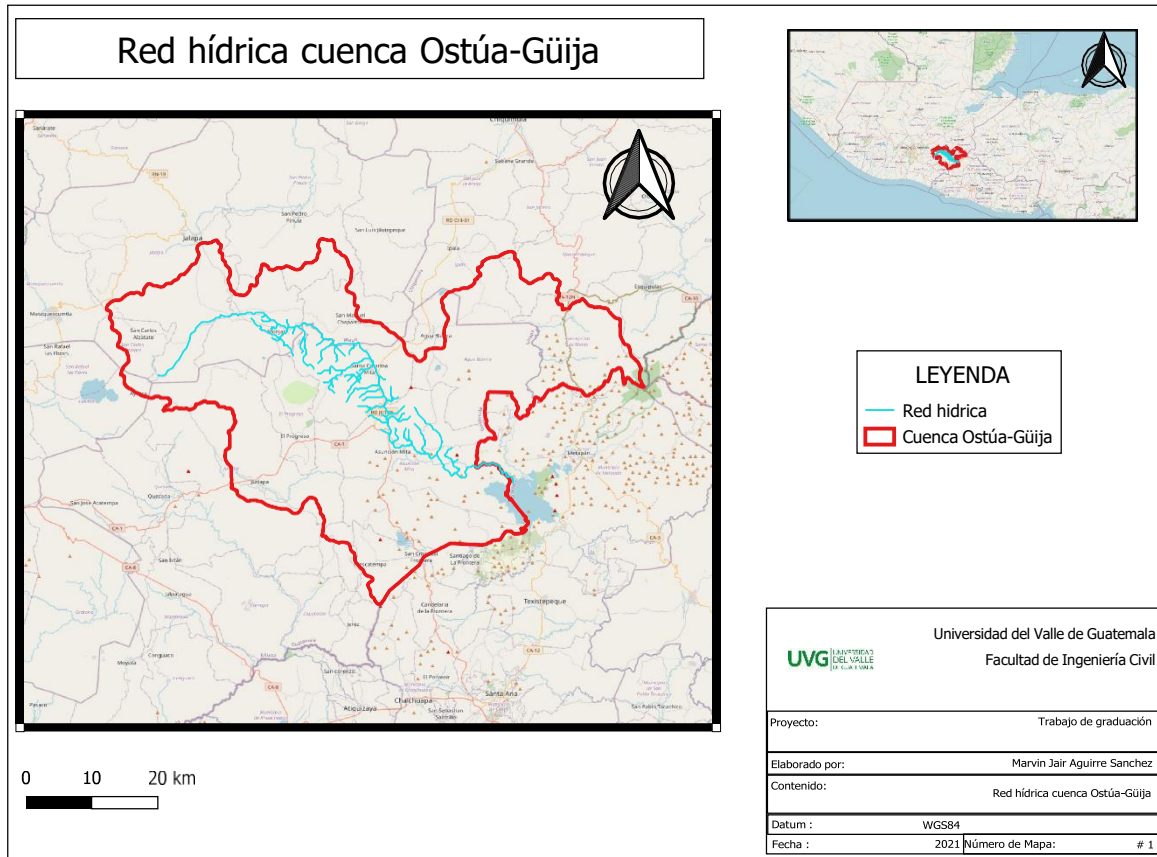


Figura 56. Mapa 1. Red hídrica de la cuenca Ostúa-Güija

(Elaboración propia)

