



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

CARRERA DE INGENIERÍA DE MEDIO AMBIENTE

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título:

MODELO DE COSECHA DE AGUA Y OPTIMIZACIÓN DE SU USO APLICADO A ENTORNOS DOMICILIARIOS RURALES EN LA PARROQUIA ONCE DE NOVIEMBRE, PERIODO 2020 -2021

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del
Título de Ingeniera en Medio Ambiente

Autores:

Singaucho Chasiluisa Dalia Patricia
Vergara Pacheco Amanda Priscila

Tutor:

Daza Guerra Oscar René Ing. Mg.

LATACUNGA - ECUADOR

Agosto 2021

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Singaucho Chasiluisa Dalia Patricia, con cédula de ciudadanía No. 0927673426; y, Vergara Pacheco Amanda Priscila, con cédula de ciudadanía No. 0504026253; declaramos ser autoras del presente proyecto de investigación: “Modelo de cosecha de agua y optimización de su uso aplicado a entornos domiciliarios rurales en la parroquia Once de Noviembre, período 2020 -2021”, siendo el Ingeniero Mg. Daza Guerra Oscar René, Tutor del presente trabajo; y, eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 03 de agosto del 2021

Singaucho Chasiluisa Dalia Patricia

Estudiante

CC:0927673426

Vergara Pacheco Amanda Priscila

Estudiante

CC: 0504026253

Ing. Mg. Daza Guerra Oscar René

Docente Tutor

CC: 0400689790

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **SINGAUCHO CHASILUISA DALIA PATRICIA**, identificada con cédula de ciudadanía **0927673426**, de estado civil casada, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, el Ingeniero Ph.D. Cristian Fabricio Tinajero Jiménez, en calidad de Rector, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - **LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiente, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “Modelo de cosecha de agua y optimización de su uso aplicado a entornos domiciliarios rurales en la parroquia Once de Noviembre, período 2020 -2021”, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Octubre 2016 - Marzo 2017

Finalización de la carrera: Abril – Agosto 2021

Aprobación en Consejo Directivo. - 20 de Mayo del 2021

Tutor: Ing. Mg. Daza Guerra Oscar René

Tema: “Modelo de cosecha de agua y optimización de su uso aplicado a entornos domiciliarios rurales en la parroquia Once de Noviembre, período 2020 -2021”

CLÁUSULA SEGUNDA. - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando prof

esionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **LA CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO: Por el presente contrato **LA CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - **LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 3 días del mes de agosto del 2021.

Singaucho Chasiluisa Dalia Patricia

LA CEDENTE

Ing. Ph.D. Tinajero Jiménez Cristian

LA CESIONARIA

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **VERGARA PACHECO AMANDA PRISCILA**, identificada con cédula de ciudadanía **0504026253**, de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, el Ingeniero Ph.D. Cristian Fabricio Tinajero Jiménez, en calidad de Rector, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - **LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado “Modelo de cosecha de agua y optimización de su uso aplicado a entornos domiciliarios rurales en la parroquia Once de Noviembre, período 2020 -2021”, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan:

Historial Académico

Inicio de la carrera: Octubre 2016 - Marzo 2017

Finalización de la carrera: Abril – Agosto 2021

Aprobación en Consejo Directivo. - 20 de Mayo del 2021

Tutor: Ing. Mg. Oscar René Daza Guerra

Tema: “Modelo de cosecha de agua y optimización de su uso aplicado a entornos domiciliarios rurales en la parroquia Once de Noviembre, período 2020 -2021”

CLÁUSULA SEGUNDA. - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **LA CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO: Por el presente contrato **LA CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - **LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 3 días del mes de agosto del 2021.

Vergara Pacheco Amanda Priscila

LA CEDENTE

Ing. Ph.D. Cristian Tinajero Jiménez

LA CESIONARIA

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación con el título:

“MODELO DE COSECHA DE AGUA Y OPTIMIZACIÓN DE SU USO APLICADO A ENTORNOS DOMICILIARIOS RURALES EN LA PARROQUIA ONCE DE NOVIEMBRE, PERÍODO 2020 -2021”, de Singaicho Chasiluisa Dalia Patricia y Vergara Pacheco Amanda Priscila, de la carrera de Ingeniería Ambiental, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también han incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la Pre defensa.

