



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN-MANAGUA

Facultad Regional Multidisciplinaria, FAREM–Estelí

**Generación de tecnologías para el manejo sostenible del agua,
caso de estudio Estación Experimental para el estudio del
Trópico Seco “El Limón”**

Trabajo monográfico para optar

Al grado de

Ingeniero en Energías Renovables

Autores

Rosa Melania Aráuz Vargas

Seyling Alejandra Siles Bucardo

Priscila Gizelle Castro Rodríguez

Tutor

Dr. Edwin Antonio Reyes Aguilera

Estelí, 05 de febrero del 2021



Dedicatoria

A Dios por permitirnos terminar nuestra carrera universitaria, a pesar de las adversidades siempre sentimos su compañía y nos dio fortaleza en los momentos donde sentíamos que no íbamos a poder continuar, por eso le dedicamos a él nuestro esfuerzo y entrega.

A nuestros padres, porque sin su apoyo incondicional no podríamos haber cumplido esta meta, les dedicamos este triunfo con todo nuestro corazón y amor.

Agradecimientos

Principalmente agradecemos a Dios por permitirnos culminar nuestros estudios y por hacer realidad nuestro sueño de ser profesionales.

A nuestros padres gracias, su apoyo y confianza al creer que el estudio es el mejor camino para una mejor vida y crecimiento personal, gracias por su apoyo a pesar de los problemas, sus palabras de aliento fueron fundamentales para culminar esta etapa universitaria.

Al Doctor Edwin Reyes Aguilera por su asesoría e interés por ayudarnos en la realización de este proyecto, siempre dispuesto a resolver inquietudes y a colaborar en lo que hiciera falta con el fin de conseguir un trabajo de calidad.

Por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión, de manera especial, al Master Luis Lorenzo Fuentes Peralta, por ser parte de nuestro proyecto de investigación quien nos ha guiado con su paciencia y su rectitud como docente.

Al Arquitecto Walter José Molina Mendoza quien estuvo dispuesto a prestar su ayuda la cual fue indispensable para el proyecto y nunca dudo en compartirnos sus conocimientos y experiencia.

CARTA AVAL DEL TUTOR DE MONOGRAFÍA DE GRADO

Por este medio, hago constar que el documento de monografía de grado titulado **“Generación de tecnologías para el manejo sostenible del agua, caso de estudio Estación Experimental para el estudio del Trópico Seco “El Limón“** elaborado por, Rosa Melania Aráuz Vargas; Seyling Alejandra Siles Bucardo; Priscila Gizelle Castro Rodríguez, tiene la coherencia metodológica consistente, así como criterios estadísticos, cumpliendo de esta manera con los parámetros de calidad necesarios para su defensa final, como requisito parcial para optar al grado de Ingeniero en Energías Renovables que otorga la Facultad Regional Multidisciplinaria de Estelí, FAREM Estelí, de la UNAN-Managua.

Se extiende la presente constancia en la ciudad de Estelí a los veinte y tres días del mes de enero del año dos mil veinte uno.

Atentamente



Dr. Edwin Antonio Reyes Aguilera

Profesor Titular de UNAN Managua/FAREM-Estelí

ID ORCID: 0000-0002-0996-1567

Resumen

En este estudio se da a conocer la propuesta de un sistema de captación, distribución y almacenamiento de aguas pluviales mediante bombeo solar fotovoltaico para riego en la Estación Experimental “El Limón”. Se realizó un estudio de tipo observacional, descriptivo simple, retro-prospectivo de corte transversal. Las técnicas utilizadas en la recolección de datos fueron la entrevista para recoger la diversidad de perspectivas, visiones y opiniones de los docentes investigadores de la estación, además de una guía de observación para obtener datos visibles del estado actual de la captación de agua. En la elaboración del dimensionado se utilizó una plantilla en Excel que contiene todos los algoritmos de cálculo, en el diseño de la propuesta de captación y almacenamiento de agua se utilizó el software de diseño AutoCAD y Sketchup. Los resultados obtenidos demuestran que la estación cuenta con diversas fuentes de abastecimiento y es utilizada principalmente para el consumo humano, consumo de ganado menor (cerdos, oveja y aves de corral), ganado mayor bovino y para riego de cultivo de granos básicos y forraje, usando riego por aspersión e inundación. Gran parte de las tuberías que forman parte del sistema de captación se encuentran en mal estado, el agua que cae a través de los canales hacia la caja de registro se pierde debido a que no están conectados a un sistema de captación. De acuerdo a los cálculos realizados el volumen de almacenamiento neto para un área de 548.57m^2 de captación debe ser de 320.19m^3 , lo que se consigue con una pila de almacenamiento de $11\text{m} \times 10\text{m} \times 3\text{m}$, obteniendo un total de 330m^3 . El tamaño del sistema fotovoltaico resultante es de 700W y una bomba de 0.75HP . Se concluyó que la necesidad principal del lugar es abastecer los cultivos ya que son parte fundamental para mantener el atractivo de la estación experimental, el sistema de recolección de las aguas de lluvias actual ubicado en el edificio principal de la estación experimental es deficiente, por ende, contempla el reemplazo total del sistema de captación.

Palabras clave: captación, distribución, almacenamiento y sistema fotovoltaico.

Índice general

Capítulo I	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Planteamiento del problema	2
1.3 Justificación.....	4
1.4 Objetivos.....	5
Capítulo II	6
2.1 Antecedentes.....	6
2.2 Marco teórico.....	9
2.2.1 Cambio climático.....	9
2.2.1.1 Definición	9
2.2.1.2 Impactos	9
2.2.1.3 Relación con la agricultura	9
2.2.2 Manejo del agua en la agricultura familiar en Centroamérica.....	10
2.2.2.1 Tecnologías de manejo de agua.....	11
2.2.2.2 Tecnologías de manejo de agua utilizadas en Centro América	12
2.2.2.3 Tecnologías para la distribución de agua para fines agropecuarios	13
2.2.2.4 Cosecha de agua de lluvia	14
2.2.2.5 Tipos de cosecha o captación de agua	15
2.2.2.5.1 Cosecha de agua por lagunas, reservorios o embalses	15
2.2.2.5.2 Cosecha de agua de lluvia dirigido a una pila	16
2.2.2.5.3 Cosecha de agua de techo dirigida hacia una cisterna.....	16
2.2.2.5.4 Cosecha de agua lluvia a través de techo	16
2.2.2.5.5 Cosecha de aguas de lluvia con bolsa de geo membrana	17
2.2.2.6 Componentes del sistema de recolección de agua de lluvia.....	18

2.2.2.6.1	Captación	19
2.2.2.6.2	Recolección y Conducción	19
2.2.2.6.3	Almacenamiento	21
2.2.3	Energía Solar	22
2.2.3.1	Radiación solar	23
2.2.3.2	Irradiación.....	23
2.2.3.3	Insolación	24
2.2.3.4	Unidades de medida.....	24
2.2.3.5	Valor promedio.....	25
2.2.3.6	Día Solar	25
2.2.4	Sistema de bombeo solar fotovoltaico	26
2.2.4.1	Gestión del agua	26
2.2.4.2	Ventajas Principales de los sistemas de bombeo solar	27
2.2.4.3	Componentes de un sistema de bombeo solar	27
2.2.4.3.1	El panel fotovoltaico.....	27
2.2.4.3.2	El controlador de carga.....	28
2.2.4.3.3	Bombas	29
2.2.5	Dimensionado de un sistema solar fotovoltaico	29
2.2.5.1	Información pluviométrica	30
2.2.5.2	Bases del diseño	31
2.2.5.3	Criterios de diseño	31
2.2.5.4	Determinación de la precipitación promedio mensual	32
2.2.5.5	Determinación de la demanda	32
2.2.5.6	Determinación del volumen del tanque de abastecimiento	32
2.2.5.7	Dimensionado de un sistema de bombeo solar fotovoltaico	34

2.2.5.8	Hidráulica del Sistema.....	34
2.2.5.8.1	Requerimientos hidráulicos de la bomba	35
2.2.5.8.2	Tipos de bombas centrifugas	35
2.2.5.8.3	Determinación de la altura hidráulica de bombeo	37
2.2.5.8.4	Carga estática.....	37
2.2.5.8.5	Carga dinámica (Fricción).....	38
2.2.5.8.6	Valor por omisión.....	38
2.2.5.8.7	Tablas de fricción	38
2.2.5.8.8	Fórmula de Manning	38
2.2.5.9	Generador	39
2.2.5.10	Selección motor-bomba.....	41
2.2.5.11	Tuberías	42
2.2.5.12	Consideraciones en el montaje e instalación	42
2.2.5.13	Mantenimiento.....	43
Capítulo III.....		45
3.1	Diseño metodológico.....	45
3.1.1	Tipo de estudio	45
3.1.2	Área de estudio.....	45
3.1.3	Área de conocimiento.....	46
3.1.4	Universo y muestra.....	46
3.1.5	Matriz de operaciones de variables (MOVI).....	47
3.1.6	Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos.	48
3.1.7	Procedimiento para la recolección de datos e información.....	49
Capítulo IV Análisis y Discusión de resultados		53
4.1	Formas de uso del agua de lluvia.....	53

4.2	Elaborar un diagnóstico del estado actual del sistema de captación de agua de la estación experimental	56
4.3	Proponer un sistema de captación, almacenamiento y distribución mediante bombeo solar fotovoltaica.	62
4.3.1	Precipitación.....	62
4.3.2	Mediciones	66
4.3.3	Bases del diseño	68
4.3.4	Sistema de bombeo.....	71
4.3.4.1	Tanque para riego por gravedad	71
4.3.4.2	Bomba.....	72
4.3.5	Diseño del sistema.....	76
4.3.6	Presupuesto.....	82
Capítulo V	83
5.1	Conclusiones.....	83
5.2	Recomendaciones	84
5.3	Bibliografía.....	85
I. Anexos	89
	Guía entrevista	89
	Galería de Fotos	91

Índice de tablas

<i>Tabla 1 Tipos de bombas y sus características</i>	35
<i>Tabla 2. Valores de la constante k utilizados en la fórmula de Manning</i>	39
<i>Tabla 3. Condiciones estándar de medida de módulos fotovoltaicos</i>	40
<i>Tabla 4. Promedio anual</i>	62
<i>Tabla 5. Necesidad de agua de los cultivos estacionales</i>	68
<i>Tabla 6. Resultados de bases del diseño</i>	69
<i>Tabla 7. Diferencias acumulativas</i>	70
<i>Tabla 8. Datos para el bombeo</i>	72

Índice de figuras

<i>Figura 1. Captación de agua por reservorios</i>	15
<i>Figura 2. Captación de agua de lluvia a través de techo</i>	17
<i>Figura 3. Sistema de captación de agua con bolsa de geo membrana</i>	18
<i>Figura 4. Sistema típico de captación de agua lluvia en techos</i>	18
<i>Figura 5. Áreas de captación para tres tipos diferentes de techo</i>	19
<i>Figura 6. Tipos de canaletas para recolección de agua lluvia</i>	20
<i>Figura 7. Tanque interceptor de primeras aguas</i>	21
<i>Figura 8. Válvula flotadora para Tanque Interceptor.</i>	21
<i>Figura 9. Tanque de almacenamiento semienterrado en ferro-cemento</i>	22
<i>Figura 10. Longitud de onda y frecuencia (espectro visible)</i>	23
<i>Figura 11 Irradiación</i>	24
<i>Figura 12. Día solar de 5 horas</i>	26
<i>Figura 13. Panel solar compuesto por un conjunto de módulos solares</i>	28
<i>Figura 14. Controlador típico de un sistema fotovoltaico de bombeo</i>	29
<i>Figura 15. Intervalos comunes donde se aplica los diferentes tipos de bombas solares</i>	36
<i>Figura 16. Componentes hidráulicos de un sistema de bombeo de agua</i>	37
<i>Figura 17. Estructuras de los corrales</i>	56
<i>Figura 18 Estado de tuberías</i>	56
<i>Figura 19 Estructura de las tuberías</i>	57

<i>Figura 20. Estado de tuberías</i>	<i>58</i>
<i>Figura 21. Estado de las tuberías</i>	<i>58</i>
<i>Figura 22. Drenaje de muro.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 23. Caja de registro.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 24. Caseta de seguridad</i>	<i>60</i>
<i>Figura 25. Quiosco / bodega.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 26. Caseta de la bomba</i>	<i>60</i>
<i>Figura 27. Edificio principal.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 28. Datos de precipitación 2014</i>	<i>63</i>
<i>Figura 29. Datos de precipitación 2015</i>	<i>63</i>
<i>Figura 30. Datos de precipitación 2016</i>	<i>64</i>
<i>Figura 31. Datos de precipitación 2017</i>	<i>64</i>
<i>Figura 32. Datos de precipitación (2014-2017)</i>	<i>65</i>
<i>Figura 33. Total de precipitación anual</i>	<i>65</i>
<i>Figura 34. Medidas de las estructuras.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 35. Área de cultivos</i>	<i>68</i>
<i>Figura 36 Tanque Plastitank propuesto.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 37 Bomba Grundfos.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 38 Especificaciones del módulo solar fotovoltaico.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 39 Conexión en serie de los módulos solares fotovoltaicos.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 40. Topografía y diseño del sistema.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 41. Vista de planta del sistema.....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 42. Vista detallada de los ramales</i>	<i>78</i>
<i>Figura 43. Pileta de almacenamiento y sistema de tuberías.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 44. Sistema de aliviaderos.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 45. Cajas de registro</i>	<i>79</i>
<i>Figura 46. Pendiente de las tuberías</i>	<i>80</i>
<i>Figura 47. Paneles solares fotovoltaicos.</i>	<i>80</i>
<i>Figura 48. Detalle de la línea de conducción.</i>	<i>81</i>
<i>Figura 49. Coordinador principal de la Estación Experimental El Limón</i>	<i>91</i>
<i>Figura 50. Docente investigador.....</i>	<i>91</i>

<i>Figura 51. Mediciones en bodega</i>	<i>91</i>
<i>Figura 52. Mediciones en la caseta donde se ubica el pozo y la bomba</i>	<i>92</i>
<i>Figura 53. Medición de pendiente.....</i>	<i>92</i>
<i>Figura 54. Medición de pendiente.....</i>	<i>92</i>

Lista de siglas y acrónimos

AHJASA: Asociación Hondureña De Juntas Administradoras De Sistemas De Agua

ACICAFOT: Asociación Coordinadora Indígena y Campesina de Agroforestería Comunitaria Centroamericana

CSCA: Corredor Seco Centroamérica

CDT: Carga Dinámica Total

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

SBFV: Sistema de Bombeo Fotovoltaico

DC: Corriente Directa

AC: Corriente Alterna

IDRC / CDRI: Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo

IFRI: French Institute of International Relations

MARENA: Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales

Capítulo I

1.1 Introducción

La zona centroamericana es muy vulnerable al cambio climático y está sujeta a cambios hidrometeorológicos cada vez más intensos, que ocasionan inundaciones y sequías, esto ha alterado los patrones de precipitación, afectando la disponibilidad de agua para los distintos usos, siendo el mayor afectado el sector agrícola.

En el presente estudio se desarrolló una propuesta sobre una tecnología alternativa, para el manejo racional y eficiente de aguas pluviales, traerá grandes beneficios para la producción de alimentos con una contribución a la seguridad alimentaria de igual manera permitiendo un proceso de mejora de la calidad de vida. Se tomó en cuenta la Estación Experimental “El Limón” siendo este un punto teórico práctico para nuestra propuesta la cual puede ser usada en comunidades que presenten condiciones similares.

En el manejo sostenible del suelo y del agua en el sector agrícola, todas las tecnologías para la captación y almacenamiento de agua tienen potencial positivo para contribuir a la adaptación al cambio climático, pues permiten almacenar el agua de la precipitación durante la temporada lluviosa para hacerla disponible en la producción agrícola durante la época seca.

En el presente estudio se propone la captación de agua de lluvia porque es un medio fácil de obtención de agua para consumo humano y/o uso agrícola, es utilizado en lugares donde la precipitación pluvial y la calidad son adecuadas para estos fines. Al efecto, el agua de lluvia es interceptada, colectada y almacenada en depósitos para su posterior uso.

El potencial de los sistemas de energía solar fotovoltaica se ha demostrado en los proyectos de electrificación rural realizados en todo el mundo, así como por la experiencia en su aplicación en otros sectores, como los servicios sociales y comunales, la agricultura y otras actividades productivas capaces de repercutir significativamente en el desarrollo rural.

1.2 Planteamiento del problema

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Centroamérica es una de las regiones más vulnerables al cambio climático y está sujeta a fenómenos hidrometeorológicos cada vez más intensos, que ocasionan inundaciones y sequías, afectando la disponibilidad de agua para los distintos usos. Uno de los sectores que está siendo más afectado, es el agrícola, puesto que en la región entre el 80% al 98% de los rubros agropecuarios dependen de la lluvia.

El cambio climático y la variabilidad climática han alterado los patrones de precipitación en la región, lo que afecta en general al sector agrícola, pero en mayor medida a la agricultura familiar que es altamente dependiente de la lluvia. Se estima que un millón de hogares vive de la agricultura de subsistencia en el Corredor Seco y están menos preparados para enfrentar periodos de sequía extrema (FAO, 2013).

A nivel nacional, el país es rico en recursos hídricos; el agua en Nicaragua está destinada a cumplir distintos usos, los principales son el agrícola, doméstico o municipal y el industrial. Se tiene problemas en el acceso a la misma debido a que ésta es estacionalmente dependiente, se distribuye de forma desigual en la geografía nacional y el acceso a fuentes superficiales se encuentra limitado por la contaminación de la misma, por lo que la estrategia de aprovechamiento del recurso se centra en la explotación de fuentes subterráneas que se encuentra principalmente en el Pacífico, región que tiene la mayor cantidad de acuíferos del país (Rodríguez, 2016).

Nicaragua presenta al menos 160 fallecidos cada año, de un creciente número de refugiados climáticos y de impactos económicos y sociales severos que disminuyen la capacidad de los estados para hacer frente a las prioridades nacionales, como la lucha por erradicar la pobreza y la extrema pobreza. La región ha priorizado la adaptación para hacer frente a los impactos generados por el cambio climático y la variabilidad climática. A pesar de que se le identifica como una región con abundancia de recursos hídricos, existe todavía no sólo un déficit en el acceso al agua, sino incluso escasez en algunas áreas, lo que consecuentemente dificulta impulsar un desarrollo sostenible.

Cada día son más los núcleos poblacionales afectados por el bajo nivel de disponibilidad de agua. La región carece de aprovechamiento de recursos hídricos lo que no permite alcanzar la seguridad hídrica y la seguridad agro alimentaria, adaptable al cambio climático de la comunidad. En el departamento de Estelí, los impactos del cambio climático se ven reflejados en: cambios en las temperaturas media anual, variabilidad en las precipitaciones, disminución de los frentes fríos y aumento de los vientos huracanados. Las precipitaciones anuales totales no han variado significativamente, pero sí un aumento en el número de días secos, compensados por días con precipitaciones más intensas (FAO, 2013).

1.3 Justificación

La presente investigación, apunta a una propuesta de tecnología como alternativa, para el manejo racional y eficiente del agua, un recurso natural fundamental para el desarrollo de la vida en general, el cual se ha convertido en un recurso escaso debido al cambio climático y a la falta de comprensión de la gravedad del problema por parte de las personas.

Cuando se habla de crisis de agua se pueden mencionar tres aspectos principales que la envuelven; la distribución, el acceso y la calidad del vital líquido, por eso es muy importante que la población en general se involucre en el cuidado y preservación, para tener un desarrollo sostenible de las fuentes hídricas. Este trabajo investigativo pretende la búsqueda de opciones tecnológicas y prácticas que permitan hacer frente a estos retos que impone el cambio climático para la población rural.

La presente investigación traerá grandes beneficios, debido a que gracias a la captación de agua se pondrá en práctica la conservación de suelos y manejo integrado de cultivos como hortalizas y riego de jardines, haciendo referencia a la relación que hay entre el agua y la producción de alimentos como una contribución a la seguridad alimentaria de igual manera permitirá un proceso de calidad de vida mejor.

El almacenamiento de agua en reservorios permitirá tener disponibilidad de agua en los periodos secos que ocurren luego de la época lluviosa. En el caso de la estación, traerá un beneficio económico debido a que no se utilizará energía eléctrica convencional para el accionamiento de la bomba de agua puesto que se hará uso eficiente de fuentes renovables, en este caso energía solar fotovoltaica.

Esta investigación resulta importante porque, los resultados pueden ser divulgados y puestos a disposición de otras comunidades con condiciones similares a las de los habitantes de El Limón y desde el punto de vista teórico y práctico va a enriquecer las diversas alternativas documentadas en manejo eficiente de agua.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

- Desarrollar una propuesta de sistema de captación para el aprovechamiento de agua de lluvia como alternativa al escases de agua generada en época de verano.

1.4.2 Objetivos específicos

- Identificar las diferentes formas de uso del agua de lluvia captada para satisfacer los requerimientos de la Estación Experimental El limón en sus actividades productivas.
- Elaborar un diagnóstico del estado actual del sistema de captación de agua de la Estación Experimental.
- Proponer un sistema de captación, distribución y almacenamiento mediante bombeo solar fotovoltaica.

Capítulo II

2.1 Antecedentes

Los sistemas de captación de agua de lluvias inician de hace 4000 años o más; estos sistemas consistieron en el desmonte de los ríos para aumentar la escorrentía de micro captación para el suministro de agua a los cultivos (FAO, 2013).