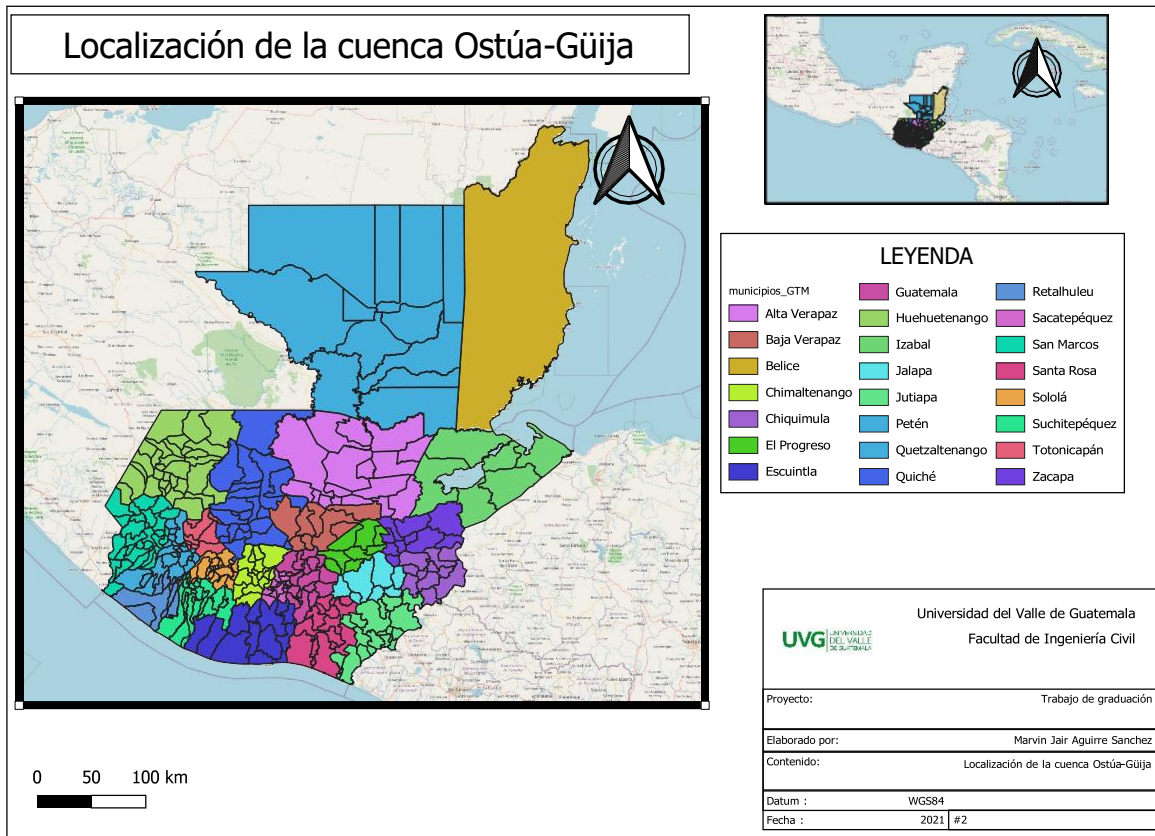
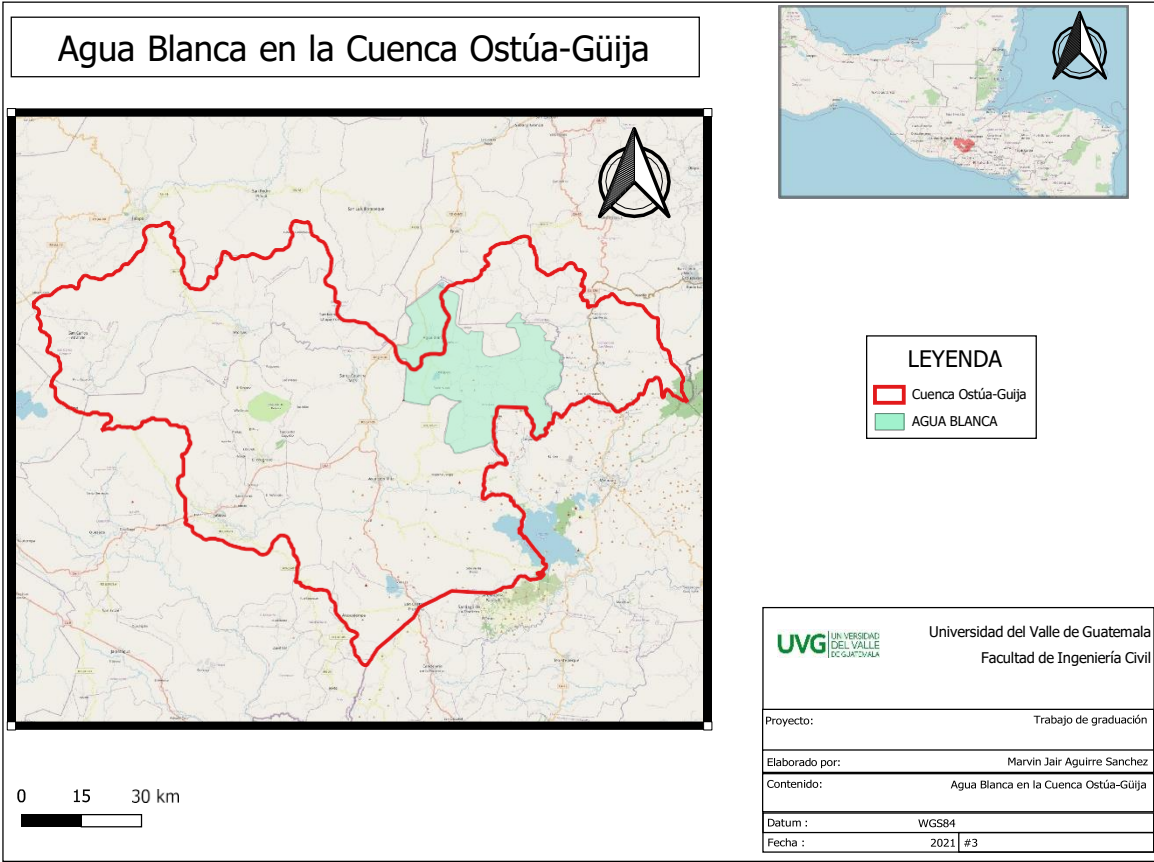