Latacunga, a 3 de agosto del 2021

Ing. Mg. Oscar René Daza Guerra
Docente Tutor
CC: 0400689790

AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, los postulantes: Singaicho Chasiluisa Dalia Patricia y Vergara Pacheco Amanda Priscila, con el título del Proyecto de Investigación: “MODELO DE COSECHA DE AGUA Y OPTIMIZACIÓN DE SU USO APLICADO A ENTORNOS DOMICILIARIOS RURALES EN LA PARROQUIA ONCE DE NOVIEMBRE, PERÍODO 2020 -2021”, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, a 3 de agosto del 2021

Lector 1 (Presidente)
Lcdo. Mg. Patricio Clavijo Cevallos
CC: 05014445820

Lector 2
Ing. Mg. José Andrade Valencia
CC: 0502524481

Lector 3
Lcdo. Mtr. Jaime Rodrigo Segarra Escandón
CC: 0103578365

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a Dios por otorgarme la vida, sabiduría y fortaleza, además de guiarme en mi camino para concluir mi meta tan anhelada.

A mi amado esposo Cristian Condorcana, por su amor, consejos y apoyo infinito y estar siempre a mi lado en todo momento, a mis queridas hijas Andrea y Yeimy Condorcana, que son mi pilar fundamental para esforzarme y salir adelante cada día. A mi padre Trajano Singaicho y mi madre Consuelo Chasiluisa por el apoyo y el amor incondicional que me brindaron durante mi periodo de estudio.

A mi hermano y hermanas que me han apoyado moralmente con sus buenos consejos y motivación brindada.

Mis más sinceros agradecimientos a la Universidad Técnica de Cotopaxi, por darme la oportunidad de pertenecer a tan prestigiosa institución que ofrece una educación de calidad, a todos mis docentes, que me brindaron sus conocimientos y su apoyo incondicional en todo el transcurso de mi carrera estudiantil, los cuales contribuyeron en mi formación para llegar a ser una profesional de éxito.

En especial al Ing. Oscar Daza tutor de tesis, por sus conocimientos y experiencias transmitidos se logró culminar con éxito este trabajo de investigación. Así también al Lcdo. Patricio Clavijo, Ing. José Andrade, Lcdo. Jaime Segarra miembros del tribunal de lectores.

Dalia Patricia

Agradezco principalmente a Dios por darme la vida y fortaleza para culminar con este objetivo tan anhelado, a mis padres por el apoyo incondicional pese a las adversidades siempre han estado para mí.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi en especial a todos quienes hacen parte de la Carrera de Ingeniería Ambiental por transmitirme sus valiosos conocimientos, y haberme formado con humanismo que es lo que caracteriza a sus profesionales.

A mi tutor de tesis quien ha estado guiando el presente trabajo desde sus inicios, a los lectores por cada crítica constructiva lo que permitió que este proyecto llegue a su culminación exitosamente.

Amanda Priscila

DEDICATORIA

Quiero dedicar con mucho cariño y amor este proyecto de investigación a mis queridos padres quienes me dieron la vida y me han sabido guiar en todo el transcurso de mi vida personal como académica, además por sus consejos, apoyo económico y moral en todos mis años de estudio, por su enorme sacrificio y fortaleza para sacar adelante a todos sus hijos, ellos son mi mayor inspiración para cumplir todas mis metas propuestas.