Según el estudio de la FAO, el sistema de captación no se hizo recientemente, si no hace muchos años atrás en diferentes países del mundo porque había gran escasez de agua en algunos lugares quienes empezaron a pensar en alguna estrategia que abasteciera las necesidades de agua, entonces se dio la captación de agua de lluvia.

Existen países como las Islas Vírgenes, Sri Lanka, India, Filipinas, Japón, Corea del sur y USA, que ya poseen antecedentes de implementar políticas y regulaciones legales para impulsar la construcción de sistemas de cosecha de agua de lluvia para consumo humano. Un esfuerzo muy importante para incrementar la presión sobre los políticos y poner la cosecha del agua de lluvia en la agenda política, se viene realizando en el Reino Unido a través de una campaña denominada “SAVE THE RAIN” (Guarda la lluvia) que tiene como objetivo la cosecha del agua de lluvia para resolver los problemas con el abastamiento de agua (Rodríguez, 2012).

En estos países llegaron a la conclusión de implementar una tecnología debido a que se estaban agotando las fuentes de agua, aunque implementaron sus propias políticas, para establecer las cosechas de agua y poder resolver los problemas de escases de agua.

El IDRC es una corporación canadiense establecida en 1970 con el fin de apoyar la investigación en países en desarrollo y promover su crecimiento y progreso. Trabaja junto a investigadores e innovadores en estos países en la búsqueda de soluciones prácticas y duraderas a los problemas sociales, económicos y medioambientales que sus sociedades enfrentan. A través de subsidios, becas y premios, el IDRC da soporte a proyectos de investigación aplicada que se dirigen directamente hacia los problemas existentes o emergentes de los países en desarrollo. Mediante esta política de financiamiento se busca una reducción de la pobreza y la creación de un acceso equitativo a los recursos y servicios (CDRI, 2013).

El agua recolectada en las presas o reservorio es utilizada por tres grandes factores: la ganadería, la industria y la agricultura. De las tres actividades la ganadería es la más antigua y menos demandante. Se calcula que para mantener un rodeo de 100 animales hace falta 1,5 hectáreas de área de captación. La industria fue el segundo destino de agua que los colonos eligieron como prioritario. Entre las diversas ramas, se destaca el funcionamiento completo de un frigorífico que faena 750 cabezas por día, maximizando el uso del agua (CDRI, 2013).

En Centroamérica y el Caribe ACICAFOC (Miembro Focal del Observatorio a la Sostenibilidad, Red Latinoamérica), promueve la cosecha de agua de lluvia como una medida de adaptación al cambio climático siendo una alternativa viable de abastecimiento de agua potable especialmente dirigido a las poblaciones afectadas por uno de los efectos más severos del cambio climático como es la sequía, por lo que actualmente se encuentra trabajando en conjunto con la Asociación de Juntas Hondureñas de Agua (AHJASA) para capacitar a las poblaciones comunitarias vulnerables y en situación de riesgo, en la construcción sistemas de cosecha de agua de lluvia a través de cisternas de concretos con capacidad de almacenar 16,000 litros de agua, con lo que se puede abastecer a una familia de cinco integrantes durante los meses más severos de sequía para usos tales como cocinar alimentos, beber agua, lavarse manos, dientes y lavar platos (Rodríguez, 2012).

Se han implementado las cosechas de agua para enfrentar el nuevo ciclo que es el cambio climático el cual nos afecta a todos por la producción de alimentos. Hay algunos países que se están asociando para implementar nueva tecnología que suplan los escasos de agua para los lugares más vulnerable de riesgo en sequía también para poder abastecer a diferentes familias.

El Proyecto piloto de captación de aguas lluvias en la comunidad de Juancho, Honduras, se ejecutó en el periodo de agosto 2006 a febrero del 2007, para beneficiar a 23 familias y la escuela de la comunidad (Total 24 sistemas) (Rodríguez, 2012).

En el municipio de Santa Rosa del Peñón en el departamento de León, Nicaragua, ACICAFOC en coordinación con Centro Alexander Von Humboldt (Ambos miembros focales del Observatorio de la Sostenibilidad, Red Latinoamérica), ya han concluido exitosamente un proceso de generación de capacidades y organización comunitaria sobre

cosecha de agua de lluvia a través de cisternas con capacidad de almacenar 16,000 litros de agua, logrando capacitar a 11 líderes y 10 albañiles comunitarios en la construcción, mantenimiento y monitoreo de sistemas de cosecha de agua de lluvia a través de la metodología aprender haciendo por medio de la construcción de cuatro sistemas en escuelas de diferentes comunidades (La Pita, Buena Vista, El Charco y en la zona urbana del municipio), en donde todas las fuentes de agua están contaminadas con Arsénico producto de las actividades mineras y/o coliformes (Rodríguez, 2012).

El proyecto de las cosechas de agua en conjunto con la Asociación Nicaragüense de Arroceros, en las zonas de Jalapa y Somoto. El proyecto se encuentra en su tercer y último año de ejecución y a la fecha han finalizado la construcción de 79 presas pilotos y se encuentran 4 presas en construcción en el año 2008. Ahora el objetivo de la tecnología utilizada en la construcción de las presas es la transformación de la agricultura de secano de riego a través de cosechas de agua.

Los productores de arroz de las zonas de Jalapa y Somoto han venido trabajando en el desarrollo de sistemas de cosecha de agua, para el año 2008 se construyeron once presas pilotos, lo cual destaca un logro muy significativo en la población involucrada, principalmente en la agricultura de riego a través de cosechas de agua. Estas zonas son las primeras beneficiadas con la tecnología de obras de construcción de cosechas de agua con la que obtuvieron buenos resultados los agricultores, aumentando los rendimientos de producción y mejorando sus ingresos económicos. Porque con ella se puede cultivar todo el año y no esperarse hasta que caigan las primeras lluvias de invierno (Carrasco, 2009).

2.2 Marco teórico

2.2.1 Cambio climático

2.2.1.1 Definición

El cambio climático es la variación global del clima de la Tierra. Esta variación se debe a causas naturales y a la acción del hombre y se produce sobre todos los parámetros climáticos: temperatura, precipitaciones, nubosidad, a muy diversas escalas de tiempo. El cambio climático es un reto global que no tiene fronteras y que para combatirlo requiere del trabajo coordinado por parte de todos los países (Acciona, 2016).

2.2.1.2 Impactos

Entre los impactos del cambio climático destacan, el derretimiento de la masa de hielo en los polos, que a su vez provoca el aumento del nivel del mar, lo que produce inundaciones y amenaza los litorales costeros –incluso pequeños estados insulares están en riesgo de desaparición. El cambio climático también aumenta la aparición de fenómenos meteorológicos más violentos, sequías, incendios, la muerte de especies animales y vegetales, los desbordamientos de ríos y lagos, la aparición de refugiados climáticos y la destrucción de los medios de subsistencia y de los recursos económicos, especialmente en países en desarrollo (Acciona, 2016).

2.2.1.3 Relación con la agricultura

Los impactos del cambio climático en la agricultura y el bienestar humano incluyen: los efectos biológicos en el rendimiento de los cultivos; las consecuencias del impacto sobre los resultados, incluyendo precios, producción y consumo; y los impactos sobre el consumo per cápita de calorías y la malnutrición infantil. Los efectos biofísicos del cambio climático sobre la agricultura inducen cambios en la producción y precios, que se manifiestan en el sistema económico a medida que los agricultores y otros participantes del mercado realizan ajustes de forma autónoma, modificando sus combinaciones de cultivos, uso de insumos, nivel de producción, demanda de alimentos, consumo de alimentos y comercio.

Los efectos del cambio climático en el sector productivo agrícola, tienen una relación directa con la seguridad alimentaria. La disminución de las precipitaciones y el incremento de la temperatura promedio provocan sequías de desigual intensidad y duración, que tienen

un impacto directo sobre los bajos niveles de productividad y producción, principalmente de los granos básicos, generando incluso la pérdida total de las cosechas. Esto desmotiva al agricultor, lo que trae como consecuencia que cada día más tierras agrícolas sean utilizadas en otras actividades agroindustriales, y en la ampliación de los centros poblacionales o de infraestructura social (IFRI, 2009).

2.2.2 Manejo del agua en la agricultura familiar en Centroamérica

Según Gómez, Le Coq y Samper, el término “Agricultura Familiar” inicialmente se asoció en el discurso de las autoridades políticas –y en alguna medida todavía se asocia- con producción para el autoconsumo. En programas gubernamentales, la agricultura familiar se relacionó frecuentemente con la producción a muy pequeña escala, débilmente vinculada al mercado, con muy baja competitividad respecto de otras formas de producción o frente a importaciones en mercados desprotegidos y con perspectivas poco halagüeñas en términos de su viabilidad futura (IFRI, 2009).

Las organizaciones campesinas centroamericanas han incorporado a su agenda la agricultura familiar y un conjunto de reivindicaciones asociadas a ella, incluyendo su fortalecimiento para garantizar la seguridad alimentaria, la protección de la biodiversidad y las semillas criollas, así como la promoción de prácticas sostenibles. También, impulsan el fortalecimiento organizacional y el de las capacidades, la participación de las mujeres y el relevo generacional, así como el reconocimiento y rescate de la cultura campesina asociada a la agricultura familiar.

Los recursos clave para los medios de vida de las familias campesinas están siendo afectados por el cambio climático, expresado en la mayor propensión a eventos meteorológicos extremos, sequías e inundaciones, que afectan a las zonas geográficas, en cuyo perfil de medios de vida predominan las actividades vinculadas a la agricultura familiar. Entre las más afectadas se encuentran la producción de granos básicos, la de hortalizas y los productos de traspatio, en general.

El denominado Corredor Seco Centroamericano (CSCA), en la franja pacífica de la región, está más expuesto a la amenaza de la sequía, en tanto en que en la vertiente caribeña la amenaza principal son las inundaciones (Gómez, Le Coq, & Sampere, 2014).

De acuerdo a la organización de Las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, en el Corredor Seco se estima que habitan cerca de 10.5 millones de personas, de estas un 60% es población rural que vive en condiciones de pobreza, altos niveles de desnutrición, marginalidad social y depende de medios de vida muy deteriorados. De los 53 millones de hectáreas que tiene la superficie de Centroamérica, un 30% está ubicado en la franja considerada como Corredor Seco, en la cual solo un 7.5% se clasifica en zona con efectos de sequía severa, un 50.5% se encuentra clasificada en zona de sequía con efectos altos y un 42% de la superficie está ubicada en zona donde la sequía es de efectos bajos, debido a que son valles favorecidos por la precipitación o por terrenos de elevación.

Otros eventos climáticos que generan daños en Centroamérica, se asocian principalmente con el exceso de agua en un periodo corto, debido a las intensas precipitaciones que originan inundaciones y degradación de las fuentes de agua y de los suelos.

En un esfuerzo por mejorar esta situación, una buena parte de las inversiones que se realizan en función del uso de los recursos hídricos, son: en acciones o actividades para mejorar la capacidad de almacenamiento de los reservorios existentes (represas), en buscar opciones hídricas (pozos, reutilización, etc.) y en optimizar las condiciones de los sistemas de distribución del servicio de agua a la población. También son crecientes los esfuerzos que se hacen desde el sector agrícola para lograr un uso más eficiente del agua, por ejemplo, el riego por goteo para cultivos industriales como la caña de azúcar y la palma.

Los enfoques tradicionales sobre recursos hídricos se han limitado a ver el agua como un insumo más para la producción o un factor más dentro de la salud y la nutrición. De igual manera en el aspecto productivo el énfasis ha sido dirigido a opciones tecnológicas de riego con altas inversiones, infraestructura y equipos que no son accesibles a la mayoría de la población rural y que sólo contribuyen de forma indirecta a la seguridad alimentaria de la región centroamericana

2.2.2.1 Tecnologías de manejo de agua

En las zonas secas o con mayor irregularidad hídrica, son los pozos de captación de aguas de lluvia o reservorios los que más se usan, junto a la búsqueda o perforación de fuentes subterráneas. Los reservorios son excavaciones que se realizan en puntos en donde hay escorrentías de agua superficial o se aprovechan para la época de invierno, con el objetivo

de retener y almacenar el agua, para luego aprovecharla de múltiples maneras según (Laguna, 2013).

Protección de manantiales o fuentes de agua: Facilitan los procesos de protección y retención de las aguas en sus fuentes naturales, evitando pérdidas en escorrentía o daños en los suelos, subsuelos y propiedades en las zonas de cuencas.

Conservación de suelos y manejo integrado de cultivos para riego y humedad: Estas prácticas agrícolas de conservación se basan en lograr la menor alteración o labranza posible del suelo y en el mantenimiento de la cobertura de restos vegetales y de cosechas. La protección basada en la regeneración natural y en dejar parte de la vegetación existente permite una mejora de las condiciones ambientales y de la biodiversidad.

Con estas prácticas de manera general se logran los siguientes resultados:

1. Reducción de la erosión
2. Incremento en los niveles de materia orgánica
3. Incremento de la fertilidad natural y estructura del suelo
4. Mayor biodiversidad

2.2.2.2 Tecnologías de manejo de agua utilizadas en Centro América

En América Central se han probado diferentes técnicas de captación, pero sólo se mencionarán las más comunes o con replica local, que pueden construirse a través de la mano de obra familiar o comunal, que requieren pocos insumos externos o bajas inversiones y que ya se utilizan en el área rural o periurbana de la región. Una forma de conceptualizarla captación del agua es considerarla como “cosecha de agua”, que es la práctica orientada a capturar el agua de lluvia, a través de la construcción de obras adecuadas para su almacenamiento (Laguna, 2013).

Dentro de las tecnologías más efectivas y apropiadas en la región de Centroamérica se pueden destacar las siguientes:

- Riego mediante construcción de labranza en surco o zanja.

- Acequias de retención e infiltración de agua.
- El rastrojo como Mulch.
- Captación de agua con camellones de piedra siguiendo las curvas de nivel.
- Captación y retención de agua en terrazas amplias e individuales para árboles frutales o forestales.
- Reforestación o regeneración natural de recargas hídricas.
- El agro forestaría o arboles dentro de la parcela (ejemplo Quesungual) como fuente para brindar cobertura en el suelo.
- Uso de barreras vivas: vetiver y otras en cercas vivas.
- Uso de cultivos de cobertura como las leguminosas.
- Captación de agua por bacheo.

2.2.2.3 Tecnologías para la distribución de agua para fines agropecuarios

La característica principal de los sistemas de riego en América Central ha sido el desarrollo de obras de captación de agua en las partes altas de los ríos para conducirla hasta las partes bajas de topografía plana a través de canales sin revestimiento o tuberías. Cuando se usa agua de alta calidad física, química y biológica, se facilita la aplicación de riesgos presurizados y el cumplimiento de la normativa relativa a la inocuidad de los alimentos.

Las opciones tecnológicas sostenibles para el manejo del agua impulsadas en América Central han partido de las necesidades de pequeños y medianos productores con un énfasis en la producción agrícola familiar de alimentos y en algunos casos cultivos comerciales, que permitan a las familias rurales tener más oportunidades de un uso intensivo y extensivo de su tierra, de contribuir a su seguridad alimentaria e insertarse en cadenas agroalimentarias y mercados locales y nacionales.

En las últimas décadas se ha dado énfasis a los sistemas de riego o micro riego que han permitido apoyar los programas de seguridad alimentaria y de diversificación agropecuaria, los cuales han evidenciado el alto grado de apropiación de la mayoría de productores o productoras de sus sistemas y del agua que utilizan. El alto costo de la energía eléctrica y de los combustibles ha incidido en el cambio de los sistemas de riego que funcionan con

bombeo. La mayoría de los sistemas adoptados utilizan aguas superficiales y funcionan por gravedad (Laguna, 2013).

Los métodos de riego más utilizados se pueden agrupar en cuatro tipos:

- Gravedad o superficie
- Aspersión y micro aspersión
- Localizado o por goteo
- Sub irrigación.

2.2.2.4 Cosecha de agua de lluvia

La captación de agua o cosecha de agua lluvia no es una práctica moderna, ha sido usada desde tiempos antiguos. Los sistemas elaborados de cosecha de aguas lluvias, transporte y almacenamiento, han sido documentados desde la Edad del Bronce en la civilización minoica en Grecia (3500 aC); la civilización del Valle del Indo (3000-1500 aC); los mayas en Centroamérica (de 2000 aC) o posteriormente los Incas en Perú (desde 1200). En cada civilización, había sistemas sofisticados de cosecha de aguas lluvias que proporcionaban agua para palacios, ciudades y aldeas (Global Water Partnership Central America, 2016).

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), se entiende por captación y aprovechamiento del agua de lluvia todo tipo de esfuerzo técnico, simple o complejo, surgido de la iniciativa de los agricultores o desarrollado científicamente, para aumentar la cantidad de agua de lluvia que se almacena en el suelo o en estructuras construidas, de tal manera que pueda ser utilizada posteriormente, bajo condiciones de déficit de lluvias.

Cada tipo de superficie receptora de la lluvia presenta una capacidad de infiltración y de retención del agua (suelo bajo cubierta de vegetación o rastrojos, suelo desnudo, suelo profundo o delgado, terreno rocoso, techos de construcciones, caminos, patios impermeabilizados, etc.). Cualquier técnica utilizada para aumentar la cantidad de agua retenida puede ser considerada como de captación y aprovechamiento de agua de lluvia, independientemente del uso que se le otorgue (FAO, 2013).

Dentro de un enfoque de gestión integrada de los recursos hídricos y de manejo sostenible del suelo y del agua en el sector agrícola, todas las tecnologías para la captación y almacenamiento de agua tienen potencial positivo para contribuir a la adaptación al cambio climático, pues permiten almacenar el agua de la precipitación durante la temporada lluviosa para hacerla disponible en la producción agrícola durante la época seca (FAO, 2013).

2.2.2.5 Tipos de cosecha o captación de agua

2.2.2.5.1 Cosecha de agua por lagunas, reservorios o embalses

Las lagunas, reservorios o embalses son grandes depósitos formados artificialmente que se construyen cerrando la boca de un pequeño valle, micro cuenca, hondonada o vertiente, mediante una presa, o la construcción de un dique para detener el escurrimiento del agua, aprovechar el agua lluvia y crear el embalse. El agua almacenada se utiliza en un sistema de micro riego en los períodos críticos de sequías, en áreas pequeñas de cultivos, para orientarla hacia pilas para consumo animal y también en el consumo humano cuando se le da el tratamiento adecuado tal como cloración, hervido o filtrado (FAO, 2013).

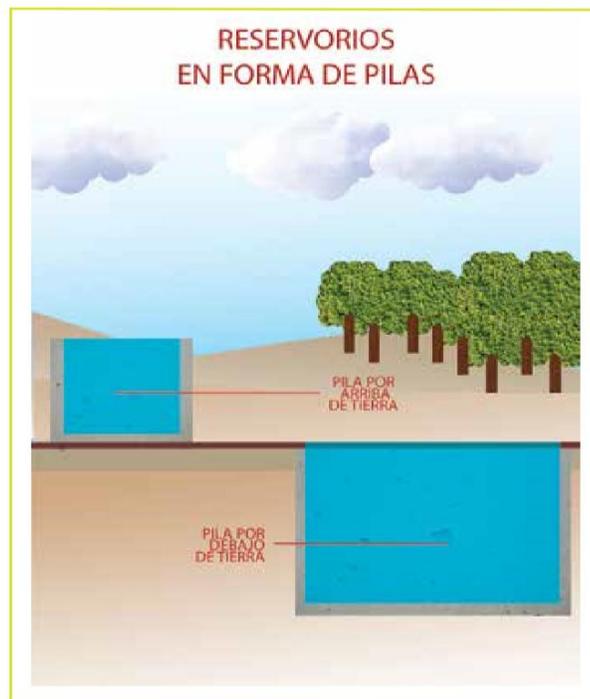


Figura 1. Captación de agua por reservorios(FAO,2013).

2.2.2.5.2 Cosecha de agua de lluvia dirigido a una pila

Practica consistente en la captación de agua de techo (Tejas, laminas o plástico) durante la precipitación haciendo uso de canaletas de plástico o zinc, los que están dirigidos a hacia un reservorio que puede ser barril, piletas o tanques (concreto o plástico) (MARENA, 2011).

Este es una técnica llevada a cabo mediante el uso de canaleta de plástico o zinc, los cuales acarrea el agua hacia una pila barril o tanque.

2.2.2.5.3 Cosecha de agua de techo dirigida hacia una cisterna

El agua se capta y se conduce hacia una cisterna la cual consiste en un dispositivo en forma de tinaja o de cilindro la cual se encuentra a bajo del nivel del suelo previo encontramos un filtro, por otra parte, cuenta con una bomba que permite la extracción del agua.

En este sistema el agua es almacenada en dispositivo con forma de tinaja o cilindro para su implementación se debe utilizar un sistema de canaleta las cuales pueden ser de diferentes materiales tales como metal bambú o tubería PVC, siendo las más resistentes las canaletas de metal.

Las canaletas de metal son las que más duran y menos mantenimiento necesita, sin embargo, son costosas. Las canaletas confeccionadas a base de bambú y madera son fáciles de construir, pero se deterioran rápidamente. Las canaletas de PVC son más fáciles de obtener, durables y no son muy costosas (MARENA, 2011).

2.2.2.5.4 Cosecha de agua lluvia a través de techo

La tecnología consiste en la captura del agua que cae directamente sobre los techos de las casas u otras construcciones como escuelas o bodegas. El objetivo es captar el agua lluvia y pasarla a estructuras de almacenamiento y uso posterior para consumo humano o en pequeños huertos familiares o escolares. La cantidad de agua que se logre acumular dependerá de la precipitación anual de la zona y del área techada con que se cuente. Esta tecnología corresponde a soluciones del tipo unifamiliar o multifamiliar.