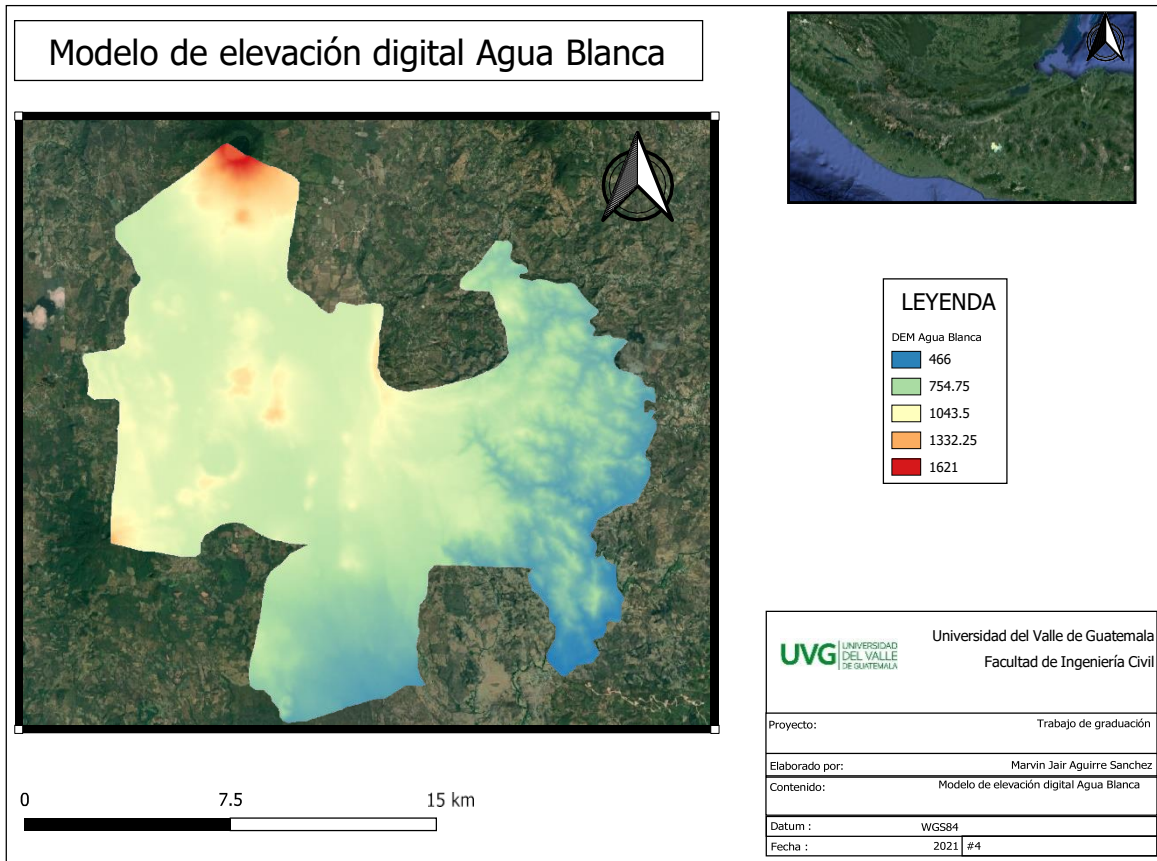