A mi amado esposo quien constantemente ha estado conmigo en las buenas y en las malas siempre me ha brindado toda su comprensión, apoyo y amor infinito para que cada día salga adelante con mi carrera académica y no decaiga en el camino

A mis queridas hijas quienes con su amor y ternura han sido mi mayor motivación para ser todos los días una buena madre, por darme momentos de alegría en mis días más difíciles. Además de ser mi mayor inspiración para seguir preparándome y obtener una carrera profesional y así poder guiarlas por un buen camino y sean personas de bien

Dalia Patricia

Este trabajo dedico con mucho cariño a mis padres, a mi abuelita que siempre ha estado apoyándome, a mis queridas hermanas y hermano que de ellos he aprendido que con perseverancia se logra conseguir las metas, agradezco también a mis sobrinos por siempre sacarme una sonrisa en los momentos más difíciles, a mis amigas que también me han apoyado y brindado su amistad durante todo este tiempo.

Amanda Priscila

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TITULO: MODELO DE COSECHA DE AGUA Y OPTIMIZACIÓN DE SU USO APLICADO A ENTORNOS DOMICILIARIOS RURALES EN LA PARROQUIA ONCE DE NOVIEMBRE, PERIODO 2020 -2021

AUTORES: Singaicho Chasiluisa Dalia Patricia

Vergara Pacheco Amanda Priscila

RESUMEN

La presente investigación se realizó en un entorno domiciliario ubicado en el barrio San José de Pichul, parroquia 11 de Noviembre, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi. La ubicación geográfica específica del sitio del estudio corresponde al Plus Code 385X+5Q Pujilí. La problemática local se centra en la falta de acceso a una fuente de agua segura, ya que el agua provista al sector, por su origen freático, muestra altos niveles de sólidos disueltos, y contaminación antropogénica. Con el fin de solventar esta limitación, se propuso desarrollar un sistema de aprovechamiento de agua lluvia como alternativa a la fuente convencional de agua para consumo humano, orientado a entornos domiciliarios rurales en la localidad en estudio. Para la implementación del sistema, se determinó la capacidad de recolección de agua lluvia de los techos de la vivienda y se operacionalizaron los procesos de cosecha y acondicionamiento de agua lluvia para consumo humano. Finalmente se evaluaron las características del agua acondicionada para consumo humano. En el sitio se construyó un sistema de recolección de agua de lluvia para un entorno domiciliario de 7 personas, utilizando el techo de acero inoxidable de las viviendas y se encontró que era muy efectivo y viable dada su adecuada superficie de captura de lluvia (172 m²). La cantidad de precipitación recolectada y almacenada se utilizó durante la temporada de lluvias y puede para los períodos secos del año, con un volumen de 81.18 m³ anuales, considerando 590 mm de precipitación local anual. Aunque el sistema mostró un problema de contaminación con microorganismos mesófilos, que en el análisis de laboratorio mostraron mayor velocidad de crecimiento a temperaturas entre 25 y 40° C, y comprenden la mayor parte de los organismos que tienen como huésped el hombre y otros animales de sangre caliente. No se detectó la presencia de coliformes fecales. Las demás características fisicoquímicas del agua recolectada mostraron conformidad con los estándares de Ecuador y de la OMS. La percepción general es que el agua de lluvia contiene contaminantes, pero se ha determinado que esta fuente de agua es extremadamente limpia y segura, si la ubicación está en una zona rural donde el tráfico de carretera e industrialización son de bajo impacto. El agua recolectada y almacenada de manera técnicamente adecuada, basada en los principios científicos estudiados, permite la gestión de los recursos hídricos sin efectos nocivos sobre el medio ambiente, transformándose en un método beneficioso y sostenible y puede ser usada para consumo humano, previa la aplicación de un método adecuado de desinfección ya sea por medios químicos (cloración), o físicos (radiación UV).