Esta tecnología se recomienda principalmente para aquellas zonas secas donde hay problemas de agua ya sea porque las precipitaciones son bajas (menores a 1,500 mm), o porque la distribución de las lluvias es muy irregular. Sin embargo, la tecnología se puede

usar en cualquier tipo de condiciones climáticas, teniéndose algunas consideraciones con la textura del suelo si se va a utilizar cisterna como medio de almacenamiento del agua (La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2013).

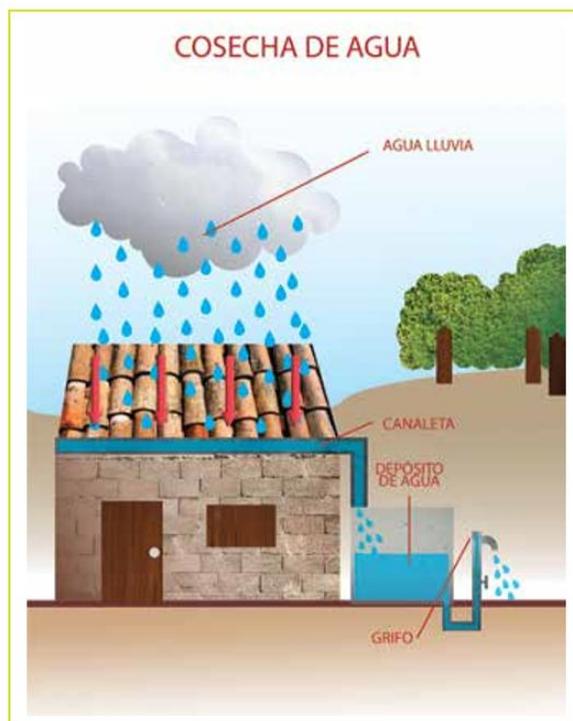


Figura 2. Captación de agua de lluvia a través de techo (FAO, 2013).

2.2.2.5.5 Cosecha de aguas de lluvia con bolsa de geo membrana

Para la captación se puede usar los techos de las casas y las escuelas, los cuales pueden ser de láminas de zinc o tejas. La cantidad de agua que se puede recolectar será en función del área de techo del que se disponga para la captación.

La bolsa está elaborada con una geo membrana de alta densidad de 1 mm de grosor, con protección UV para hacerla resistente a los rayos del sol. La bolsa cuenta con una bota de entrada y una de salida para extraer el agua, también tiene una válvula para purgar el aire dentro de la misma y así permitir que alcance su máxima capacidad. La capacidad de la bolsa se estima entre los 20,000 y 25,000 litros (Global Water Partership Central America, 2016).

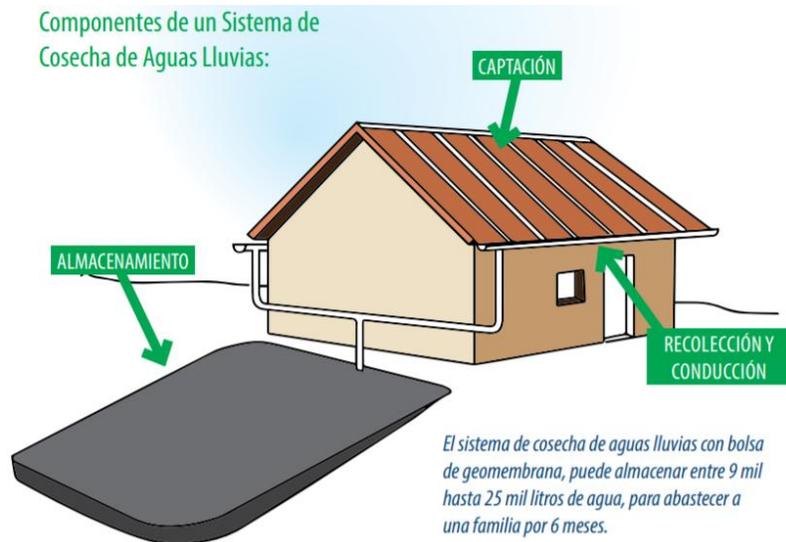


Figura 3. Sistema de captación de agua con bolsa de geo membrana (FAO, 2013)

2.2.2.6 Componentes del sistema de recolección de agua de lluvia

Un sistema básico está compuesto por los siguientes elementos:

- Captación.
- Recolección.
- Interceptor de primeras aguas.
- Almacenamiento.
- sistema de filtración rápida.
- Red de distribución de agua lluvia (sistema de bombeo).



Figura 4. Sistema típico de captación de agua lluvia en techos (Global Water Partership Central América, 2016)

2.2.2.6.1 Captación

Es la superficie destinada para la recolección del agua lluvia. La mayoría de los sistemas utilizan la captación en los techos, los cuales deben tener adecuada pendiente (no inferior al 5%) y superficie, que faciliten el escurrimiento del agua lluvia hacia el sistema de recolección.

Los materiales empleados para los techos pueden ser las tejas de arcilla, madera, paja, cemento, entre otros. Los techos de cemento y de teja son los más comunes debido a su durabilidad, el precio relativamente bajo y porque proveen agua de buena calidad; los que tienen compuestos de asfalto, amianto o los que están pintados se recomienda utilizarlos sólo cuando el agua captada no es para consumo humano, ya que pueden lixiviar materiales tóxicos en el agua lluvia (Abdulla y Al-Shareef).

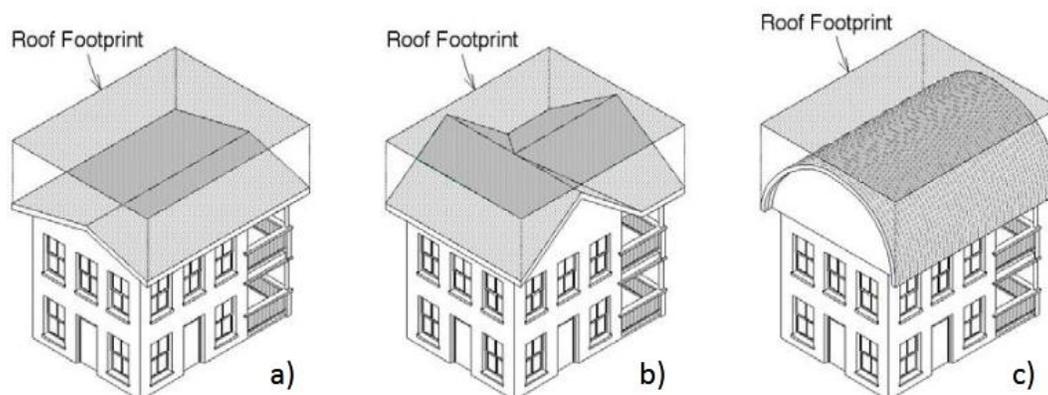


Figura 5. Áreas de captación para tres tipos diferentes de techo (Global Water Partnership Central América, 2016)

2.2.2.6.2 Recolección y Conducción

Es el conjunto de canaletas adosadas en los bordes más bajos del techo, con el objeto de recolectar el agua lluvia y de conducirla hasta el sitio deseado. Las canaletas se deben instalar con una pendiente no muy grande que permitan la conducción hasta los bajantes. El material de las canaletas debe ser liviano, resistente al agua y fácil de unir entre sí, a fin de reducir las fugas de agua. Para tal objetivo se pueden emplear materiales como el bambú, la madera, el metal o el PVC. Se recomienda que el ancho mínimo de la canaleta sea de 75mm y el máximo de 150mm.

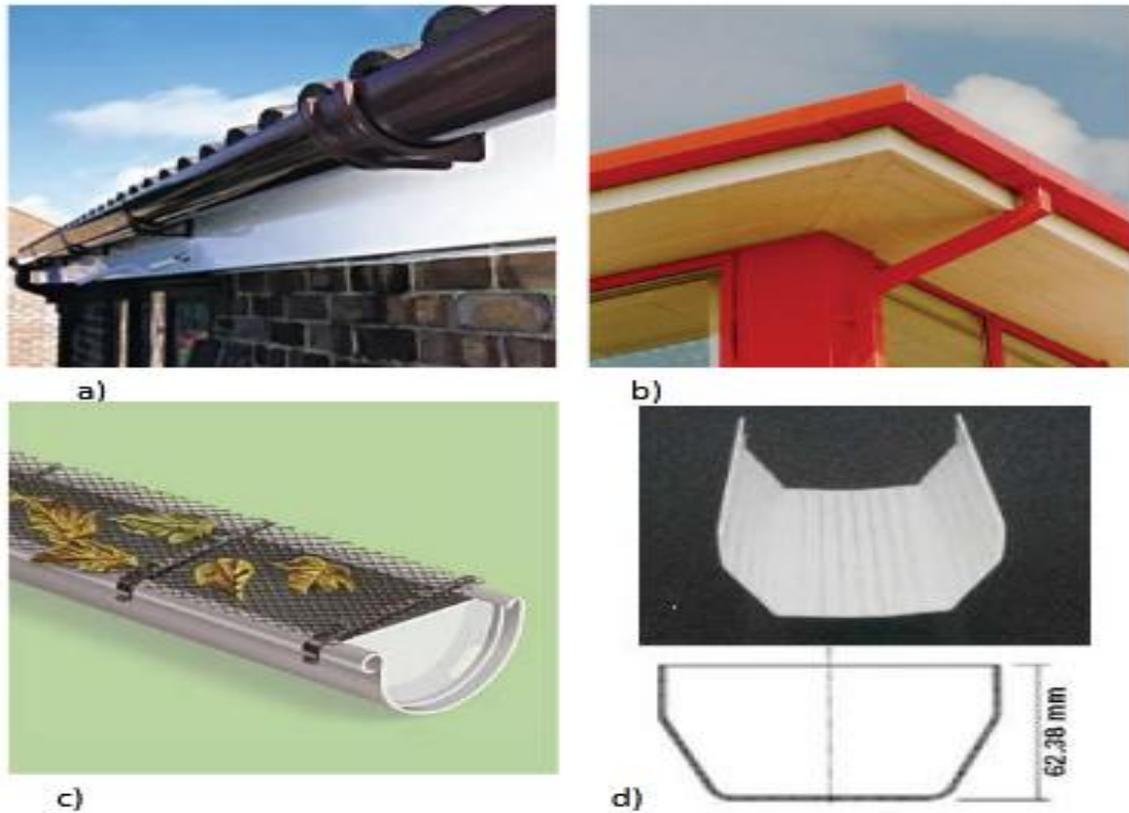


Figura 6. Tipos de canaletas para recolección de agua lluvia (Global Water Partership Central América, 2016)

Es el dispositivo dirigido a captar las primeras aguas lluvias correspondientes al lavado del área de captación, con el fin de evitar el almacenamiento de aguas con gran cantidad de impurezas. En el diseño del dispositivo se debe tener en cuenta el volumen de agua requerido para lavar el techo y que se estima en 1 litro por m^2 de techo.

Se debe tener en cuenta que el agua recolectada temporalmente por el interceptor, también puede utilizarse para el riego de plantas o jardines. El interceptor consta de un tanque, al cual entra el agua por medio de los bajantes unidos a las canaletas. El tanque interceptor debe contar con una válvula de flota torque permita su llenado, cuando éste alcance el nivel deseado, la válvula impedirá el paso del agua hacia el interceptor y la dirigirá hacia el tanque de almacenamiento. Adicionalmente debe tener una válvula de purga en la parte inferior del tanque para hacer el mantenimiento después de cada lluvia.



Figura 7. Tanque interceptor de primeras aguas.



Figura 8. Válvula flotadora para Tanque Interceptor.

2.2.2.6.3 Almacenamiento

Es el depósito destinado para la acumulación, conservación y abastecimiento del agua lluvia a los diferentes usos (Salud, 2004).

La unidad de almacenamiento debe ser duradera y debe cumplir con las especificaciones siguientes:

- Impermeable para evitar la pérdida de agua por goteo o transpiración
- De no más de 2m de altura para minimizar las sobrepresiones
- Con tapa para impedir el ingreso de polvo, insectos y de la luz solar
- Disponer de una escotilla con tapa lo suficientemente grande para que permita el ingreso de una persona para la limpieza y reparaciones necesarias
- La entrada y el rebose deben contar con mallas para evitar el ingreso de insectos y animales

- Dotado de dispositivos para el retiro de agua y el drenaje.

Los tipos de tanques de almacenamiento de agua lluvia a ser empleados pueden ser contruidos con los siguientes materiales:

- Mampostería para volúmenes menores (100 a 500 L).
- Ferro-cemento para cualquier volumen
- Concreto reforzado para cualquier volumen.



*Figura 9. Tanque de almacenamiento semienterrado en ferro-cemento
(Salud, 2004).*

2.2.3 Energía Solar

La energía es de vital importancia para el desarrollo rural en cualquier país. Con ella es posible llevar a cabo los trabajos que el hombre por sí solo es incapaz de hacer. Existen diversas fuentes de energía, entre ellas están los combustibles fósiles y las fuentes de energía renovable como el sol y el viento. La energía solar fotovoltaica (FV) se denomina renovable debido a que se trata de un recurso limpio, abundante e inagotable. Las aplicaciones más comunes que utilizan la tecnología de renovables en el sector rural son, iluminación, bombeo de agua para consumo humano y para riego por goteo, cercos eléctricos, aireación de estanques y sistemas de secado de productos agrícolas (Miranda, y otros, 2009).

2.2.3.1 Radiación solar

La luz, no importa su origen (solar, foco incandescente o fluorescente) es el Espectro Visible resultado de radiaciones electromagnéticas de muy alta frecuencia. La parte visible de la luz solar está contenida dentro de un determinado grupo de frecuencias, al que se lo denomina espectro visible (Figura 10). La distinta tonalidad de blanco que se observa para la luz emitida por un foco incandescente, un tubo fluorescente o la luz solar obedece a que el espectro visible no es el mismo para esas tres fuentes luminosas. Como vemos, el espectro de la luz solar varía constantemente (Gasquet, 1997).

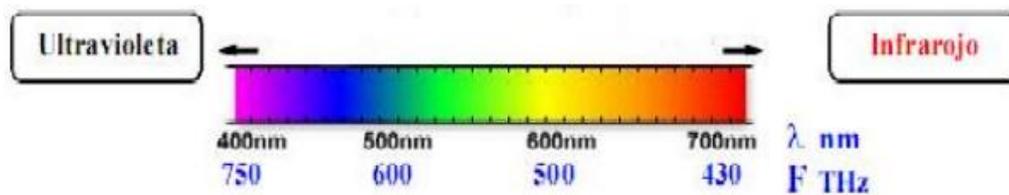


Figura 10. Longitud de onda y frecuencia (espectro visible)

(Gerardo, 2019)

La manera de presentar un espectro es usar un sistema cartesiano (dos ejes a 90°), donde el eje horizontal muestra las longitudes de onda que lo integran, y el del eje vertical la cantidad porcentual de la energía máxima que corresponde a una Espectro dada longitud de onda.

$$x = c / f$$

Donde c es una constante universal (la velocidad de propagación de la luz en el vacío). Esta expresión establece una relación inversa entre los valores de la longitud de onda y la frecuencia, ya que el valor de l se incrementa cuando el de la frecuencia disminuye y viceversa. Las frecuencias más altas en la Figura 10, corresponden al color violeta; las más bajas al rojo. El rango de frecuencias visibles corresponde al orden de los THz (Tera hertzios).

2.2.3.2 Irradiación

Es el valor de la potencia luminosa (energía/unidad de tiempo) que recibe una superficie de 1m² en un determinado instante. Cuando la masa de aire es de 1,5 la potencia de la

radiación solar es de 1 kW/m^2 (cielo claro). Este valor, conocido con el nombre de SOL (figura 11), es otro de los parámetros de medición que han sido estandarizados para evaluar la potencia de salida máxima de un panel. Recordando que $1 \text{ m}^2 = 10.000 \text{ cm}^2$, y que $1 \text{ kW} = 1.000 \text{ W}$, se tiene que: $1 \text{ SOL} = 1 \text{ kW/m}^2 = 100 \text{ mW/cm}^2$ (Mayorga, 2015).



Figura 11 Irradiación (Aguilera, 2012).

2.2.3.3 Insolación

La cantidad de energía solar (directa y reflejada) que se recibe durante la duración del día, en un punto determinado del planeta, sobre una superficie colectora horizontal de 1 m^2 , recibe el nombre de insolación. El término deriva de la palabra inglesa “insolation”, la que, a su vez, representa un acrónimo derivado de tres palabras del mismo idioma: incident solar radiation (radiación solar incidente) (Aguilera, 2012).

2.2.3.4 Unidades de medida

Se usan diferentes unidades para expresar el valor de la insolación de un lugar. La más conveniente para nuestra aplicación es el kilowatt-hora por metro cuadrado (kW h/m^2), o su valor equivalente en mili watt hora por centímetro cuadrado (mW h/cm^2). Si la energía del sol se utilizare para calentar agua, resultará más conveniente usar como unidad para el diseño las calorías por metro cuadrado (cal/m^2) o los BTU/f (British Termal Unit por pie cuadrado).

2.2.3.5 Valor promedio

La especificación de un panel FV nos da el valor máximo de potencia que éste puede generar, pero la duración de la luz solar varía día a día y momento a momento, dificultando el cálculo de la energía diaria (potencia por tiempo) que puede generarse. Este obstáculo puede solucionarse si la duración del día solar se reduce a un valor promedio fijo que contemple las variaciones en el valor de la insolación para esa locación y estación del año. Por definición, un valor promedio debe ser obtenido llevando a cabo mediciones en ese lugar durante un largo período de tiempo.

Esta última condición asegura que no habrá distorsiones cuando se midan variaciones estacionales de diez (10) años de des usuales para un determinado año. Un período mínimo mediciones diarias de la insolación es necesario para generar un valor confiable, que posteriormente puede ser actualizado cuando la acumulación de mediciones posteriores indique que el promedio anterior necesita una corrección. Dado que es imposible medir todos los puntos en la Tierra, existen programas que calculan el valor promedio para zonas ubicadas entre locaciones donde se realizaron medidas.

2.2.3.6 Día Solar

Representa el valor promedio de horas, del total de horas entre el amanecer y el anochecer, durante el cual un sol “equivalente” (con radiación (DS) constante de 1 SOL) es capaz de generar la misma cantidad de energía que el sol verdadero entrega, en promedio, en esa locación, para esa época del año. Como ejemplo, supongamos que en una locación el valor de insolación estacional promedio es de $5 \text{ kW h/m}^2 / \text{día}$. Desde el punto de vista energético (potencia por tiempo) podemos asumir un DS de 5 horas, con una irradiación constante de 1 kW/m^2 , ya que el producto $5 \text{ h/día} \times 1 \text{ kW/m}^2$ representa el mismo valor energético de insolación. La Figura 3, ilustra, en forma gráfica, el significado de esta equivalencia. La superficie del rectángulo representa la energía solar promedio medida (Aguilera, 2012).

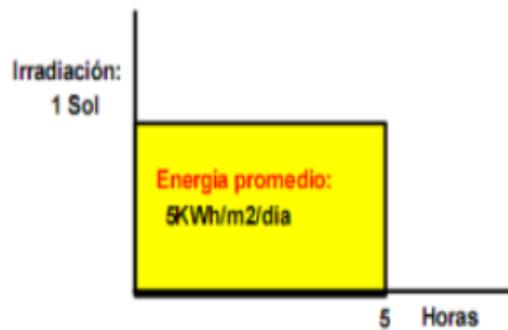


Figura 12. Día solar de 5 horas (Aguilera, 2012).

2.2.4 Sistema de bombeo solar fotovoltaico

Los sistemas de bombeo fotovoltaico de agua convierten la energía solar en energía eléctrica para alimentar una bomba de agua. La tecnología de bombeo de agua solar puede considerarse una alternativa prometedora a los sistemas de bombeo a base de electricidad de red, diésel o gasolina, ya que son rentables y respetuosos con el medio ambiente.

Los sistemas de bombeo solar permiten recolectar agua de una fuente (río, cuenca, pozo, etc.) incluso si no hay una fuente de energía presente en el sitio. A menudo utilizados para proporcionar agua potable, riego o para llenar depósitos, estos sistemas permiten el acceso al agua en las áreas más remotas (software, 2020).

Desiertos se convierten en campos, un sistema de bombeo de agua solar y agrícola. Los sistemas de bombeo solar se pueden usar para transformar tierras no utilizadas en granjas productivas o para mejorar los rendimientos de los cultivos existentes. Llevar el agua a lugares que no tienen ninguna infraestructura existente está mejorando la seguridad alimentaria y generando ingresos significativos para los agricultores y las comunidades de todo el mundo (Lorentz, 2020).

2.2.4.1 Gestión del agua

Las bombas de riego con energía solar podrían además causar la extracción insostenible del agua subterránea, ya que los agricultores pueden tratar de ampliar las áreas plantadas o cambiar a cultivos que requieren un uso más intensivo de agua.

Los modernos sistemas que utilizan la energía solar ofrecen herramientas útiles para mejorar la gobernanza del agua, con dispositivos de control electrónico capaces de ofrecer datos en tiempo real sobre niveles de tanques de almacenamiento, velocidad de bombeo y niveles de agua del pozo que permiten tomar decisiones sobre su regulación de forma remota para evitar un uso excesivo (Iagua, 2018).