Figura 57. Mapa 2. Localización de la cuenca Ostúa-Güija

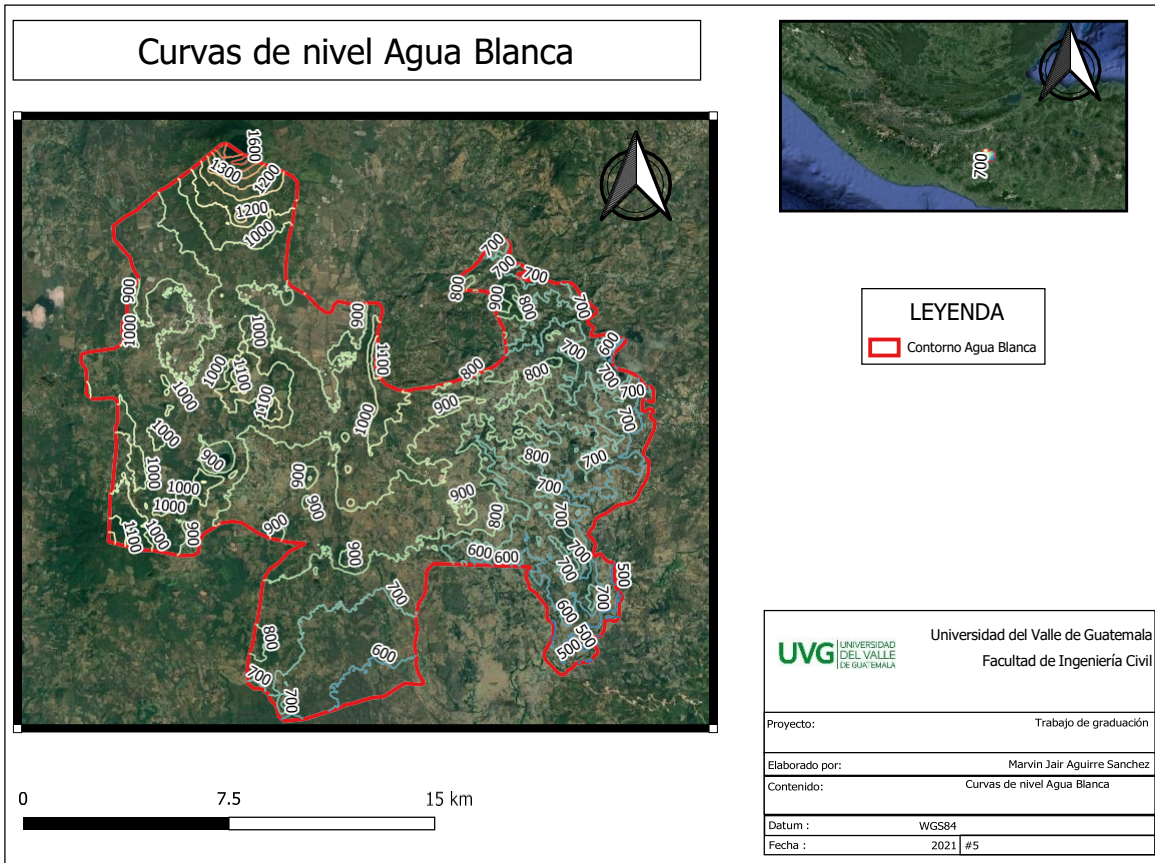
(Elaboración propia)