Palabras clave: almacenamiento de agua, captura de lluvia, filtro de gravedad, suministro sostenible, resiliencia domiciliaria.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCES AND NATURAL RESOURCES

THEME: MODEL OF WATER HARVEST AND OPTIMIZATION OF ITS USE APPLIED TO RURAL HOME ENVIRONMENTS IN THE PARISH ELEVEN OF NOVEMBER, PERIOD 2020 -2021

AUTHORS: Singaicho Chasiluisa Dalia Patricia

Vergara Pacheco Amanda Priscila

ABSTRACT

This research was carried out in a home environment located in the San José de Pichul neighborhood, 11 de Noviembre parish, Latacunga canton, province of Cotopaxi. The specific geographic location of the study site corresponds to Plus Code 385X + 5Q Pujilí. The local problem centers on the lack of access to a safe water source, since the water provided to the sector, due to its phreatic origin, shows high levels of dissolved solids, and anthropogenic contamination. In order to solve this limitation, it was proposed to develop a rainwater harvesting system as an alternative to the conventional source of water for human consumption, aimed at rural home environments in the town under study. For the implementation of the system, the capacity to collect rainwater from the roofs of the house was determined and the processes of harvesting and conditioning rainwater for human consumption were operationalized. Finally, the characteristics of the water conditioned for human consumption were evaluated. On the site, a rainwater collection system was built for a 7-person home environment, using the galvanized-steel roof of the houses and it was found to be very effective and viable given its adequate rain capture surface (172 m²). The amount of precipitation collected and stored was used during the rainy season and can be used for the dry periods of the year, with a volume of 81.18 m³ per year, considering 590 mm of annual local precipitation. Although the system showed a problem of contamination with mesophilic microorganisms, which in the laboratory analysis showed a higher growth rate at temperatures between 25 and 40°C and comprise most of the organisms that are hosted by man and other animals from hot blood. The presence of fecal coliforms was not detected. The other physicochemical characteristics of the collected water showed compliance with the Ecuador and WHO standards. The general perception is that rainwater contains pollutants, but this water source has been determined to be extremely clean and safe, if the location is in a rural area where road traffic and industrialization are low impact. The water collected and stored in a technically adequate way, based on the scientific principles studied, allows the management of water resources without harmful effects on the environment, becoming a beneficial and sustainable method and can be used for human consumption, prior to application of a suitable disinfection method either by chemical means (chlorination), or physical (UV radiation).

Keywords: Gravity filter, Household resilience, Rain capture, Sustainable supply, Water storage.

INDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR	vi
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	ix
AGRADECIMIENTOS	xi
DEDICATORIA	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT	xiv
INDICE DE CONTENIDOS	xv
INDICE DE TABLAS.....	xvii
INDICE DE FIGURAS.....	xviii
INFORMACIÓN GENERAL	1
1. Justificación	2
2. Beneficiarios del Proyecto	4
3. Problema de Investigación.....	5
4. Objetivos	6
4.1 Objetivo General	6
4.2 Objetivos específicos.....	6
5. Actividades y Sistema de Tareas en Relación a los Objetivos Planteados	7
6. Fundamentación Científico Técnica	8
6.1 Historia de la Cosecha de Agua	8
6.2 Situación Actual de la Cosecha de Agua a Nivel Mundial	9
6.3 La cosecha de Agua Lluvia en Ecuador y Cotopaxi	10
6.4 Métodos y Técnicas de Cosecha de Agua Lluvia en Zonas Áridas	12
6.5 Beneficios Potenciales de la Cosecha de Agua de Lluvia	14
6.6 Beneficios para la Conservación de Agua	14
6.6.1 Beneficios Ambientales de la Recolección de Agua de Lluvia	15
6.6.2 Beneficios de la Relación Agua-Energía en la Cosecha de Agua Lluvia	15
6.6.3 Los Beneficios Económicos de la Recolección de Agua de Lluvia	16
6.6.4 Los Beneficios Auxiliares de la Recolección de Agua de Lluvia.....	17
6.6.5 Beneficios Futuros de la Conservación del Agua	17
6.7 Calidad de Agua y Riesgo para la Salud.....	18
6.8 Evaluación de Riesgos del Sistema.....	20
6.9 Base Legal del Uso de Agua Lluvia en el Ecuador	20
7. VALIDACIÓN DE LA PREGUNTA CIENTÍFICA	22
8. Metodologías y Diseño Experimental	23
8.1 Metodología.....	23