2.2.4.2 Ventajas Principales de los sistemas de bombeo solar

- Los sistemas fotovoltaicos se pueden usar no sólo para riego sino también para suministrar agua potable, purificación de agua y desalinización. El acceso al agua potable es esencial y, en ciertas regiones de los países en desarrollo del mundo, no siempre tienen este privilegio. Además, muchas comunidades rurales no están conectadas a un sistema centralizado para el suministro de agua potable. En estos casos, la tecnología de bombeo de agua solar fotovoltaica podría ser una opción adecuada.
- Los sistemas de bombeo fotovoltaico tienen costos más bajos a largo plazo en comparación con los sistemas de bombeo a Diésel o Gasolina.
- Son sistemas fiables y requieren poco mantenimiento, ya que no requieren la presencia de un asistente durante las operaciones.
- No se necesita almacenamiento de energía ya que el agua se puede almacenar por sí sola.
- Los sistemas de bombeo de agua solar de alta modularidad pueden adaptarse a las eventuales necesidades de crecimiento.
- Respetuosa con el medio ambiente, la tecnología de bombeo de agua solar no causa contaminación del aire, el agua o el ruido.

2.2.4.3 Componentes de un sistema de bombeo solar

2.2.4.3.1 El panel fotovoltaico

Los módulos fotovoltaicos son los componentes básicos del subsistema de captación. El diseño del subsistema de captación de energía consiste en determinar las características de los módulos a utilizar, la cantidad y tipo de conexión de estos módulos para obtener la tensión nominal y la potencia a generar. La figura 13, muestra un conjunto de módulos

formando un panel solar. Debido a su fragilidad, las células FV son vulnerables a la acción de los elementos naturales (lluvias, granizo, nieve, vientos, polvo, alta humedad, etc.).

Esta característica, sumada a la necesidad de ofrecer un voltaje de salida práctico (superior al 0.5V), hacen necesario el uso de una estructura mecánica rígida y hermética que pueda contener un elevado número de células. El panel fotovoltaico cumple con ambos requisitos, facilitando además el transporte de las unidades, el conexionado externo, y el montaje de la unidad a un sostén (Miranda, y otros, 2009).

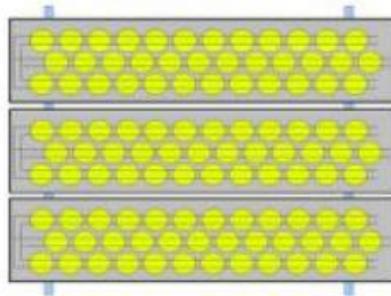


Figura 13. Panel solar compuesto por un conjunto de módulos solares (Aguilera, 2012).

2.2.4.3.2 El controlador de carga

Los controles electrónicos son equipos que mejoran el rendimiento de un sistema de bombeo solar, bien diseñado, del 10 al 15%. Los controles se usan con frecuencia en áreas con niveles de agua y/o condiciones atmosféricas fluctuantes. Los controles electrónicos consumen del 4 al 7% de la energía generada por el arreglo. Es común que las bombas FV se vendan junto con el controlador adecuado para operarlas eficientemente. Generalmente se usan controladores de potencia máxima (los cuales operan el arreglo cerca de su punto de potencia pico), y adaptan las características de la energía producida por el generador FV (DC a tensión y corriente variables) a las requeridas por el motor (Aguilera, 2012).

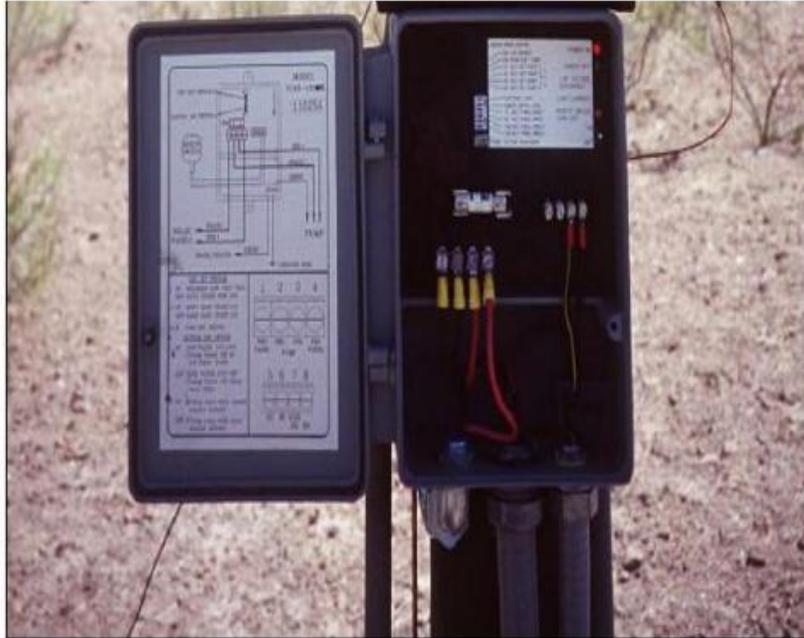


Figura 14. Controlador típico de un sistema fotovoltaico de bombeo (Aguilera, 2012).

2.2.4.3.3 Bombas

Las bombas comunes disponibles en el mercado han sido desarrolladas pensando en que hay una fuente de potencia constante. Por otro lado, la potencia que producen los módulos FV es directamente proporcional a la disponibilidad de la radiación solar. Es decir, a medida que el sol cambia su posición durante el día y al variar la disponibilidad de potencia también cambia la disponibilidad de potencia para la bomba. Por esta razón se han creado algunas bombas especiales para la electricidad fotovoltaica las cuales se dividen desde el punto de vista mecánico en centrífugas y volumétricas (Aguilera, 2012).

2.2.5 Dimensionado de un sistema solar fotovoltaico

Para hacer un correcto dimensionamiento de un sistema de bombeo solar fotovoltaico son necesarios los siguientes datos:

Dimensionamiento de la bomba. En el caso de que no se disponga de una bomba, esta debe ser dimensionada en base a las características del bombeo y a la necesidad de riego. Esto es: tipología del recurso acuífero (de pozo o de superficie), altura manométrica (calculada a partir de la profundidad del pozo, desnivel respecto al punto más alto del riego o depósito y

perdidas de la tubería), presión atmosférica de los goteros (en el caso de tenerlos), caudal de agua necesario y estacionalidad (necesidades de agua según los meses del año).

Dimensionamiento del variador. Una vez definida la bomba que vamos a usar (o si ya es existente) se necesita saber la potencia de la bomba (normalmente dada en CV), la tensión de trabajo (220V o 400V) y el amperaje máximo que puede dar en un momento dado.

Dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico. En base al número de horas de riego necesario por meses, se estima la potencia necesaria del sistema fotovoltaico que vaya a alimentar la bomba. Para hacernos una idea, la potencia fotovoltaica necesaria suele ser el doble de la potencia de la bomba. Por ejemplo, para una bomba de 7,5CV que equivale a 5,6 kW, necesitaríamos $5,6 \times 2 \rightarrow$ unos 11,2 kW en placas, lo que viene a ser unas 36 placas solares.

Finalmente, faltaría diseñar la estructura (normalmente de aluminio) sobre la que instalar los paneles solares, que puede ser: sobre cubierta en una edificación existente cercana al bombeo, sobre suelo en terreno plano al que fijamos con soportes de hormigón o sobre estructura elevada para aquellos lugares en los que se tema por el riesgo de robo (Quantum, 2018).

Cada vez con más frecuencia, explotaciones agrícolas y ganaderas de todo tipo están apostando por las bombas solares de riego como una alternativa limpia y eficiente frente al uso de generadores eléctricos basados en combustibles fósiles. Detrás de este cambio de mentalidad se encuentra, sin duda, la continua subida del precio de la electricidad convencional y una mayor concienciación de la necesidad de luchar contra el Cambio Climático, pero también un número de ventajas que hacen del bombeo solar un verdadero optimizador del trabajo en el campo (Alonso, 2019).

2.2.5.1 Información pluviométrica

Adicional a los componentes mencionados, para desarrollar el diseño se debe tener la información pluviométrica de la zona, la cual debe ser de mínimo diez (10) años consecutivos, para tener mayor confiabilidad en el diseño. Adicionalmente, para un mejor análisis de la información se debe tener presente si durante el periodo contemplado se presentaron los fenómenos de El Niño y La Niña, pues dichos fenómenos intervienen

directamente con la disponibilidad de agua lluvia, ya sea porque ésta se vuelva escasa o abundante (Vincetti, 2012).

2.2.5.2 Bases del diseño

Según la organización Panamericana de la Salud, antes de emprender el diseño de un sistema de captación de agua pluvial, es necesario tener en cuenta los aspectos siguientes (Salud, 2004):

- Precipitación en la zona. Se debe conocer los datos pluviométricos de por lo menos los últimos 10 años, e idealmente de los últimos 15 años.
- Tipo de material del que está o va a estar construida la superficie de captación.
- Número de personas beneficiadas.
- Demanda de agua.

2.2.5.3 Criterios de diseño

Este método conocido como: “Cálculo del Volumen del Tanque de Almacenamiento” toma como base de datos la precipitación de los últimos años. Mediante este cálculo se determina la cantidad de agua que es capaz de recolectarse por metro cuadrado de superficie de techo y a partir de ella se determina:

- a) el área de techo necesaria y la capacidad del tanque de almacenamiento.
- b) el volumen de agua y la capacidad del tanque de almacenamiento para una determinada área de techo.

Los datos complementarios para el diseño son:

- Número de usuarios.
- Coeficiente de escorrentía;
 - calamina metálica 0.9
 - tejas de arcilla 0.8 - 0.9
 - madera 0.8 - 0.9
 - paja 0.6 - 0.7
- Demanda de agua.

Los pasos a seguir para el diseño del sistema de captación de agua de lluvia son:

2.2.5.4 Determinación de la precipitación promedio mensual

A partir de los datos promedio mensuales de precipitación de los últimos años se obtiene el valor promedio mensual del total de años evaluados. Este valor puede ser expresado en mm/mes, litros/m² /mes, capaz de ser recolectado en la superficie horizontal del techo.

$$Pp_i = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} P_i}{n}$$

Ecuación 1. Precipitación promedio anual.

n: número de años evaluados

pi: valor de precipitación mensual del mes “i”, (mm)

Ppi: precipitación promedio mensual del mes “i” de todos los años evaluados. (mm / mes)

2.2.5.5 Determinación de la demanda

A partir de la dotación asumida por persona se calcula la cantidad de agua necesaria para atender las necesidades de la familia o familias a ser beneficiadas en cada uno de los meses.

$$D_i = \frac{Nu \times Nd \times Dot}{1000}$$

Ecuación 2. Demanda de agua

Nu: número de usuarios que se benefician del sistema.

Nd: número de días del mes analizado

Dot: dotación (L/persona x día)

Di: demanda mensual (m³)

2.2.5.6 Determinación del volumen del tanque de abastecimiento

Teniendo en cuenta los promedios mensuales de precipitaciones de todos los años evaluados, el material del techo y el coeficiente de escurrentía, se procede a determinar la cantidad de agua captada para diferentes áreas de techo y por mes.

$$A_i = \frac{Pp_i \times Ce \times Ac}{1000}$$

Ecuación 3. Oferta de agua en el mes

Pp_i: precipitación promedio mensual (litros/m²)

Ce: coeficiente de escorrentía

Ac: área de captación (m²)

A_i: Oferta de agua en el mes “i” (m³)

Teniendo como base los valores obtenidos en la determinación de la demanda mensual de agua y oferta mensual de agua de lluvia, se procede a calcular el acumulado de cada uno de ellos mes a mes encabezado por el mes de mayor precipitación u oferta de agua.

A continuación, se procede a calcular la diferencia de los valores acumulados de oferta y demanda de cada uno de los meses. Las áreas de techo que conduzcan a diferencias acumulativas negativas en alguno de los meses del año se descartan porque no son capaces de captar la cantidad de agua demandada por los interesados.

El área mínima de techo corresponde al análisis que proporciona una diferencia acumulativa próxima a cero (0) y el volumen de almacenamiento corresponde a la mayor diferencia acumulativa. Áreas de techo mayor al mínimo darán mayor seguridad para el abastecimiento de los interesados (Zunun, 2009).

El acumulado de la oferta y la demanda en el mes “i” podrá determinarse por:

$$Aa_i = Aa_{(i-1)} + \frac{Pp_i \times Ce \times Ac}{1000}$$

$$Da_i = Da_{(i-1)} + (Nu \times Nd_i \times Dd_i) / 1000$$

Ecuación 4. Oferta y demanda acumulada

Aa_i: oferta acumulada al mes “i”.

Dai: demanda acumulada al mes “i”.

$$V_i(\text{m}^3) = A_i(\text{m}^3) - D_i(\text{m}^3)$$

Ecuación 5. Volumen del tanque de almacenamiento

V_i : volumen del tanque de almacenamiento necesario para el mes “i”.

A_i : volumen de agua que se captó en el mes “i”.

D_i : volumen de agua demandada por los usuarios para el mes “i”.

2.2.5.7 Dimensionado de un sistema de bombeo solar fotovoltaico

Durante el dimensionado, básicamente deben considerarse los siguientes puntos:

- La aplicación que se pretende dar al agua extraída, por ejemplo, abrevaderos para ganado, irrigación, consumo humano, etc.
- Las características del bombeo en términos de distancia, volumen, profundidad de la extracción y altura de descarga del agua.
- La disponibilidad del recurso solar, es decir, qué tanta energía solar hay en la región geográfica.
- Caudal de bombeo.

2.2.5.8 Hidráulica del Sistema

Antes de determinar el tamaño de un sistema de bombeo de agua, es necesario entender los conceptos básicos que describen las condiciones hidráulicas de una obra. El tamaño del sistema está en relación directa con el producto de la Carga Dinámica Total (CDT) y el volumen de agua diario necesario. Para seleccionar el sistema adecuado hay que tener en cuenta el tipo de consumo que se va a realizar.

En segundo lugar, hay que discriminar la demanda en cuanto a su uniformidad en el tiempo.

- Consumo continuo o demanda diaria, como es el caso de abastecimiento de agua para casas de campo o chalets, en las que el consumo puede ser tanto por el día como por la noche, en invierno o en verano. En este caso es necesario determinar las necesidades diarias por persona y, en su caso, por cada animal que vaya a consumir agua del sistema y la capacidad del depósito de almacenamiento.

- Consumo estacional, como en el caso de los sistemas de riego, en los que las necesidades de agua son aproximadamente proporcionales a la intensidad de la radiación solar, y habitualmente localizadas en el verano. No es necesario el uso de baterías (et, 2001).

2.2.5.8.1 Requerimientos hidráulicos de la bomba

Adicionalmente se debe enfocar el dimensionado del sistema a través del tipo de bomba que se puede emplear. Esto está ligado directamente a la profundidad de bombeo y/o al caudal de bombeo. Cada fabricante de bombas oferta información acerca de los parámetros de sus bombas y sobre las condiciones en las cuales ellas pueden trabajar. Entre esos datos se encuentra el diagrama de trabajo de las bombas, donde se describe el o los tipos de bombas de acuerdo a la profundidad de bombeo y el caudal a ser bombeado.

Estos dos últimos parámetros sirven para determinar lo que se conoce como ciclo hidráulico, que no es más que el producto del volumen diario a ser extraído (caudal Q en $m^3/día$) por la profundidad de extracción (H_d en m) o llamada también carga o altura dinámica. Este ciclo hidráulico (CH en $m^4/día$) determina la capacidad combinada de extracción de una cantidad de agua a una profundidad dada.

2.2.5.8.2 Tipos de bombas centrífugas

La Tabla 1, muestra los diferentes tipos de bombas, así como las características, ventajas y desventajas de cada una.

Tabla 1 Tipos de bombas y sus características (Sistema de bombeo solar, 2017).

Bombas Fotovoltaicas	Características y Ventajas	Desventajas
Centrífugas sumergibles	Comúnmente disponibles. Pueden tolerar pequeñas cantidades de arena. Pueden utilizar el agua como lubricante. Cuentan con motores de CC de velocidad variable o CA. Manejan altos flujos. Operan a cargas dinámicas grandes. Tienen un	Tienen un rango de eficiencia estrecho con respecto a la CDT. Se dañan si trabajan en seco. Deben extraerse para darles mantenimiento. Sufren desgaste acelerado cuando se instalan en

	diseño modular que permite obtener más agua al agregar los módulos fotovoltaicos.	fuentes corrosivas.
Centrífugas de succión superficial	Comúnmente disponibles. Pueden tolerar pequeñas cantidades de arena. Son de fácil operación y mantenimiento por ser superficiales. Cuentan con motores de CC de velocidad variable o CA. Manejan altos flujos. Manejan cargas dinámicas altas, aunque no son capaces de succionar más de 8 metros.	Tienen un rango de eficiencia estrecho con respecto a la CDT. Sufren desgaste acelerado cuando se instalan en fuentes corrosivas. Pueden dañarse por el congelamiento en climas fríos.
Desplazamiento positivo de pistón	Soportan cargas dinámicas muy grandes. La producción puede variarse ajustando la carrera del pistón.	Requieren de reemplazo regular de sellos del pistón. No toleran arenas o sedimentos. La eficiencia se reduce a medida que el pistón pierde la capacidad de sellar el cilindro.

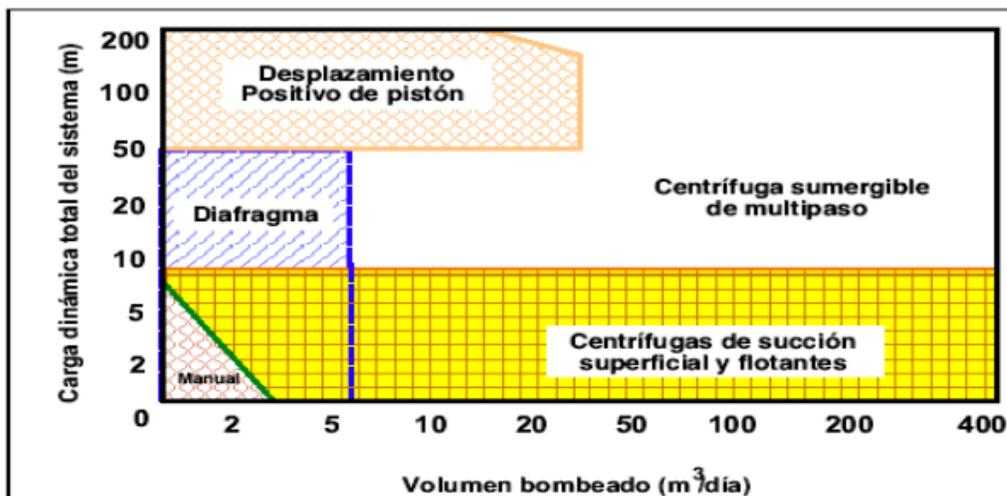


Figura 15. Intervalos comunes donde se aplica los diferentes tipos de bombas solares

(Aguilera, 2012).

2.2.5.8.3 Determinación de la altura hidráulica de bombeo

La altura hidráulica de bombeo es la presión efectiva que debe vencer la bomba. Para su correcta determinación es necesario tener en cuenta los siguientes conceptos que describen las condiciones hidráulicas de una obra.

El tamaño del sistema está en relación directa con el producto de la Carga Dinámica Total (CDT) y el Volumen de agua diario necesario. Este producto se conoce como ciclo hidráulico.

La carga dinámica total es la suma de la carga estática (CE) y la carga dinámica (CD):

$$CH = CDT \times Q$$

$$CDT = CE + CD = [\text{Nivel estático} + \text{altura de la descarga}] + [\text{abatimiento} + \text{fricción}]$$

Ecuación 6. Carga dinámica total

2.2.5.8.4 Carga estática

La carga estática, puede obtenerse con mediciones directas. Se trata de la distancia vertical que el agua se desplaza desde el nivel del espejo del agua antes del abatimiento del pozo hasta la altura en que se descarga el agua. La carga estática es entonces la suma del nivel estático y la altura de la descarga, (ec.7). La Figura 15 muestra estos componentes hidráulicos que conforman la carga estática.

$$CE = [\text{Nivel estático} + \text{altura de la descarga}] \quad \text{Ecuación 7. Carga estática}$$

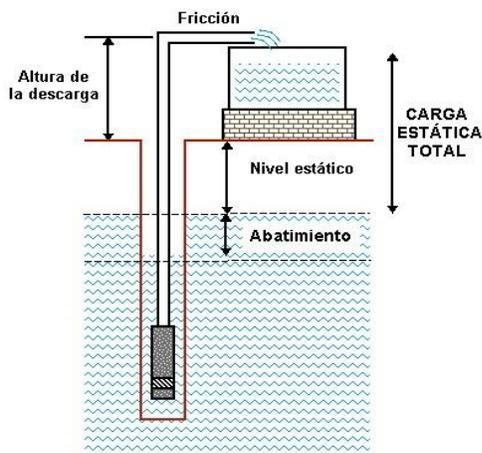


Figura 16. Componentes hidráulicos de un sistema de bombeo de agua

(Aguilera, 2012).

2.2.5.8.5 Carga dinámica (Fricción)

Todos los pozos experimentan el fenómeno de abatimiento cuando se bombea agua. Es la distancia que baja el nivel del agua debido a la constante extracción.

La carga dinámica, es el incremento en la presión causado por la resistencia al flujo al agua debido a la rugosidad de las tuberías y componentes como codos y válvulas. Esta rugosidad depende del material usado en la fabricación de las tuberías. Los tubos de acero producen una fricción diferente a la de los PVC de similar tamaño. Además, el diámetro de los tubos influye en la fricción. Mientras más estrechos, mayor resistencia producida.