*Figura 58. Mapa 3. Agua Blanca en la cuenca Ostúa-Güija*  
(Elaboración propia)



*Figura 59.* Mapa 4. Modelo de elevación digital Agua Blanca  
(Elaboración propia)

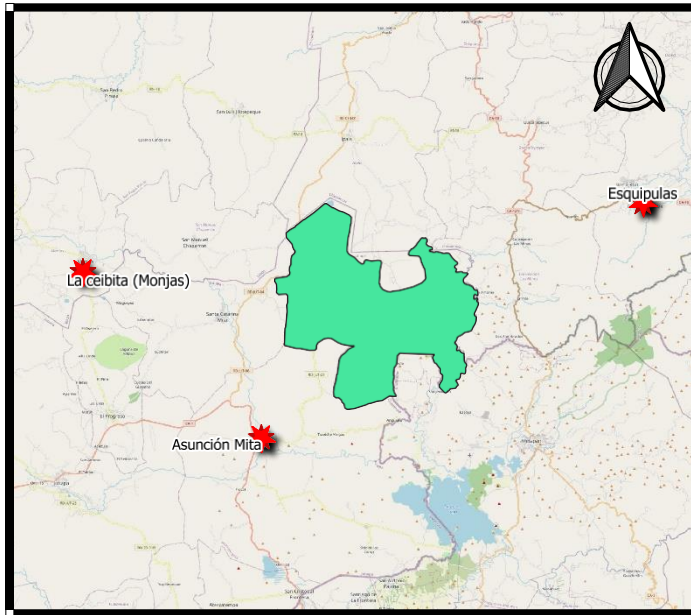


*Figura 60. Mapa 5. Curvas de nivel Agua Blanca*

(Elaboración propia)



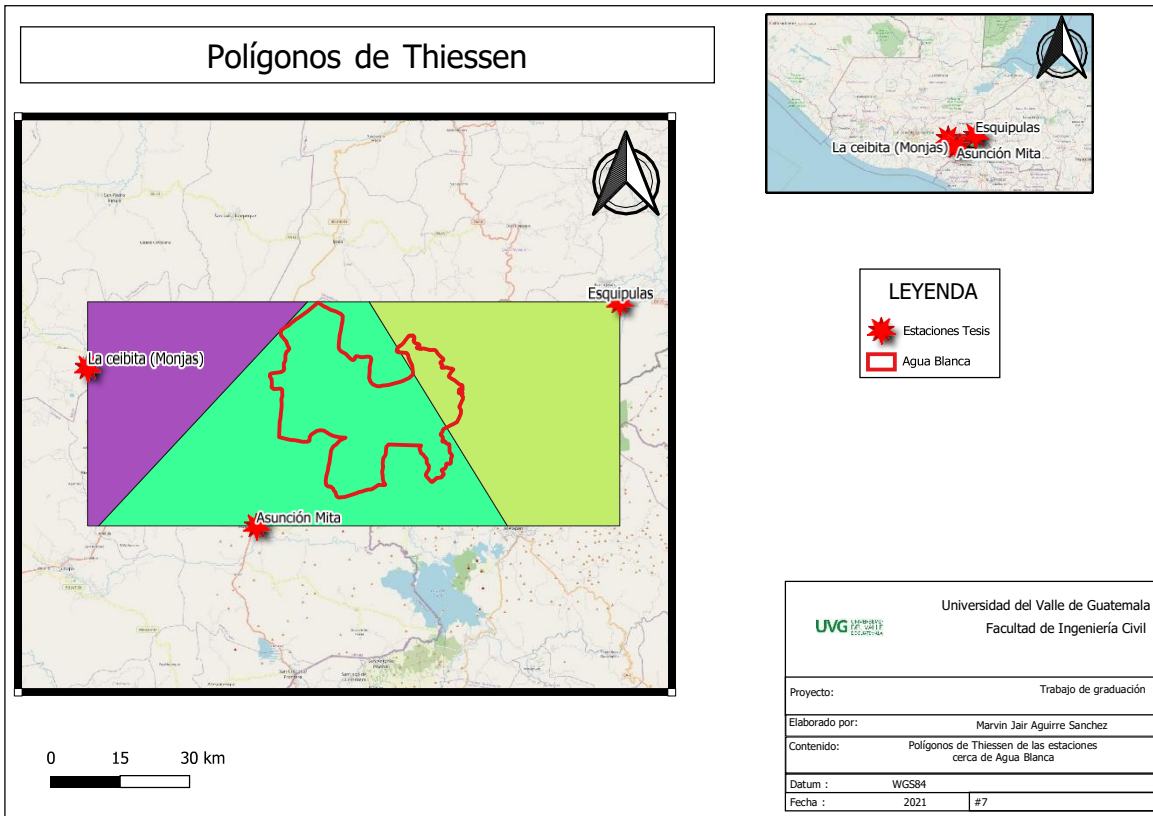
# Estaciones del INSIVUMEH cerca de Agua Blanca