8.2	Métodos.....	23
8.3	Ubicación	23
8.4	Diseño No Experimental	25
8.5	Procedimiento.....	25
8.5.1	Capacidad de Recolección de Agua Lluvia	25
8.5.2	Procesos de Cosecha y Acondicionamiento de Agua Lluvia para Consumo Humano	25
8.5.3	Características del Agua Acondicionada para Consumo Humano	26
8.6	Materiales y Equipos	27
8.6.1	Materiales.....	27
8.6.2	Equipos	27
9.	Análisis y Discusión de los Resultados.....	28
9.1	Capacidad de Recolección de Agua Lluvia en el Entorno Domiciliario.....	28
9.1.1	Dimensiones del Área de Captura de Agua Lluvia	28
9.1.2	Materiales Subyacentes del Área de Captura de Agua	32
9.2	Procesos de cosecha y acondicionamiento de agua lluvia para consumo humano	35
9.2.1	Requerimientos de agua del entorno domiciliario y capacidad de almacenamiento.	35
9.2.2	Capacidad de almacenamiento del entorno	40
9.2.3	Sistemas primarios de acondicionamiento de agua para consumo humano	42
9.3	Características físico químicas y biológicas del agua lluvia cruda cosechada	43
9.3.1	Evaluación de las características físico químicas del agua lluvia cosechada	43
9.3.2	Evaluación de las características biológicas del agua cosechada acondicionada para uso domiciliario.....	45
9.4	Presupuesto para la implementación del sistema de captación de agua lluvia domiciliario.....	48
10.	IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)	50
10.1	Impactos técnicos	50
10.2	Impactos sociales	50
10.3	Impactos ambientales	51
10.4	Impactos económicos.....	51
11.	PRESUPUESTO	52
12.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	53
12.1	Conclusiones	53
12.2	Recomendaciones	53
13.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55
14.	ANEXOS.....	60

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Beneficiarios del Proyecto</i>	4
Tabla 2 <i>Actividades y Sistema de Tareas</i>	7
Tabla 3 <i>Determinación del Area de Recolección en Techo</i>	29
Tabla 4 <i>Requerimiento Estimado de Agua en el Entorno Domiciliario</i>	30
Tabla 5 <i>Valores para el Dimensionamiento del Área de Captura de Agua Lluvia</i>	31
Tabla 6 <i>Estándares Internacionales de Necesidades de Agua e Uso Humano</i>	36
Tabla 7 <i>Demanda familiar de agua para consumo humano calculada</i>	37
Tabla 8 <i>Registro de Consumo de Agua en el Entorno Domiciliario (Litros/Semana)</i>	38
Tabla 9 <i>Cálculo de Almacenamiento de Agua de Lluvia para un Estiaje de 21 Días</i>	40
Tabla 10 <i>Presupuesto para la Implementación del Sistema de Captación de Lluvia</i>	48
Tabla 11 <i>Detalle de los Costos de la Investigación</i>	52

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Diseño de Trampa y Almacenamiento de Lluvia</i>	13
Figura 2 <i>Captación Pluvial en Tanques de Almacenamiento</i>	14
Figura 3 <i>Ubicación del Area de Estudio</i>	24
Figura 4 <i>Vista Frontal del Entorno Domiciliario en el Estudio</i>	28
Figura 5 <i>Dimensiones del Area de Captación</i>	29
Figura 6 <i>Detalle del Material de Cubierta del Entorno Domiciliario</i>	32
Figura 7 <i>Detalle del Colector de Precipitación Térmicamente Aislado</i>	33
Figura 8 <i>Registros de Precipitación y Recolección de Agua Lluvia</i>	34
Figura 9 <i>Registros y Estimaciones de Precipitación para el Cantón Latacunga</i>	35
Figura 10 <i>Distribución del Consumo de Agua Domiciliaria Estimada y Registrada</i>	39
Figura 11 <i>Tanque IBC Tote Utilizado para Almacenamiento de Agua</i>	40
Figura 12 <i>Distribución de los Tanques de Almacenamiento y Provisión de Agua</i>	41
Figura 13 <i>Sistema de Filtrado de Bajante para Remoción de Sólidos Suspendidos</i>	42
Figura 14 <i>Comparación de los Parámetros de Agua para Consumo Humano</i>	44
Figura 15 <i>Análisis Microbiológico del Agua de Lluvia</i>	45
Figura 16 <i>Sistema de Esterilización de Agua Lluvia para Consumo Humano</i>	46