Para calcular la carga dinámica, es necesario encontrar la distancia que recorre el agua desde el punto en que el agua entra a la bomba hasta el punto de descarga, incluyendo las distancias horizontales, así como el material de la línea de conducción y su diámetro. Con esta información se puede estimar la carga dinámica de varias maneras:

2.2.5.8.6 Valor por omisión

La carga dinámica es aproximadamente el 2% de la distancia de recorrido del agua o lo que es equivalente a la longitud total L de la tubería. Por lo general el resultado es una estimación conservadora si se asume que los sistemas de bombeo solar típicos tienen flujos de menos de 1 L/s y las bombas recomendadas se conectan a tuberías de diámetro amplio.

2.2.5.8.7 Tablas de fricción

Existen tablas publicadas por fabricantes que indican el porcentaje de pérdidas por fricción que debe considerarse en base al caudal, diámetro y material de las tuberías.

2.2.5.8.8 Fórmula de Manning

Este es un método matemático que se puede realizar fácilmente con una calculadora de bolsillo. La fórmula de Manning se expresa así:

$$H_f = \kappa \times L \times Q^2$$

Ecuación 8. Formula de Manning.

Dónde:

H_f es el incremento en la presión causada por la fricción y expresada en distancia lineal

(m).

K es una constante empírica con unidades de $(\text{m}^3/\text{s})^{-2}$.

L es la distancia total recorrida por el agua por las tuberías. Su unidad es metros (m).

Q es el flujo expresado en metros cúbicos por segundo (m^3/s) .

La constante k se obtuvo después de experimentar con varios materiales y tamaños de tuberías de ahí que se denomine “empírica”. La tabla proporciona estos valores en $(\text{m}^3/\text{s})^{-2}$ para tuberías de plástico PVC y acero galvanizado.

Tabla 2. Valores de la constante k utilizados en la fórmula de Manning

(Aguilera, 2012).

Material	Diámetro en pulgadas				
	0.5	0.75	1	1.5	2
PVC	9,544,491	1,261,034	291,815	31,282	7,236
Galvanizado	19,909,642	2,631,046	608,849	65,263	15,097

Toda vez que se quiera extraer agua, se debe entonces conocer la energía necesaria para esta operación. Se necesita conocer el tamaño de los generadores fotovoltaicos para lograr la operación. Para ello es necesario conocer la potencia hidráulica diaria necesaria para la instalación. La ec.9 expresa este valor:

$$P_{hyd} (W) = \rho \cdot g \cdot H_d \cdot Q$$

Ecuación 9. Potencia hidráulica

Aquí g es la aceleración de la gravedad, $9,81 \text{ m/s}^2$, ρ es la densidad del agua, $1,000 \text{ kg/m}^3$ y Q el caudal expresado en m^3/s .

2.2.5.9 Generador

El comportamiento eléctrico de un módulo fotovoltaico, es decir, su característica I-V, que es necesario conocer para la utilización de dicho módulo y el diseño de generadores fotovoltaicos, viene determinado por una serie de parámetros, obtenidos a partir de la información característica suministrada por el fabricante, habitualmente bajo unas condiciones estándares de medida, de uso universal, definidas en la tabla 3.

Tabla 3. Condiciones estándar de medida de módulos fotovoltaicos

Irradiancia	1000 W/m ²
Distribución espectral	AM 1,5
Incidencia	Normal
Temperatura de la célula	25°C

Para obtener la potencia del generador fotovoltaico (P_{pv}), se debe multiplicar el valor de la ec.5, por la cantidad de horas que se requiere bombear agua, y luego dividir por la cantidad de horas de sol promedio Δt_{sol} que se tiene por cada metro cuadrado por cada día en la localidad. Recordando, si la zona tiene una radiación solar promedio diaria de 5,1 kWh/m²día, esto significa que 1 m² de superficie recibe durante 5,1 horas un sol (1,000 W) de energía radiante diariamente. El resultado debe corregirse por los factores en la generación fotovoltaica (F) que es alrededor del 85% y por el rendimiento del subsistema de bombeo ($\eta_{sub} = 25\% \dots 40\%$). En la ec.10 se calcula la potencia fotovoltaica que se debe usar para la instalación.

$$P_{pv} (W_p) = \frac{P_{hid} (W) \cdot \Delta t_{bomb} (h)}{\Delta t_{sol} (h) \cdot F \cdot \eta_{sub}}$$

Ecuación 10. Potencia fotovoltaica

Para conocer Δt_{bomb} , se toman los datos del volumen demandado de agua y de la capacidad de la bomba (caudal de la bomba Q_{bomb}). El volumen demandado (V_x) no es más que la cantidad de agua diaria que se necesita extraer del pozo o cuerpo de agua. Entonces, para conocer la capacidad de la bomba, se divide este volumen entre el tiempo de bombeo requerido:

$$Q_{bomb} = V_x / \Delta t_{bomb}$$

Ecuación 11. Caudal de la bomba

Este resultado, expresado bien sea en L/h ò en m³/s debe aproximarse a la capacidad de alguna de las bombas que se ofertan en el mercado. Luego, de acuerdo al tipo de bomba y el tipo de motor, se diseña el resto del circuito eléctrico para la alimentación de la bomba.

Debe realizarse un balance económico de los costos y la calidad de los equipos. En este tipo de aplicaciones, se debe asegurar que la vida útil de los equipos y dispositivos sea uno de los parámetros de sostenibilidad.

Aunque por lo general, todos los fabricantes especifican la potencia eléctrica de la bomba, así como el diámetro de salida. Además, en la hoja técnica de la bomba se brindan especificaciones como la profundidad de bombeo, altura de descarga, caudal de trabajo, y si el sistema eléctrico del motor o la bomba es CC o CA y la tensión de trabajo y la corriente máxima de consumo. Algunas bombas CC permiten configuraciones de tensión desde 12 V hasta 60 V. La variedad es grande y las hay para todo tipo de aplicaciones.

Las ecuaciones anteriores permiten realizar los cálculos del sistema. Sin embargo, existe una ecuación obtenida de la información recopilada de muchos sistemas que tienen varios años de funcionar, y que es aceptada por muchos diseñadores / instaladores de sistemas de bombeo solar, la que resulta muy práctica para calcular la potencia del arreglo fotovoltaico, la ec.8, que fue dada a conocer por la agencia alemana GTZ (Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit):

$$P_{PV} (W) = 11.6 \frac{H_d (m) \cdot V_d (m^3 / día)}{G_d (kWh / m^2 \cdot día)}$$

Ecuación 12. Potencia del arreglo fotovoltaico

Aquí G_d es el valor medio de la radiación solar para el mes de diseño, H_d es la altura dinámica total de bombeo y V_d es el caudal de bombeo requerido, o sea Q .

2.2.5.10 Selección motor-bomba

Las bombas comunes disponibles en el mercado han sido desarrolladas pensando en que hay una fuente de potencia constante. Por otro lado, la potencia que producen los módulos FV es directamente proporcional a la disponibilidad de la radiación solar. Es decir, a medida que el sol cambia su posición durante el día, la potencia generada por los módulos varía y en consecuencia la potencia entregada a la bomba.

El motor debe ser capaz de soportar la potencia pico del generador fotovoltaico, por tanto, el valor de su potencia eléctrica de entrada debe ser al menos la potencia pico (P_p calculada en el apartado anterior) del generador foto-voltaico.

2.2.5.11 Tuberías

El diámetro de las tuberías ha de ser calculado de acuerdo con las pérdidas de carga o altura dinámica, especificadas cuando se obtiene la energía hidráulica necesaria y con la longitud real de tubería sumada a la "longitud equivalente" de los accesorios de la instalación. Para unas pérdidas admisibles y una longitud total L (incluidos los accesorios del circuito) el diámetro de las tuberías se puede estimar mediante tablas o gráficos que expresen las pérdidas de carga en función del caudal para cada diámetro de la tubería, teniendo en cuenta el tipo de material del que está construida.

Se recomienda que el diámetro de la tubería y accesorios sea superior a un valor tal que las pérdidas hidráulicas no superen el 10% de la altura hidráulica de bombeo, preferentemente un 2% (Miranda, 2009).

2.2.5.12 Consideraciones en el montaje e instalación

La mayoría de los fallos en las instalaciones de bombeo provienen del inversor, controlador o de la bomba. La realización de una instalación, operación y mantenimiento adecuados reducirán estos problemas (Gonzalez A. , 2010).

Algunas consideraciones importantes a la hora de realizar una instalación de bombeo fotovoltaico son:

- 1) Verificación del pozo de agua (capacidad de producción). Obra civil: cimientos, tuberías y depósito de almacenamiento.
- 2) Montaje de los componentes mecánicos y eléctricos del sistema o Verificación de la operación del sistema.
- 3) Si las variaciones del nivel del agua hacen que la bomba pueda trabajar en vacío es necesario tomar precauciones como la instalación de sondas de nivel en el pozo. También es necesario instalar una sonda de nivel en el depósito para evitar el desperdicio del agua.

- 4) Proteger la entrada de la bomba de la posible entrada de suciedad o arena mediante filtros adecuados en cada caso. Tener en cuenta las posibles pérdidas de carga de estos filtros.
- 5) Evitar tuberías muy largas. Las pérdidas de carga pueden aumentar considerablemente la altura total de bombeo y por tanto el tamaño del generador FV.
- 6) Utilizar tuberías de acero inoxidable o de PVC adecuadas para resistir una operación de al menos la vida útil del generador (>20 años) de diámetros adecuados para minimizar las pérdidas de carga. Evitar la formación de pares galvánicos que puedan corroer partes del sistema.
- 7) Se debe utilizar un cableado que minimice las caídas de tensión, especialmente en los de baja tensión donde unas pequeñas caídas pueden ocasionar pérdidas significativas. Los cables utilizados deben ser adecuados, resistentes al sol, sumergibles, etc... El cable para la sujeción de la bomba debe ser aislado para evitar fenómenos de corrosión por formación de pares galvánicos.
- 8) Mantener las medidas de seguridad adecuadas: puesta a tierra de los conductores, la estructura del generador y los equipos, montar los interruptores necesarios (entre el generador y el inversor), colocar fusibles o interruptores en los conductores no puestos a tierra y utilizar cables con secciones adecuadas.
- 9) Verificar las conexiones eléctricas que se realizarán en cajas adecuadas que permitan su inspección y revisión.

2.2.5.13 Mantenimiento

Los sistemas de bombeo FV requieren muy poco mantenimiento, aunque se ha de realizar un mantenimiento preventivo explicitado en el manual de operación y mantenimiento de la instalación. El sistema ha de arrancar y parar automáticamente en función de la demanda y la disponibilidad de radiación solar mediante las sondas de nivel en el pozo y en el depósito de acumulación. En general los sistemas FV de bombeo de agua bien diseñados y adecuadamente instalados son muy sencillos de operar y mantener.

El instalador del sistema debe proveer un Manual de Operación y Mantenimiento, estableciendo los principios de operación del sistema, el mantenimiento de rutina y los

requerimientos de servicio. En él también debe estar incluida información referente a seguridad y a los problemas que comúnmente se presentan en esta clase de instalaciones.

La manera más efectiva para maximizar los beneficios de los sistemas de bombeo de agua es llevando a cabo un mantenimiento preventivo. El programa de mantenimiento preventivo debe estar diseñado para maximizar el costo de vida útil del sistema. Por supuesto, cada tipo de sistema tiene diferentes requisitos de mantenimiento. Las condiciones específicas de operación impondrán requisitos adicionales (Gasquet, 1997).

Capítulo III

3.1 Diseño metodológico

3.1.1 Tipo de estudio

En cuanto al enfoque filosófico, por el uso de instrumentos de recolección de la información, análisis y vinculación de datos, el presente estudio se realizará mediante un enfoque cuantitativo, debido a que cada etapa precede a la siguiente y no se puede brincar o eludir pasos, tiene que ver con la cantidad, por tanto; su medio principal es la medición y el cálculo. En general, busca medir variables con referencias a magnitudes (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014).

De acuerdo al método de investigación el presente estudio es observacional, y según Hernández (2007) el nivel de profundidad del conocimiento es descriptivo debido a que consiste en describir fenómenos situación, contextos, eventos y detallar como son o se manifiestan (Hernandez, Fernandez, & Baptista, 2007).

De acuerdo, al tiempo de ocurrencia de los hechos y registro de la información, el estudio es retro-prospectivo (Pineda, de Alvarado, & de Canales, 1994), por el período y secuencia del estudio es transversal.

3.1.2 Área de estudio

Estelí es una ciudad situada en un lugar privilegiado por su clima, entre montañas, a 843,97 msnm, es una de las ciudades más frescas de Nicaragua por su clima templado del tipo monzónico de tierras altas, o subtropical seco pero bastante fresco, tiene una variación extremada de lluvia mensual por estación.

La temporada de lluvia dura 7,8 meses, del 8 de abril al 1 de diciembre, con un intervalo móvil de 31 días de lluvia de por lo menos 13 milímetros. La mayoría de la lluvia cae durante los 31 días centrados alrededor del 23 de septiembre, con una acumulación total promedio de 168 milímetros. La temporada más seca dura 6,5 meses, del 30 de octubre al 12 de mayo (spark, 2019).

La Estación Experimental El Limón de la UNAN-Managua, FAREM-Estelí se ubica en la comunidad “El Limón” está ubicado en la ciudad de Estelí, en la entrada sur carretera panamericana, del estadio Rufo Marín 600 metros al oeste.

3.1.3 Área de conocimiento

La presente investigación se inscribe a la línea N° 1. Tecnologías y eficiencia energéticas renovables, pertenecientes al Centro de Investigación de Energías Renovables (CIER) de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-MANAGUA), Facultad Regional multidisciplinaria (FAREM-ESTELI), y aprobados en sesión ordinaria N° 6-2019 el día 11 de julio de 2019.

3.1.4 Universo y muestra

El universo del estudio será la Estación Experimental “El limón”.

La investigación tomará como muestra los cuatro docentes investigadores de la Estación Experimental y el responsable del trabajo de campo.

3.1.5 Matriz de operaciones de variables (MOVIL)

Desarrollar una propuesta de sistema de captación para el aprovechamiento de agua de lluvia como alternativa al escasos de agua generada en época de verano.

Objetivos Específicos	Variable Conceptual	Sub variables o Dimensiones	Técnicas de Recolección de Datos e Información
<p>Identificar las diferentes formas de uso del agua de lluvia captada para satisfacer los requerimientos de la Estación Experimental El Limón en sus actividades productivas.</p>	<p>Fuente de abastecimiento</p> <p>Almacenamiento</p> <p>Consumo en actividades agrícolas</p>	<p>Agua potable por red</p> <p>Agua de lluvia</p> <p>Río, pozo, pipa</p> <p>Pilas, cubetas, cisterna, barril.</p> <p>Riego de cultivos por goteo, manual o bomba.</p> <p>Agua para animales</p>	<p>Entrevista</p>
<p>Elaborar un diagnóstico del estado actual del sistema de captación de agua de la Estación Experimental.</p>	<p>Diagnóstico del estado actual</p>	<p>Sistema de captación</p> <p>Sistema de distribución</p> <p>Sistema de distribución</p>	<p>Guía de observación</p>
<p>Proponer un sistema de captación,</p>	<p>Propuesta del</p>	<p>Captación de agua de lluvia</p>	<p>Hoja de cálculo para</p>

distribución y almacenamiento mediante bombeo solar fotovoltaico	sistema	Sistema de almacenamiento de agua de lluvia Sistema de bombeo Elección del sistema solar fotovoltaico Diseño del sistema.	diseños.
--	---------	---	----------

3.1.6 Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica utilizada en la recolección de datos fue la observación puesto que nos permite hacer un registro visual de lo que ocurre en una situación real, clasificando y consignando los acontecimientos pertinentes de acuerdo con algún esquema previsto y según el problema que se estudia.

Se utilizó una guía de observación como técnica de recogida de datos con la intención de obtener datos visibles del estado actual de la captación de agua y que complemente la información recogida mediante otros instrumentos. Para la elaboración de esta guía se organizó un eje para la recolecta de datos específicos que registre las condiciones físicas del sistema de captación, estado de los canales, tuberías y pila de captación.

En este proceso investigativo se utilizó la entrevista para recoger la diversidad de perspectivas, visiones y opiniones de los docentes investigadores de la estación. Al finalizar, el bloque de preguntas se sugirió a los entrevistados que aportaran las observaciones o comentarios que consideraban oportunos y que no se abordaron en la entrevista.

Para la realización del dimensionado se utilizó una plantilla en Excel que contiene todos los algoritmos de cálculo para elaborar un correcto dimensionado del sistema de bombeo solar.

3.1.7 Procedimiento para la recolección de datos e información.

El procedimiento utilizado para la recolección de los datos e información se presentan de acuerdo a cada uno de los objetivos planteados en esta investigación.

Formas de uso del agua de lluvia captada

El proceso de recolección mediante la entrevista se realizó de acuerdo a (Reyes, 2017):

- a) Preparación y elaboración de la entrevista
 - Se dieron las instrucciones y aclaraciones para situar al entrevistado en el tema que se abordó.
 - Las preguntas y el orden en que se hicieron se adecuaron a los participantes.
 - La transparencia en las preguntas y la utilización de un lenguaje comprensible.

Así mismo, la elaboración y aplicación de las entrevistas se realizó de la siguiente manera:

- Preparación de la entrevista: Teniendo en cuenta el amplio conocimiento previo sobre el tema, se decidieron los objetivos y el proceso a seguir, así como la forma de recoger y de analizar la información.
- Comienzo de la entrevista: Se explicó al entrevistado el objetivo de la entrevista, del proceso a seguir y del tiempo estimado.
- Cuerpo de la entrevista: Fase inicial, fase media de especificación de los tópicos a tratar y fase final de síntesis.
- Culminación de la entrevista: Se hicieron aclaraciones y agradecimientos.

- b) Condiciones de aplicación de las entrevistas

Las entrevistas se concertaron en función de la disponibilidad de los informantes, se pidió un espacio para la aplicación de entrevistas y de concertaron citas en los momentos pertinentes, para no interrumpir sus actividades.

Las sesiones duraron aproximadamente entre 20 a 30 minutos, estas fueron grabadas con celular como grabador de voz lo que permitió obtener la información más importante,

precisa y textual de los participantes. Cabe hacer la aclaración que, las entrevistas se hicieron a los docentes investigadores y al técnico de campo de la estación.

Todas las entrevistas se realizaron individualmente respetando la hora marcada por el entrevistado. Se les comentaba que no hubiera interrupciones y, en todas las sesiones, se les solicitó permiso para grabar la conversación, asegurándoles la confidencialidad de la información registrada.

Elaborar un diagnóstico del estado actual del sistema de captación de agua de la estación experimental

Se realizaron múltiples visitas a la estación experimental con el objetivo de indagar el estado actual de las estructuras de los sistemas de captación existentes y de los puntos potenciales de captación, de la mano del responsable de producción de la estación experimental el cual señaló puntos claves a tomar en cuenta para una futura propuesta de un sistema de captación y almacenamiento del agua de lluvia y permitió la familiarización con el entorno en el que se está trabajando.

El método observacional aplicado consiste en un registro visual de lo que ocurre en la estación experimental, clasificando y consignando los acontecimientos pertinentes de acuerdo a los objetivos. Es un método que permitió obtener datos tanto cuantitativos como cualitativos observando características y condiciones de los edificios del lugar.

Como una herramienta de apoyo se utilizaron fotografías, las cuales nos permitieron registrar imágenes del lugar y del punto de estudio.

Proponer un sistema de captación, distribución y almacenamiento mediante bombeo solar fotovoltaica

a) Captación de agua de lluvia

Para iniciar este paso se midieron las estructuras que había en el área como son los corrales, el área del kiosco – bodega, área de seguridad, edificio principal del recinto y la caseta de la bomba, las cuales se pueden aprovechar para instalar las canaletas.

Se analizó su estructura verificando el tipo de techo que estén en posición elevada e inclinada ya que facilita la captación y almacenamiento del agua, las canaletas colocadas en

la parte inferior del plano inclinado recogen la escorrentía del techo por una tubería, la conducirán hacia la estructura de almacenamiento, pasando por las respectivas cajas de registro las cuales facilitan el mantenimiento del sistema, de donde el agua es retirada para su utilización con fines agropecuario.

b) Sistema de almacenamiento de agua de lluvia

Una etapa importante del proyecto de captación de agua es la definición de la estructura de almacenamiento. En primer lugar, se procedió a solicitar los datos pluviométricos de la Estación Experimental de cuatro años (2014 al 2017), los cuales fueron analizados para conocer el promedio de precipitaciones en el lugar. Según el resultado del análisis se dimensiono la pila de almacenamiento. Con la ayuda del software (AUTOCAD), se delimito la ubicación de esta en el punto más bajo del terreno.

c) Sistema de bombeo

Para elección de la bomba se realizaron los cálculos requeridos tomando en cuenta datos de consumo diario en horas para riego y para la demanda de agua del lugar según el tipo de cultivo y el agua disponible en la pila de almacenamiento. Luego de seleccionar la bomba se eligió el tanque al cual será bombeada el agua para disposición de los riegos.

d) Elección del sistema solar fotovoltaico

Realizados los cálculos requeridos para elección de la bomba se procedió a hacer un dimensionado para determinar el número de paneles solares, su potencia y el tipo de conexión también se determinaron los demás componentes como lo son el inversor y el controlador que se necesitarán en la instalación.

e) Diseño del sistema

Se utilizó el programa GLOBAL MAPPER para obtener la topografía de la Estación Experimental con respecto a las coordenadas medidas lo cual permitió establecer el lugar más óptimo para la ubicación del sistema de almacenamiento y la red de distribución con respecto a las pendientes.