LEYENDA	
	Estaciones INSIVUMEH
	AGUA BLANCA

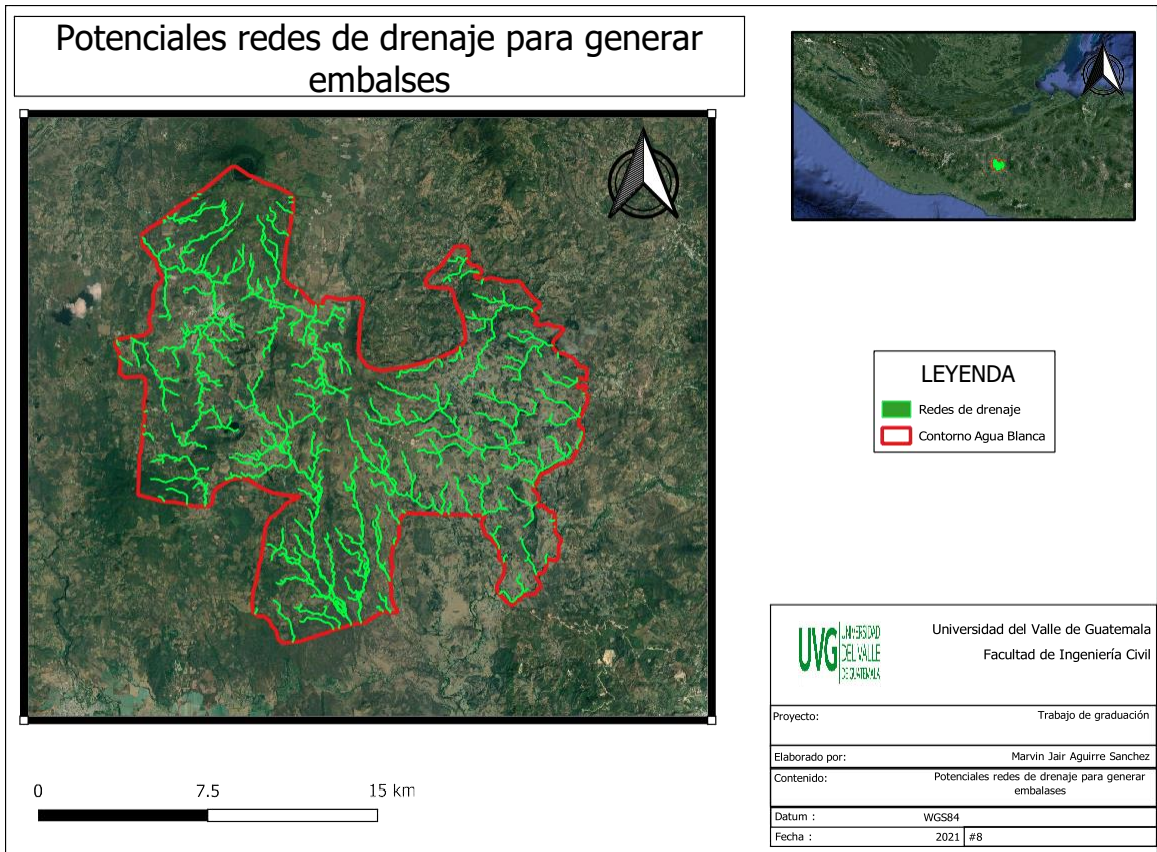
Universidad del Valle de Guatemala Facultad de Ingeniería Civil	
Proyecto:	Trabajo de graduación
Elaborado por:	Marvin Jair Aguirre Sanchez
Contenido:	Estaciones del INSIVUMEH cercanas a Agua Blanca
Datum :	WGS84
Fecha :	2021 #6