Por medio del software AUTOCAD se realizó el diseño de todo el sistema tomando en cuenta cada componente y las medidas respectivas, a continuación, se pasa el diseño a el programa SKETCHUP para tener una idea más clara de cómo funcionaría la propuesta.

Capítulo IV

4.1 Análisis y Discusión de resultados

4.1 Formas de uso del agua de lluvia

El análisis e interpretación de resultados se presenta de manera integrada considerando los resultados obtenidos de la aplicación de la técnica de entrevista y la observación in situ. El análisis que se desprende se presenta ordenadamente, según el objetivo que guio la presente investigación.

Las categorías abordadas en las conversaciones fueron:

Acceso a fuente de abastecimiento de agua

La estación cuenta con diversas fuentes de abastecimiento, un pozo perforado, tienen acceso al río Estelí y están conectados a la red de agua potable de la comunidad.

Al respecto, se puede apreciar en palabras de los entrevistados:

“Un pozo perforado, al río Estelí y agua potable de la comunidad”.

“Se cuenta con un pozo artesiano, río y agua potable de la comunidad”.

“Pozo con bombeo eléctrico, pila y agua potable de la comunidad”.

Fuentes de abastecimiento utilizadas en época de lluvia

En invierno principalmente aprovechan el agua de lluvia directamente a los cultivos, utilizan el agua de pozo para llenar los tanques para el mantenimiento del edificio principal y el agua potable de la comunidad para uso doméstico.

Al respecto, se puede apreciar en palabras de los entrevistados:

“Principalmente se utiliza la del pozo perforado y la del agua potable de la comunidad”.

“Se usa el pozo y la red comunitaria”.

“Río, agua potable y agua de lluvia”.

La principal fuente de abastecimiento en verano

En verano utilizan el agua de pozo tanto para el mantenimiento del edificio como para el riego de los cultivos, lo cual exige una mayor demanda y el agua de potable de la comunidad para uso doméstico. En verano no se siembra ya que no se puede regar con en la misma cantidad, solo se mantienen los cultivos perennes que ya están sembrados.

Al respecto, se puede apreciar en palabras de los entrevistados:

“Se utilizan prácticamente las mismas fuentes que en invierno”.

“Siempre el pozo y la red de agua potable, pero con mayor frecuencia y mayor demanda de agua. En verano no se siembra ya que no se puede regar con en la misma cantidad, solo se mantienen los cultivos perennes que ya están sembrados”.

“Agua potable de la comunidad, pozo”.

Sistema de captación de agua de lluvia existente

La estación experimental cuenta con un sistema de captación instalado en el edificio principal pero que actualmente se encuentra inhabilitado. Se cuenta con canales instalados en el techo, una red de tuberías y una caja de registro.

Al respecto, se puede apreciar en palabras de los entrevistados:

“Actualmente no se cuenta con sistema de captación, se cuenta con canales instalados en el techo pero que no están en funcionamiento”.

“No existe un sistema de captación”.

“Hay una instalación para captación de agua de lluvia, pero no está en funcionamiento porque el plástico de las membranas salió fallado y no se pudo utilizar. La capacidad de las membranas era muy baja y no soportó la cantidad de agua”.

Sistema de almacenamiento del agua

Cuentan con diferentes sistemas de almacenamiento a los que se bombea el agua del pozo como son un tanque zamorano, una pila en el lado sur de la estación y dos tanques rotoplas para abastecer los servicios básicos del edificio. Anteriormente gracias a una donación del MARENA se instaló un sistema de captación utilizando como almacenamiento dos geomembranas las cuales no funcionaron ya que no estaban en buen estado.

Al respecto, se puede apreciar en palabras de los entrevistados

“Cuentan con un Tanque Zamorano y una pila en el lado sur de la estación”.

“Un tanque zamorano, la pila y el pozo. Anteriormente gracias a la donación del MARENA se instaló un sistema de captación utilizando como almacenamiento dos membranas las cuales no funcionaron ya que no estaban en buen estado”.

“La pila que se llena con el pozo, hay dos tanques rotoplas para abastecer los servicios básicos del edificio (inodoro, lavamanos) los cuales son abastecidos con el pozo, el consumo humano es del agua potable de la comunidad”.

Utilidad del agua almacenada

El agua se utiliza para el consumo humano, para el consumo de ganado menor (cerdos, oveja y aves de corral), ganado mayor bovino y para riego de cultivo de granos básicos y forraje, usando riego por aspersión e inundación.

Al respecto, se puede apreciar en palabras de los entrevistados:

“Se utiliza para el consumo de ganado menor y mayor y actividades agrícolas, en las cuales se realiza el riego por aspersión”.

“Para el consumo humano, para el consumo de ganado menor (cerdos, oveja y aves de corral) y ganado mayor bovino. Para riego de cultivo de granos básicos y forraje, usando riego por aspersión e inundación”.

“Aguadero de los animales con el agua de pozo, para los cultivos el riego por aspersión”.

4.2 Elaborar un diagnóstico del estado actual del sistema de captación de agua de la estación experimental

Durante las visitas a la Estación Experimental “El Limón”, se logró identificar diferentes lugares como puntos potenciales para establecer una red de captación y así aprovechar el agua de lluvia para satisfacer los requerimientos de la Estación Experimental en sus actividades productivas, se sugiere que estos cinco puntos de captación sean explotados y así beneficiar a la estación y de la misma manera contribuir con el medio ambiente. El agua, es una de las necesidades básicas de los cultivos, como también es necesaria para sustentar el crecimiento.



Figura 17. Estructuras de los corrales

El corral cuenta con un canal que direcciona el agua de lluvia, pero esta no es almacenada por lo tanto es agua que se pierde sin darle un valor ocupacional.



Figura 18 Estado de tuberías

Como lo muestra la figura 18, la mayor parte del sistema de captación está en mal estado, en este caso las tuberías están incompletas y para poner en funcionamiento un sistema de captación se debe hacer un reemplazo de algunos de los componentes.



Figura 19 Estructura de las tuberías

Se puede observar una gran fracción de las tuberías que forman parte del sistema de captación existente pero que no está en funcionamiento, el agua que cae a través de los canales hacia la caja de registro se pierde debido a que no están conectados hacia un sistema de captación.



Figura 20. Estado de tuberías

Esta parte de la tubería viene del techo y se intercepta con las demás que van hacia una caja de registro, pero actualmente no existe conexión entre ellas.



Figura 21. Estado de las tuberías

Parte de los conductos en mal estado. Debido a que están instalados superficialmente lo cual causa que las tuberías se vean expuestas a cualquier daño y su vida útil se reduzca.



Figura 22. Drenaje de muro

Estas tuberías conocidas popularmente como llorones serían un medio más que se puede aprovechar para la captación de agua de lluvia o alguna otra actividad como para riego de plantas ornamentales en la parte de la caída, sin embargo, su aprovechamiento es nulo.



Figura 23. Caja de registro

Caja de registro destinada a la inspección y despejo de las tuberías de desagüe y facilitar la evacuación del agua captada. Ya que no se cuenta con una tapa de protección para la caja, queda expuesta y puede llegar a llenarse de basura u otro tipo de sedimentos.



Figura 24. Caseta de seguridad

El área de techado de la caseta de los guardas de seguridad no se tiene instalado sistema de captación de agua de lluvia, por lo cual considerando que el área de techado sería ideal para captar el agua que cae en época lluviosa.



Figura 25. Quiosco / bodega

Al igual que la caseta de seguridad, la bodega es un potencial punto de captación ya que cuenta con todos los requisitos para dicho aprovechamiento.

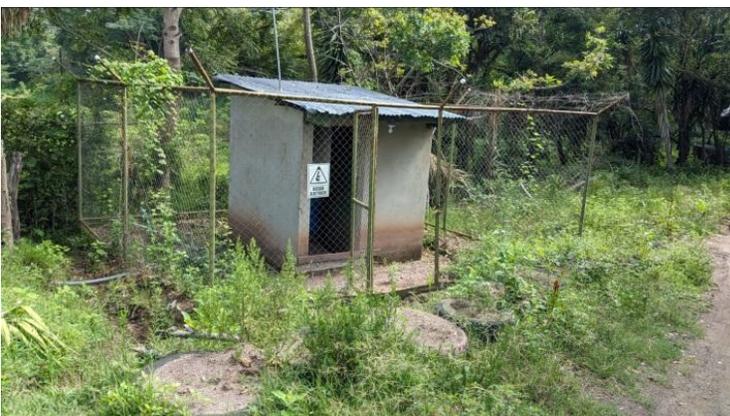


Figura 26. Caseta de la bomba

Donde se encuentra el pozo e instalada la bomba es otro punto de acceso para la cosecha de agua de lluvia.



Figura 27. Edificio principal

El edificio principal es el área de recolección de agua de lluvia con las dimensiones más grandes que se puede utilizar para una futura instalación de una red de captación del elemento de precipitación.

4.3 Proponer un sistema de captación, almacenamiento y distribución mediante bombeo solar fotovoltaica.

4.3.1 Precipitación

Los datos de precipitación fueron proporcionados por la estación experimental de FAREM Estelí “El Limón”, de los años 2014 – 2017.

Tabla 4. Promedio anual

mes	Años				Promedio mensual
	2014	2015	2016	2017	
enero	0.20	2.8	0.4	0.3	0.92
febrero	0.40	0.0	0.0	0.0	0.10
marzo	1.30	0.8	9.5	0.9	3.13
abril	6.20	47.2	48.4	34.2	34.00
mayo	13.70	8.3	71.8	187.0	70.20
junio	98.90	242.8	113.8	38.2	123.43
julio	42.90	33.0	56.1	0.0	33.00
agosto	165.90	0.2	166.3	84.8	104.31
septiembre	161.00	152.4	71.2	179.2	140.95
octubre	184.80	4.8	134.7	199.7	130.99
noviembre	3.10	3.1	22.7	1.2	7.52
diciembre	0.20	1.0	0.6	0.3	0.51
Total anual	678.60	496.32	695.49	725.79	2596.21
promedio anual					649.052522

A continuación, se presentan de los datos facilitados por la coordinación de la Estación sobre la precipitación en la estación experimental “El Limón” entre los años 2014 – 2017. El análisis se llevó a cabo de forma más clara, en una hoja de Excel donde se realizaron gráficas y posteriormente su respectivo análisis.

Valores de precipitación anual, el valor medio de la serie:

Precipitación anual 2014

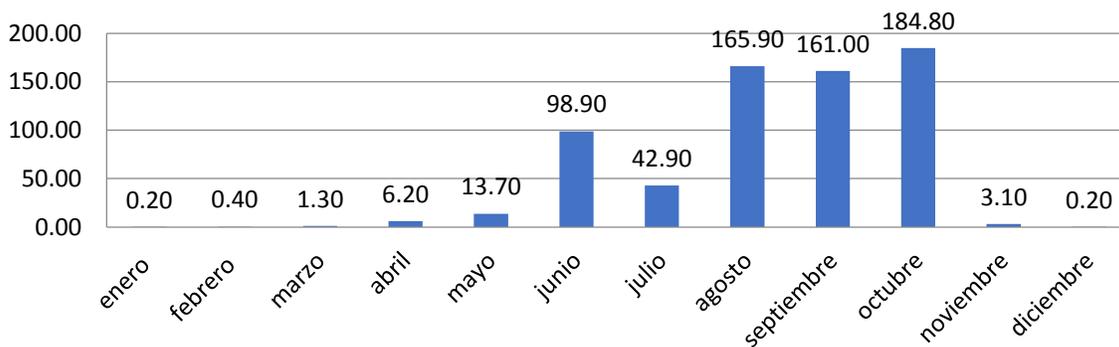


Figura 28. Datos de precipitación 2014

Se refleja datos de precipitación del 2014, según datos facilitados, se encontró que el mayor periodo de precipitación es en los meses de junio, agosto, septiembre y octubre contando julio y mayo con muy bajos de precipitación teniendo una media de precipitación de 678.60mm, fue un invierno corto y poco lluvioso.

Precipitación anual 2015

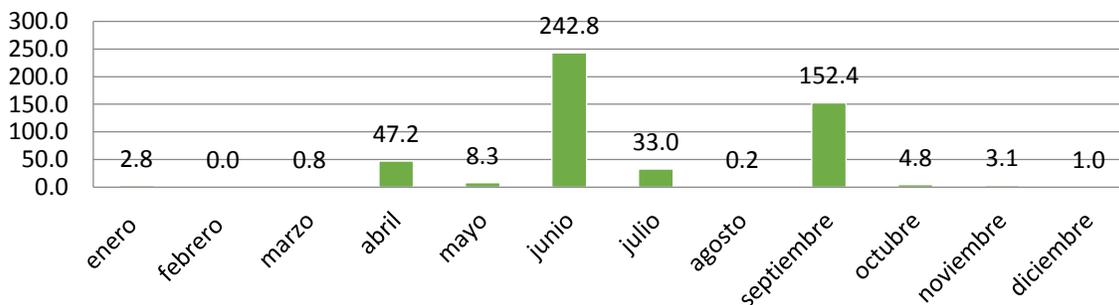


Figura 29. Datos de precipitación 2015

Se refleja datos de precipitación del 2015, se observa una disminución notoria con respecto al año 2014 se encontró que el mayor periodo de precipitación es en los meses de junio y septiembre en comparación con junio, mayo, julio y abril con niveles muy bajos de precipitación teniendo una media de precipitación de 496.32, siendo un invierno no uniforme.

Precipitación anual 2016

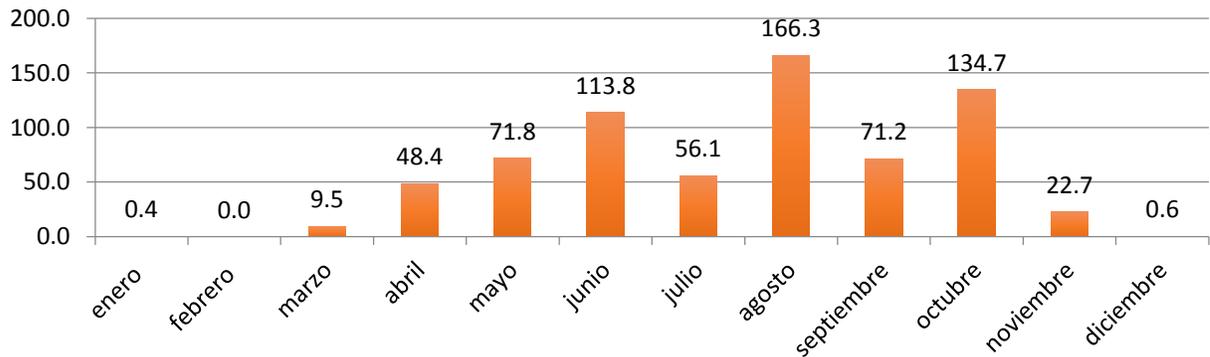


Figura 30. Datos de precipitación 2016

La gráfica refleja el promedio de precipitación del año 2016, se observa un incremento notorio con respecto al año 2015, que con un promedio anual de precipitaciones del 695.49, las precipitaciones fueron en más cantidad, pero más constantes en toda la temporada de invierno siendo este año de muy conveniente para captación de agua.

Precipitación anual 2017

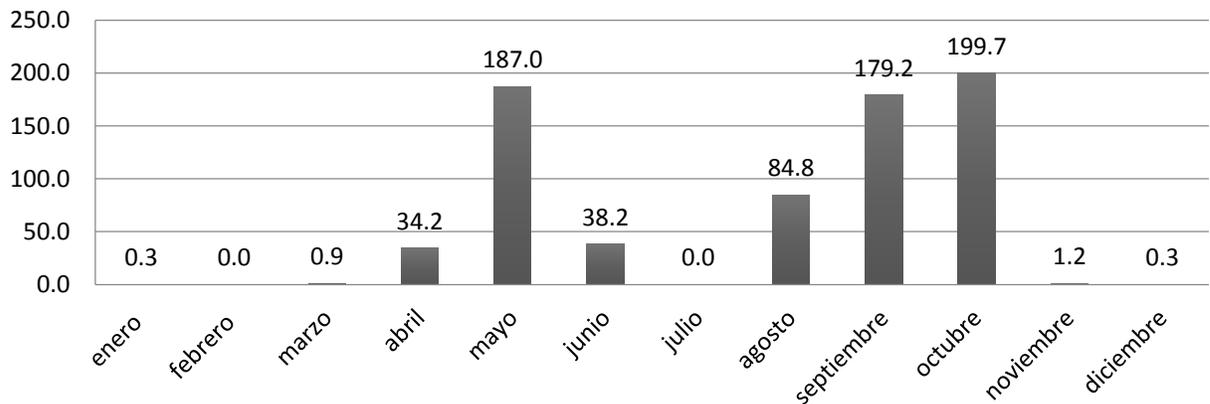


Figura 31. Datos de precipitación 2017

Se observa el promedio de precipitaciones anual 2017, en el cual se puede observar el mes de mayo, agosto, septiembre y octubre como los meses de precipitaciones más abundantes en comparación con abril y junio, dando un total de precipitaciones de 725.79, el mes de julio hubo cero precipitaciones con respecto a los años anteriores.

Precipitación mensual período 2014 - 2017

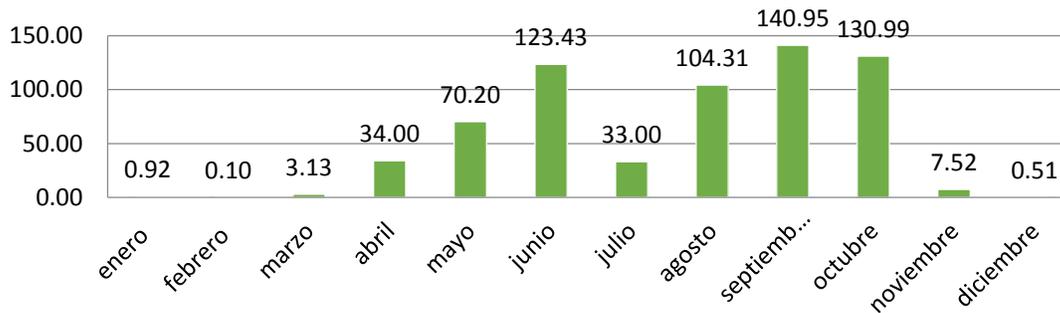


Figura 32. Datos de precipitación (2014-2017)

Como se observa en la gráfica en un lapso de cuatro años, los meses que normalmente hay mayor precipitación es en los meses de abril a octubre, lo que significa que es cuando más se puede aprovechar el agua de lluvia para ser captada y almacenada.

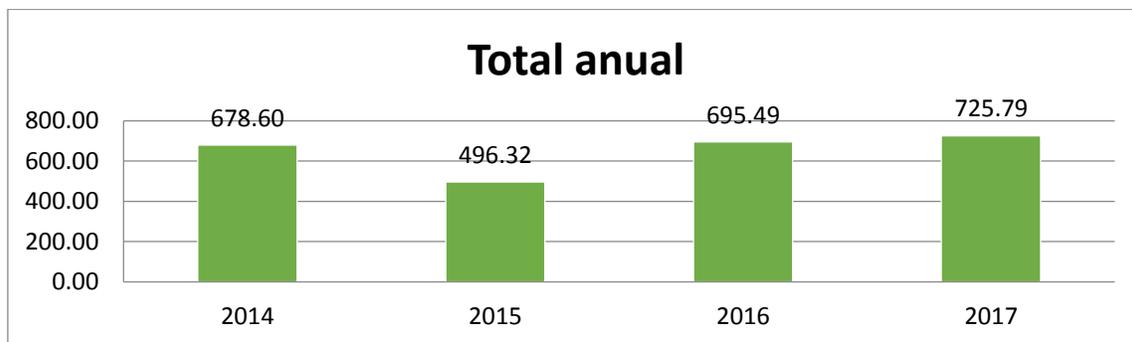


Figura 33. Total de precipitación anual

Los valores de precipitación total anual para la serie estudiada de 4 años varían entre un valor mínimo de 496,32 mm, para el año 2015 y un máximo para el período 2017 según datos, es de 725 mm, el análisis realizado se pueden obtener las consideraciones siguientes: Las series húmedas son de corta duración, y aparición delimitada en el tiempo, mientras que las secuencias climáticas secas son períodos más largos, dentro del cual puede decirse que los tres primeros años fueron años secos y 2017 un año más equilibrado.

4.3.2 Mediciones

Área de recolección del agua lluvia (edificios)

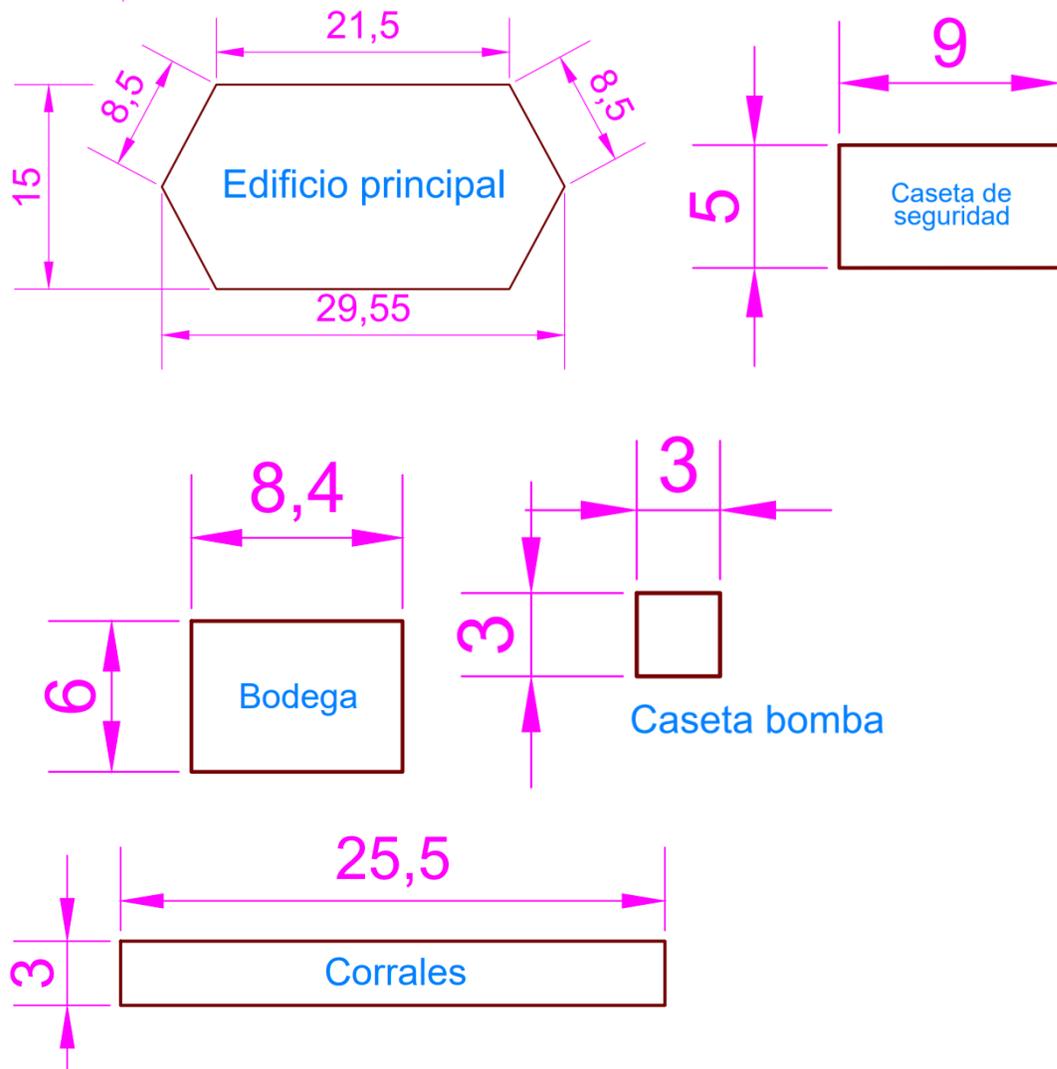


Figura 34. Medidas de las estructuras

El área de captación del agua lluvia la podemos obtener con la siguiente ecuación.

Área de captación

$$A1 = (L1 * h1 / 2) + (L2 * h2 / 2) + \dots + (L6 * h6 / 2)$$

$$A1 = 367.67 \text{m}^2$$

Ecuación 13. Área de captación hexágono

$$A2 = a * b$$

$$A2 = 8.4 * 6$$

$$A2 = 50.4 \text{ m}^2$$

Ecuación 14. Área cuadrado

Volumen captado m^3

Tabla 5. Precipitaciones

Mediciones (m)							
	Oeste	sur	sureste	este	noreste	norte	Área
Edificio principal	21.5	8.5	8.5	21.5	8.5	8.5	367.67
	largo	ancho	Área m2				
bodega / bar	8.4	6	50.4				
Caseta de seguridad	9	5	45				
Caseta bomba	3	3	9				
Gallinero	25.5	3	76.5				

Área total	548.57	m2
------------	--------	----

Se realizaron mediciones de los edificios antes mencionados obteniendo un área del edificio principal de 367.67 m^2 , la bodega/bar con un área de 50.4 m^2 , la caseta de seguridad de 45 m^2 , la caseta de la bomba 9 m^2 y los corrales de 76.5 m^2 . Para obtener un área total de 548.57 m^2 .



Figura 35. Área de cultivos

Tabla 5. Necesidad de agua de los cultivos estacionales

Cultivo	Necesidad de agua de los cultivos (mm/total período vegetativo)
Frijol	300 - 500
Cítricos	900 - 1200
Algodón	700 - 1300
Cacahuete (maní)	500 - 700
Maíz	500 - 800
Sorgo/mijo	450 - 650
Soya	450 - 700
Girasol	600 - 1000

4.3.3 Bases del diseño

A partir de los datos promedio mensuales de precipitación de los últimos años se obtiene el valor promedio mensual del total de años evaluados utilizando la ecuación 1. A partir de la dotación asumida por persona se calcula la cantidad de agua necesaria para atender las necesidades de la familia o familias a ser beneficiadas en cada uno de los meses con la ecuación 2.

Teniendo en cuenta los promedios mensuales de precipitaciones de todos los años evaluados, el material del techo y el coeficiente de escorrentía, se procede a determinar la cantidad de agua captada para diferentes áreas de techo y por mes (ecuación 3).

Teniendo como base los valores obtenidos en la determinación de la demanda mensual de agua y oferta mensual de agua de lluvia, se procede a calcular el acumulado de cada uno de ellos mes a mes encabezado por el mes de mayor precipitación u oferta de agua

$$Aa_i = Aa_{(i-1)} + \frac{Pp_i \times Ce \times Ac}{1000}$$

$$Da_i = Da_{(i-1)} + (Nu \times Nd_i \times Dd_i) / 1000$$

Ecuación 4. Oferta y demanda acumulada.

Tabla 6. Resultados de bases del diseño

Demanda por día	357.142857	2500				
Coeficiente de escorrentia	0.9					
Area total de captacion	548.57					
mes	Promedio de precipitación (mm)	Abastecimiento m3		Demanda m3		Diferencia (m3)
		Parcial	Acumulado	Parcial	Acumulado	
enero	0.92	0.46	0.46	10.71	32.13	-31.67
febrero	0.10	0.05	0.51	10.00	42.13	-41.62
marzo	3.13	1.54	2.05	11.07	53.20	-51.15
abril	34.00	16.79	18.83	0.00	53.20	-34.37
mayo	70.20	34.66	53.49	0.00	0.00	53.49
junio	123.43	60.94	114.43	0.00	0.00	114.43
julio	33.00	16.29	130.72	0.00	0.00	130.72
agosto	104.31	51.50	182.22	0.00	0.00	182.22
septiembre	140.95	69.59	251.81	0.00	0.00	251.81
octubre	130.99	64.67	316.48	0.00	0.00	316.48
noviembre	7.52	3.71	320.19	0.00	0.00	320.19
diciembre	0.51	0.25	320.45	11.07	11.07	309.37
Total anual	649.05	320.45			Max	320.19
					Min	-51.15

A continuación, se procede a calcular la diferencia de los valores acumulados de oferta y demanda de cada uno de los meses. Las áreas de techo que conduzcan a diferencias acumulativas negativas en alguno de los meses del año se descartan porque no son capaces de captar la cantidad de agua demandada por los interesados.

El área mínima de techo corresponde al análisis que proporciona una diferencia acumulativa próxima a cero (0) y el volumen de almacenamiento corresponde a la mayor

diferencia acumulativa. Áreas de techo mayor al mínimo darán mayor seguridad para el abastecimiento de los interesados.

Tabla 7. Diferencias acumulativas

Area de techo (m2)	Diferencias acumulativas (m3)	
	Máximo valor (Volumen de almacenamietno m3)	Minimo valor (volumen de reserva m3)
548.57	320.19	-51.15
	mayo-noviembre	abril

El volumen de almacenamiento neto para un área de 548.57m² de captación debe ser de 320.19m³, lo que se consigue con una pila de almacenamiento de 11m x 10m x 3m, obteniendo un total de 330m³.

4.3.4 Sistema de bombeo

4.3.4.1 Tanque para riego por gravedad

Tomando en cuenta el tipo de cultivo que se siembran en el lugar, se propone el siguiente tanque (Plastitank):

Plastitank CÓNICO

RESISTENCIA POR GENERACIONES

Beneficios

- Resina 100% virgen grado alimenticio
- Protección antibacterial
- Protección UV
- Mantiene el agua a temperatura ambiente
- Succión positiva y servicio por gravedad
- Diseño estructural para resistir 45 años
- Resistencia a más de 150 sustancias químicas
- Espera para llenado con tubería de 1/2" y conector para salida 1 1/2"



Especificaciones

Capacidad lts.	Díámetro m	Altura m	
450	0.85	0.99	2
750	0.97	1.25	4
1,100	1.12	1.37	5
2,500	1.60	1.60	10

Disponible en
tecnología



Tricapa



Bicapa

Accesorios



Tapa clip



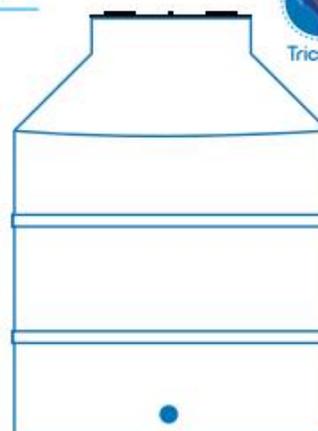
Multiconector



Filtro de nylon



Kit de varilla, boya y
válvula de polietileno



Cinturones que
garantizan la
fortaleza del tanque

Figura 36 Tanque Plastitank propuesto

(Plastitank).

4.3.4.2 Bomba

Determinación de la altura hidráulica de bombeo

Tabla 8. Datos para el bombeo

Descripción	Metros
Profundidad de la pila	3
Nivel estático	1
Altura de descarga	8
Carga estática total	11.5
Abatimiento	3.5
Carga dinámica total	45.9
Distancia pozo a tanque	35

- Cálculo de la carga dinámica total, aplicando la ecuación 6.

Carga dinámica CD = 2 % por omisión * L

$$0.02 * (2 \text{ m} + 8 \text{ m} + 35) = 0.02 * 45 = \mathbf{0.9m}$$

$$\text{CDT} = \text{CE} + \text{CD} = 45 \text{ m} + 0.9 \text{ m} = \mathbf{45.9m}$$

- Potencia hidráulica diaria necesaria para la instalación, según ec.9.

$$\text{Phyd (W)} = \rho * g * \text{Hd} * Q$$

La capacidad de bombeo

$$Q = 2500 \text{ L} / 3 \text{ h} = 833.3 \text{ L/h} = 0.23 \text{ L/s} \text{ o } 13.8 \text{ l/min}$$

Con esto, la bomba a seleccionarse deberá tener una capacidad próxima a 833.3 L/h o 13.8 l/min.

$$\text{Phyd} = 1,000 \text{ Kg/m}^3 * 9.81 \text{ m/s}^2 * 47.43 * 0.93 = \mathbf{107W}$$

El margen indicado para la potencia hidráulica sería del 40%.

$$\mathbf{107 * 40\% = 150W}$$



SQ 2-55

Bombas sumergibles

Advertir la foto puede diferir del actual producto

Condiciones de uso		Datos de la bomba		Datos del motor	
Caud:	0.967 m ³ /h	Maximum liquid temperature:	35 °C	Tensión nominal:	200-240 V
ALT:	63.63 m	Homologaciones de motor:	CE,UL,CUL	Frecuencia de red:	60 Hz
Eficiencia:	33.8 %	Código de producto:	96510199	Clase aislamien:	IP68
Líquido:	Agua			Clase de aislamiento:	F
Temperatura:	20 °C			Protección motor:	Y
NPSH requerido:	m			Protección térmica:	interior
Gravedad especif:	1.000			Tipo de motor:	MS3

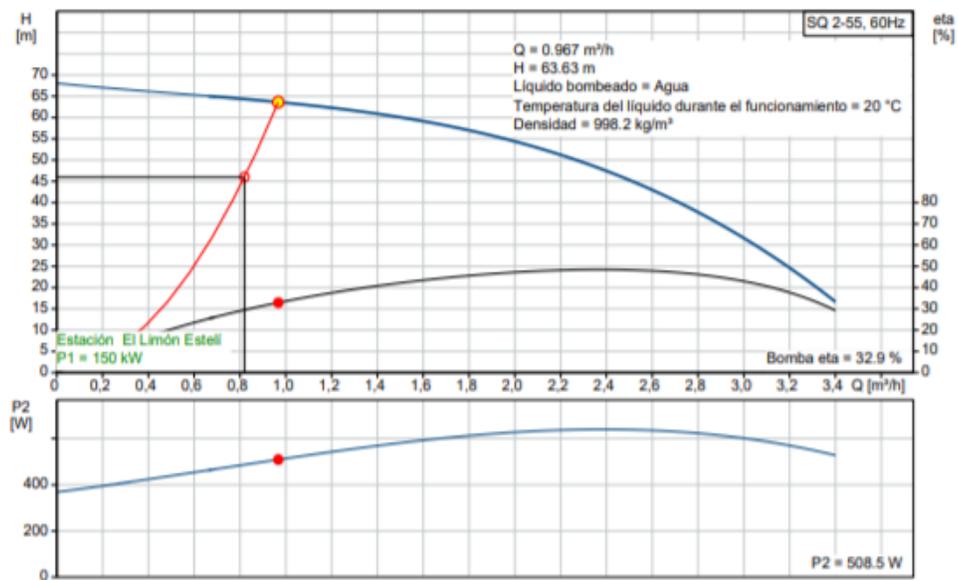


Figura 37 Bomba Grundfos

(GRUNDFOS, s.f.)

La energía requerida por el sistema es de:

$$E_{sis} = 150 \text{ W} \times 3.3\text{h} = 495 \text{ Wh}$$

Tomando en cuenta la radiación solar para el mes de noviembre, considerado el más crítico, se necesitará instalar una potencia fotovoltaica de

$$P_{pv} = 495 \text{ Wh}/4,58\text{h} = 108.07\text{W}.$$

Esto se lograría con un panel solar de **125 Wp**

Irradiación Solar: 4.58 KWm^2 para el mes más desfavorable (noviembre).

El tamaño del generador fotovoltaico será, ya corregido de

$$P_{pv} = 108.07 \text{ W} / (0,85 \times 0,25) = \mathbf{508.60 \text{ W}}$$

Dejando un margen del 30%

$$\mathbf{508.60 * 30\% = 660 \text{ W}}$$

Se proponen 4 paneles de 175 Wp, a una tensión de 24V, conectados en serie.

A continuación, se muestra información del panel propuesto.

Descripción general

Detalles rápidos

Lugar del origen:	Anhui, China	Marca:	Rosen
Número de Modelo:	RS170M-36	Talla:	1480*680*35mm
Tipo de:	Estándar del Panel Solar	Nombre del produc...	Mono Panel Solar de 170 vatios
Célula Solar:	5BB Mono156 * 156	Color:	Azul Ad negro
Caja de conexiones:	IP67	Cable:	4mm2
TPT hoja posterior:	Negro/Blanco bolsas	De vidrio:	Hierro templado de 3,2mm
Garantía:	25 años de garantía de potencia de salida	Certificado:	TUV/IEC61215/IEC61730/CEC/CE/PID/ISO
Dimensión:	1480*680*35mm		

Especificación Técnica de datos

Modelo	RSM160-36	RS165M-36	RS170M-36	RS175M-36	RS180M-36
Potencia máxima nominal en STC	160 W	165 W	170 W	175 W	180 W
Voltaje de circuito abierto (COV/V)	22,81	23,02	23,23	23,44	23,64
Voltaje de potencia máximo (V _{mp} /V)	18,52	18,93	19,35	19,76	20,18
Corriente de cortocircuito (I _{sc} /A)	9,28	9,41	9,47	9,51	9,59
Corriente de potencia máxima	8,64	8,71	8,79	8,85	8,92
Módulo de la eficacia	16.14%	16.64%	17.14%	17.65%	18.15%
Condición de prueba estándar (STC)	Irradiancia 1000 w/m2, temperatura celular 25 cm, masa de aire 1,5				



Figuran 38 Especificaciones del módulo solar fotovoltaico

(Solar, s.f.).

Se recomienda la instalación de placas solares mono cristalinas en climas fríos con tendencias a tormentas o niebla, ya que este tipo de placas solares tienden a absorber mejor la radiación y soportan menos el sobrecalentamiento.

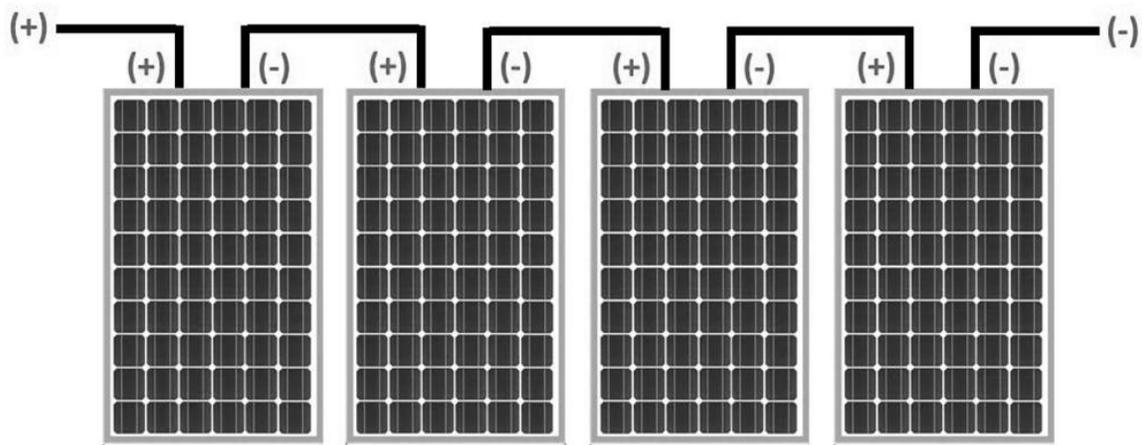


Figura 39 Conexión en serie de los módulos solares fotovoltaicos

(Prostar, 2020).

4.3.5 Diseño del sistema

El levantamiento topográfico es el punto de partida para poder realizar toda una serie de etapas básicas dentro de la identificación y señalamiento del terreno a edificar, por lo cual se realizó la medición de las coordenadas en distintos puntos del terreno.

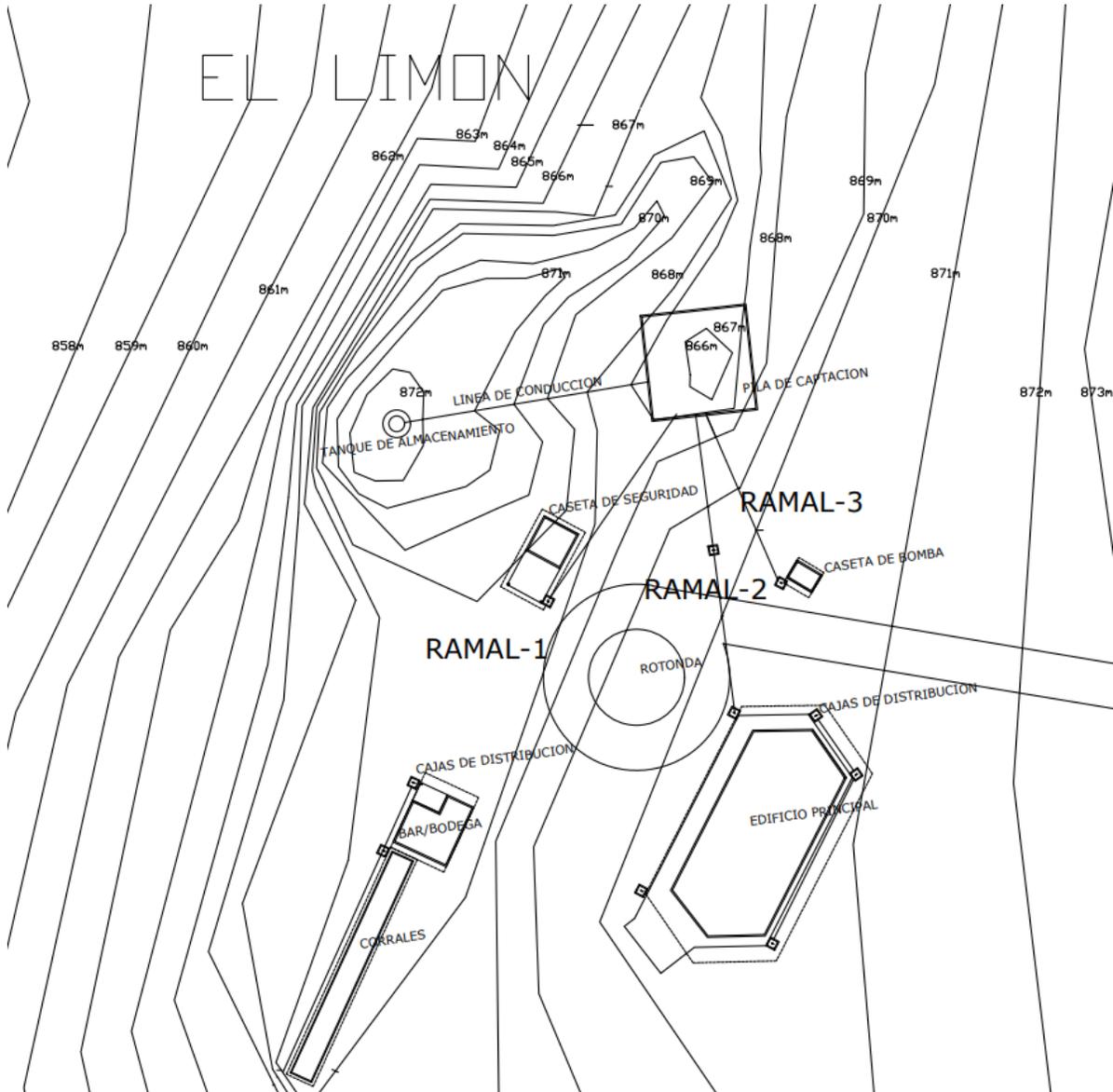


Figura 40. Topografía y diseño del sistema

Una vez se tiene una idea clara del terreno se procedió a diseñar el sistema de tuberías con la pendiente óptima establecida de 0.5% a 1% (Silja, s.f.). Se elige el sitio de menor altura para ubicar la pila de almacenamiento, esto es necesario para que la pendiente de la red de tuberías no presente inconvenientes, de igual manera, se propone la ubicación del tanque

para realizar el riego por gravedad y se diseña la estructura para los paneles solares fotovoltaicos.