Figura 61. Mapa 6. Estaciones del INSIVUMEH cerca de Agua Blanca (Elaboración propia)



*Figura 62. Mapa 7. Polígonos de Thiessen*

(Elaboración propia)



*Figura 63.* Mapa 8. Potenciales redes de drenaje para generar embalses  
(Elaboración propia)

## XII. Glosario

**Afloramientos rocosos:** Es una exposición visible de roca madre o de depósitos superficiales antiguos en la superficie de la Tierra.. 26

**Agroindustria:** Conjunto de industrias relacionadas con la agricultura.. 10

**Aliviadero:** Conducto que sirve para dar salida a las aguas sobrantes de un embalse o canalización.. 20

**Bordo:** Elevación de palos, tierra y piedras que se hace a ambos lados de un río o quebrada para evitar inundaciones o para retener o estancar las aguas.. 19

**Bovinos:** Perteneciente o relativo al toro o a la vaca.. 37

**Calicata:** Exploración que se hace en cimentaciones de edificios, muros, firmes de carreteras, etc., para determinar los materiales empleados.. 25

**Camellones:** son un tipo de disposición del suelo en la llanura para el cultivo, que se usó extensamente en tiempos precolombinos en zonas inundables de lo que hoy es Ecuador, Perú y Bolivia.. 25

**Contiguo:** Que está tocando o está junto a otra cosa.. 17

**Convergencia:** Dicho de dos o más líneas: Tender a unirse en un punto.. 22

**Cuenca:** Territorio cuyas aguas afluyen todas a un mismo río, lago o mar.. 21

**Curva de nivel:** Línea imaginaria que forman los puntos de un terreno situados a una misma altura, empleada en topografía para figurar el relieve.. 69

**Dique:** Muro o construcción para contener las aguas.. 22

**Empozamientos:** Retención de agua en un lugar, de modo que se forman pozas o charcos.. 24

**Humedad relativa:** Expresión porcentual de la cantidad de vapor de agua presente en el aire con respecto a la máxima posible para unas condiciones dadas de presión y temperatura.. 8

**Impermeable:** Impenetrable al agua o a otro fluido.. 17

**Infiltrar:** La infiltración es el proceso por el cual el agua en la superficie de la tierra entra en el suelo.. 17

**Irrigar:** Aplicar el riego a un terreno.. 21

**Meteorizadas:** Dicho de un agente de la atmósfera, de la hidrosfera o de la biosfera: Fragmentar o degradar de forma parcial o total las rocas y los minerales.. 34

**Ortofoto:** Fotografía con escala constante y propiedades de una proyección ortogonal, formada a partir de una fotografía en proyección central mediante rectificación diferencial.. 68

**Permeable:** Que puede ser penetrado o traspasado por el agua u otro fluido.. 17

**Resiliencia:** Capacidad de un material, mecanismo o sistema para recuperar su estado inicial cuando ha cesado la perturbación a la que había estado sometido.. 11

**Seguridad alimentaria:** Situación que existe cuando todas las personas tienen, en todo momento, acceso físico, social y económico a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos que satisfacen sus necesidades energéticas diarias y preferencias alimentarias para llevar una vida activa y sana.. 21

**Surco:** Hendidura que se hace en la tierra con el arado.. 22

**Torrente:** Afluencia repentina y violenta de una corriente de agua que solo se forma por abundantes precipitaciones.. 20

**Veranillo:** Tiempo breve de calor en una estación que no es calurosa, durante este tiempo hay ausencia de precipitación.. 73