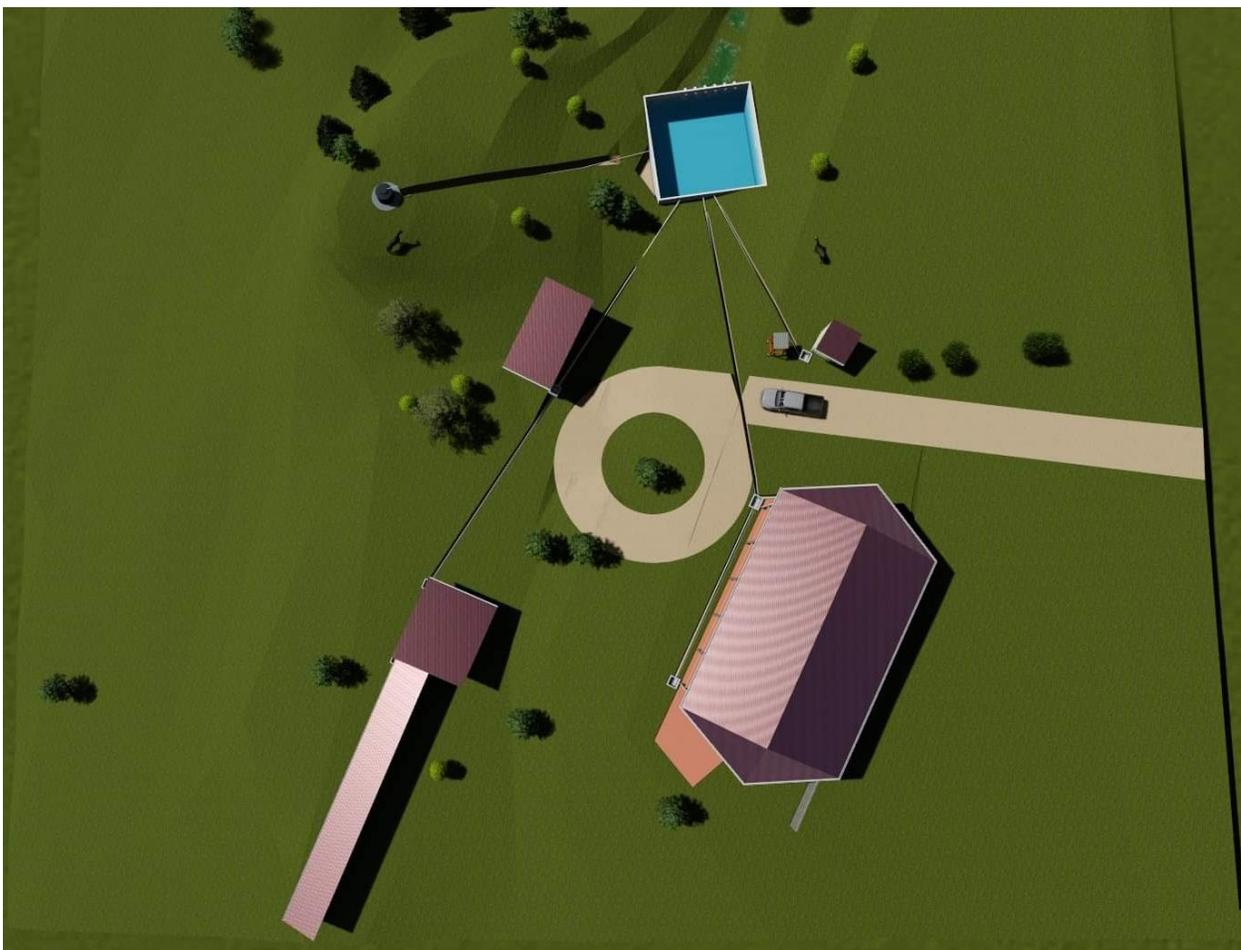


Figura 41. Vista de planta del sistema

Se nombra como RAMAL 1 a la tubería de conducción que va desde los corrales, la bodega y pasa por la caseta de seguridad hasta desembocar en la pileta, el RAMAL 2 va desde el edificio principal hasta la pila de almacenamiento, con sus respectivas cajas de registro y el RAMAL 3 que es la tubería de la caseta de la bomba a la pila de captación.



Figura 42. Vista detallada de los ramales



Figura 43. Pileta de almacenamiento y sistema de tuberías

La pileta de almacenamiento cuenta con un sistema de aliviaderos en caso de que el agua supere los niveles establecidos, el agua que sale por estos tubos es redirigida por canales a los cultivos para ser aprovechada.



Figura 44. Sistema de aliviaderos



Figura 45. Cajas de registro

Las cajas de registro son de gran importancia para dar mantenimiento, limpieza o reparaciones en el sistema de tuberías.

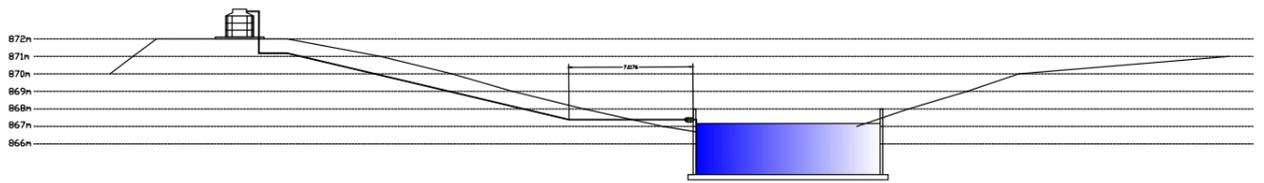


Figura 46. Pendiente de las tuberías



Figura 47. Paneles solares fotovoltaicos.

La línea de conducción es una parte muy importante del sistema, es la tubería que conduce, por medio del sistema de bombeo, el agua de la pila de captación al tanque desde el cual se realizará el riego a los cultivos.



CORTE LINEA DE CONDUCCION

Figura 48. Detalle de la línea de conducción.

4.3.6 Presupuesto

Tabla 9. Presupuesto de la propuesta del sistema.

Presupuesto					
N°	Artículo	cantidad	unidad de medida	precio unidad	precio
sistema de captación					
1	canaletas tipo colonial pvc	63	metros	C\$ 980.00	C\$ 9,800.00
2	bridas metalicas	12	unidad	C\$ 20.00	C\$ 240.00
3	tubo pvc 4"	102	metros	C\$ 230.00	C\$ 3,910.00
4	codo pvc 4"	6	unidad	C\$ 21.00	C\$ 126.00
5	pintura anticorrosiva	10	galones	C\$ 388.00	C\$ 3,880.00
6	uniones pvc4"	11	unidad	C\$ 12.00	C\$ 132.00
7	T pvc 4"	1	unidad	C\$ 16.50	C\$ 16.50
8	pega pvc	4	unidad	C\$ 40.00	C\$ 160.00
9	tornillos	2	libra	C\$ 50.00	C\$ 100.00
10	ladrillos cuarteron	120	unidad	C\$ 3.50	C\$ 420.00
11	cemento	4	bolsa	C\$ 340.00	C\$ 1,360.00
12	arena	10	latas	C\$ 15.00	C\$ 150.00
sistema de almacenamiento					
13	filtro	2	metros	C\$ 510.00	C\$ 1,020.00
14	cemento	260	bolsa	C\$ 340.00	C\$ 88,400.00
15	arena	20	metros	C\$ 600.00	C\$ 12,000.00
16	pedrin	3	metros	C\$ 1,000.00	C\$ 3,000.00
17	arenilla	2	metros	C\$ 1,225.00	C\$ 2,450.00
18	pintura impermeabilizante	20	galones	C\$ 870.00	C\$ 17,400.00
19	empaque pvc 4"	8	unidad	C\$ 35.00	C\$ 280.00
20	hierro corrugado 3/8	28	quintales	C\$ 1,400.00	C\$ 39,200.00
21	ladrillo	14400	unidades	C\$ 3.50	C\$ 50,400.00
22	hierro liso 1/4	14	quintales	C\$ 1,200.00	C\$ 16,800.00
23	alambre de amarre	55	libras	C\$ 30.00	C\$ 1,650.00
sistema de bombeo					
24	bomba	1	unidad	C\$ 21,000.00	C\$ 21,000.00
25	valvula de ventosa	1	unidad	C\$ 629.40	C\$ 629.40
26	teflón	2	unidad	C\$ 35.00	C\$ 70.00
27	tubo pvc 1"	46	metros	C\$ 39.00	C\$ 312.00
28	union pvc 1"	10	unidad	C\$ 10.00	C\$ 100.00
29	codo pvc 1"	4	unidad	C\$ 12.00	C\$ 48.00
30	valvula check 1"	1	unidad	C\$ 440.00	C\$ 440.00
31	tanque	1	unidad	C\$ 4,500.00	C\$ 4,500.00
32	llaves de paso	2	unidad	C\$ 104.00	C\$ 208.00
33	adaptador pvc	2	unidad	C\$ 22.00	C\$ 44.00
34	modulo fotovoltaico	4	unidad	C\$ 3,132.00	C\$ 12,528.00
35	controlador	1	unidad	C\$ 300.00	C\$ 300.00
36	cables electricos #12	14	metros	C\$ 12.50	C\$ 175.00
				Total cordoba	C\$ 293,248.90
				Total Dolar	\$ 8,378.54

Capítulo V

5.1 Conclusiones

1. Se lograron identificar las diferentes formas de uso del agua de lluvia captada para satisfacer las necesidades agrícolas de la Estación Experimental El Limón, siendo la necesidad principal del lugar, abastecer los cultivos ya que son parte fundamental para mantener el atractivo de la Estación Experimental.
2. El sistema de recolección de las aguas de lluvias actual, ubicado en el edificio principal de la Estación Experimental, es deficiente dado que en la mayoría de las partes que conforman el circuito de tuberías están incompletas por ende contempla el reemplazo total del sistema de captación como de la caja de registro, deben ser reubicada y sustituida por un diseño más eficiente y moderno, de igual manera, el sistema de almacenamiento de membranas que se utilizaba se encuentra en mal estado y desde un inicio dio problemas en su funcionamiento.
3. La propuesta fue dimensionada y diseñada para la estación experimental el Limón de la FAREM Estelí donde se plantea la instalación de un sistema de red de captación, distribución y almacenamiento mediante un sistema de bombeo solar fotovoltaico de 4 módulos solares fotovoltaicos de 175W y una bomba de agua sumergible de 0.75HP, una pila de almacenamiento con un volumen de 330m^3 y un tanque con capacidad de 2.5 m^3 .

5.2 Recomendaciones

En caso de que sea implementada la propuesta derivada del presente estudio se recomienda lo siguiente:

1. Identificar el uso consuntivo de los cultivos de la estación experimental “El Limón” y así calcular las láminas de riego para ajustar los turnos y tiempos de riego de cada uno de los sistemas que vayan a emplear y verificar los tiempos de operación del tanque para un suministro constante en función de las necesidades de la estación experimental.
2. Realizar estudios de rendimiento de cultivos en periodos distintos y medir la efectividad de los sistemas de riego así mismo evaluar el funcionamiento de los sistemas para un buen mantenimiento y garantía.
3. Para el sistema de captación se recomienda que se realicen tres tipos de mantenimiento; el **correctivo** consiste en corregir los errores del sistema conforme vayan apareciendo ya sea por el uso y el desgaste de las partes que conforman el sistema, el **preventivo** consiste en una intervención del sistema aunque este no haya presentado fallas y evitar futuras perdidas, el **predictivo** requiere de un correcto plan de mantenimiento para esto es necesario revisar los parámetros de consumo de energía, fugas en las tuberías o el mal uso del agua, una vez analizados los parámetros pueden verse variaciones en ello que indiquen que hay algo mal en el sistema.

5.3 Bibliografía

- Acciona. (2016). *ACCIONA BUSINESS AS UNUSUAL*. Obtenido de ACCIONA BUSINESS AS UNUSUAL: <https://www.acciona.com/es/cambio-climatico/>
- AGRICULTURA, O. D. (2013). *CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe*. Santiago, Chile: FAO.
- Aguilera, E. A. (2012). *PROTOTIPO DIDÁCTICO DE SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA CON ENERGÍA SOLAR*. Esteli Nicaragua.
- Alonso, J. (2019). *Cambio energético*. Obtenido de <https://www.cambioenergetico.com/blog/ventajas-bombeo-solar/#:~:text=En%20esencia%2C%20el%20bombeo%20solar,ganado%2C%20agua%20potable%2C%20etc>
- Carrasco, C. (2009). Escalamiento del proyecto “Cosecha de Agua” en Nicaragua. *FONTAGRO*.
- CDRI. (2013). Inundaciones, sequías y agricultura. *IDRC*.
- datosmacro. (2018). *datosmacro*. Obtenido de <https://datosmacro.expansion.com/demografia/poblacion/israel>
- et, G. (2001).
- Cubillos, M . (2017). *LA RESPONSABILIDAD SOCIAL EMPRESARIAL COMO UNA HERRAMIENTA*. Obtenido de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/16169/AlvarezCubillosMariaCristina2017.pdf.pdf?sequence=1>
- FAO. (2013). *CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA*. Santiago, Chile : ISBN 978-92-5-307580-5 .
- Gasquet, H. L. (1997). *Manual teórico y práctico sobre los sistemas fotovoltaicos*. Mexico.
- Global Water Partership central america. (2016). Cosecha de agua lluvia:sustento para la vida. *Entre aguas*, 4.
- Gómez, I., Le Coq, J.-F., & Sampere, M. (2014). *Las agriculturas familiares de Centroamerica: Procesos y perspectivas*. Programa Salvadoreño de Investigación sobre Desarrollo y Medio Ambiente . San Salvador: Prisma. Obtenido de https://agritrop.cirad.fr/573728/1/Gomez%20et%20al%20-%202014%20-%20las%20agriculturas_familiares_en_centroamerica_procesos_y_perspectivas.pdf

- Gonzalez, A. (2010). prototipo de sistemas de bombeo. Obtenido de <https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/10871/PROYECTO%20fina.%20David%20Arija%20Gonzalez.pdf>
- Gonzalez, J. (31 de julio de 2017). *Sotysolar*. Obtenido de <https://sotysolar.es/blog/bombeo-solar-riego-solar>
- GRUNDFOS. (s.f.). *Grundfos*. Obtenido de <https://product-selection.grundfos.com/products/sq/sqc-2/sq-2-55-96510199?pumpsystemid=1210847570&tab=variant-specifications>
- Gutierrez, D. C. (s.f.). EL DESARROLLO SOSTENIBLE: criterios de evolución . En *DESARROLLO SOSTENIBLE*.
- H, G. (1997). *Manual teorico y practico sobre lo sistemas solaes fotovoltaicos*.
- iagua. (2018). *Iagua*. Obtenido de <https://www.iagua.es/noticias/fao/sistemas-riego-energia-solar-presentan-buenas-perspectivas>
- IFRI. (2009). *FAO*. Obtenido de *FAO*: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/AGRO_Noticias/docs/costo%20adaptacion.pdf
- Justabo, P (2010). *Manual de tecnologias sostenibles en traamiento de agua*. cataluña.
- La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2013). *Tecnologias para el uso sostenible del agua*. Tegucigalpa, Honduras.
- Laguna, M. a. (2013). *TECNOLOGIAS PARA EL USO SOSTENIBLE DEL AGUA: UNA CONTRIBUCION A LA SEGURIDAD ALIMENTARIA Y LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO*. Tegucigalpa, Honduras .
- Lorentz. (2020). *Lorentz*. Obtenido de <https://www.lorenz.de/es/soluciones/aplicaciones/riego/>
- MARENA. (2011). *Gestión para la proteccion de fuente y cosecha de agua*. Matagalpa.
- MAYORGA. (2015). MULTICARGADOR SOLAR PARA DISPOSITIVOS DE BAJO. <https://repositorio.unan.edu.ni/5658/1/17848.pdf>.
- Miranda, Villegas, Buitrago, Barrau, Gonzales , Vargas, & Alcazar. (2009). *Energía Solar Fotovoltaica*.
- Moralejo, I. A. (2008). El Desarrollo Sostenible a lo largo de la Historia de Pensamiento Económico.
- ONU. (2014). *Programa de Agua y Saneamiento del Banco Mundial (WSP)*. Zaragoza.
- ONU, Asamblea General. (2012). 66/288. *El futuro que queremos* .

- Organizacion de las naciones unidas para la alimentacion y la agricultura. (2013). *Captacion y almacenamiento de agua de lluvia*. Santiago, Chile: FAO.
- Pineda, E. B., de Alvarado, E. L., & de Canales, F. H. (1994). *Metodología de la investigación*. Washington: Organizacion panamericana de la salud.
- Plastitank. (s.f.). Ficha de especificaciones. *Plastitank*. Obtenido de <http://plastitank.com.ni/ficha-tecnica-conico-2/>
- Prostar. (8 de agosto de 2020). *Prostar*. Obtenido de <https://www.prostarsolar.net/es/articulo/conexion-serie-de-placas-solares.html>
- Quantum. (9 de junio de 2018). *Quantum energiaverde*. Obtenido de <https://www.quantumenergia.es/es/bombeo-solar-fotovoltaico-que-es/#:~:text=tener%20en%20cuenta,-,Tipos%20de%20equipos%20de%20bombeo%20solar%20fotovoltaico,las%20necesidades%20de%20la%20bomba>.
- Reyes, E. A. (2017). Generación de biogás mediante el proceso de digestión anaerobia, a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos. *Revista Científica De FAREM-Estelí*, 22.
- Rodriguez , L. (2016). La problemática del agua en Nicaragua. (M. UNAN , Ed.) *Revista Electrónica de Investigación en Ciencias Económicas*.
- Rodríguez, A. (2012). COSECHANDO AGUA DE LLUVIA COMO MEDIDA DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMATICO. *Observatorio de sostenibilidad red latinoamericana* .
- Salud, O. P. (2004). *GUÍA DE DISEÑO PARA CAPTACIÓN*. Lima: COSUDE.
- Sampier Hernandez, R., Fernandez Collado, C., & Lucio Baptista, P. (2007). En R. Sampier Hernandez, C. Fernandez Collado, & P. Lucio Baptista, *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill Interamericana.
- Silja, A. (s.f.). *Certicalia*. Obtenido de <https://www.certicalia.com/blog/pendiente-minima-saneamiento-cte#:~:text=Tubos%20de%20drenaje,-Los%20tubos%20de&text=La%20pendiente%20m%C3%ADnima%20de%20un,%20un%200%2C3%25>.
- Sistema de bombeo solar. (2017). Obtenido de https://www.educa2.madrid.org/web/david.castellomateo/presentacion/-/book/presentacion?_book_viewer_WAR cms_tools_chapterIndex=e5fc2798-b620-443b-ac1e-7ca986c26e17
- software, T. (2020). *trace software*. Obtenido de <https://www.trace-software.com/es/que-es-un-sistema-de-bombeo-solar-fotovoltaico/>

- Solar, R. (s.f.). *Rosen Solar*. Obtenido de http://www.rosensolar.com/pd.jsp?id=29#_jcp=3_1
- spark, W. (2019). *Weather spark*. Obtenido de <https://es.weatherspark.com/y/14401/Clima-promedio-en-Estel%3%AD-Nicaragua-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- Zunun, J. B. (2009). Elaboracion de un procedimiento para el diseño de sistemas de captación de agua de lluvia para uso domestico. *Tesis*. Buenavista, Saltillo, Coahuila, Mexico.

I. Anexos

Guía entrevista

Guía de Entrevista

Lugar: _____

Fecha: _____ **Hora:** _____

Entrevistador: _____

Entrevistado:

Objetivo de la entrevista: Identificar las diferentes formas de uso del agua de lluvia captada para satisfacer los requerimientos de la Estación Experimental El limón en sus actividades productivas.

Preguntas

1. ¿A qué fuente de abastecimiento de agua tienen acceso?
2. ¿Cuáles son las que utilizan en época de lluvia?
3. ¿Cuál es la principal fuente de abastecimiento en verano?
4. ¿Cuentan con sistema de captación de agua de lluvia? ¿Está en funcionamiento?
5. ¿Cuentan con sistema de almacenamiento del agua captada? ¿Qué tipo de sistema tiene?
6. ¿Cuál es el uso que se le da al agua almacenada?

Ejes	Acciones	Valoración				
		Mala	Regular	Buena	Muy buena	Excelente
Estado de sistema de captación de agua de lluvia	Estado de la estructura del techo					
	Estado de la estructura del canal					
	Estado de la estructura del filtro					
	Estado del afluente					
	Estado de la caja de registro					
	Estado de la pila de almacenamiento					
	Fugas en los canales y tuberías					
Observaciones:						

Galería de Fotos



Figura 49. Entrevista a coordinador de la Estación Experimental El Limón



Figura 50. Entrevista a Docente investigador



Figura 51. Mediciones en bodega



Figura 52. Mediciones en la caseta donde se ubica el pozo y la bomba



Figura 53. Medición de pendiente



Figura 54. Medición de pendiente.