INFORMACIÓN GENERAL

Título del proyecto:

Modelo de cosecha de agua y optimización de su uso aplicado a entornos domiciliarios rurales en la parroquia Once de Noviembre periodo 2020 -2021

Lugar de ejecución

Parroquia Once de Noviembre

Institución, Facultad y Carrera que auspicia:

Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales (CAREN)

Ingeniería en Medio Ambiente (CARRERA)

Equipo de Trabajo:

Ing. Oscar René Daza Guerra, M.Sc. (Tutor).

Dalia Patricia Singaicho Chasiluisa (Estudiante)

Amanda Priscila Vergara Pacheco (Estudiante)

M.Sc. Manuel Patricio Clavijo Cevallos. (Lector 1)

M.Sc. José Antonio Andrade Valencia. (Lector 2)

M.Sc. Jaime Rodrigo SegarraEscandón. (Lector 3)

Área de conocimiento:

Ambiente

Línea de investigación:

Energías Alternativas y Renovables, Eficiencia Energética y Protección ambiental

Sublínea de investigación por carrera

Manejo y conservación de Recurso Hídrico

Línea de vinculación CAREN

Gestión de recursos naturales, biodiversidad, biotecnología y genética, para el desarrollo humano y social.

1. Justificación

Desde los albores del mundo civilizado, los seres humanos se han desarrollado en sociedades, en torno a las aguas superficiales disponibles en la zona, utilizándolas como medio de transporte, consumo y demás actividades productivas y de recreación. Inicialmente los centros poblados se asentaron a lo largo de cuerpos de agua como ríos lagos y mares. El crecimiento demográfico de muchas sociedades, las obligó a colonizar regiones con baja o nula disponibilidad de aguas superficiales (zonas áridas y semiáridas), en donde el aprovechamiento de aguas lluvias para los usos domésticos se vuelve una necesidad (Torres Hugues&Fresquet-Blanco, 2019).

Se ha evidenciado el desarrollo de sistemas de almacenamiento de aguas lluvia, como lo demuestran hallazgos arqueológicos que datan de 4000 años A.C. Esto demuestra la gran importancia que tenía su aprovechamiento en el pasado y lugares antiguos como Israel, Jordania, Yemen, Roma, China, Irán, y algunas culturas indígenas de Centroamérica. Este cúmulo de experiencias coincidían en transportar las aguas de escorrentía de patios y techos, hacia lugares de almacenamiento para luego ser aprovechadas en la agricultura y en usos domésticos (Fernández, 2017).

En la provincia de Cotopaxi, los asentamientos humanos han proliferado en zonas áridas que tienen acceso únicamente a agua subterránea. Esto ha conllevado a la alta dependencia de las poblaciones humanas en el agua freática, y en todos los mecanismos ingenios que se utilizan para obtenerla. Los procesos agro industriales locales han determinado que las aguas freáticas sean sobreexplotadas por una parte, y también sean el objeto de la contaminación originada especialmente en las actividades agroindustriales. También los asentamientos humanos rurales tienen limitado acceso a sistemas de gestión de desechos humanos centralizado. La mayor parte de las viviendas rurales sólo cuentan con letrinas abiertas directamente en el suelo. Todos estos factores han incidido en que la calidad del agua freática sea cada vez menor. Actualmente las comunidades locales se hallan en un franco proceso de búsqueda de fuentes de agua de alta calidad, que aseguren su inocuidad y su disponibilidad en cantidades suficientes. Las fuentes viables para esto se encuentran a grandes distancias por lo que los costos para lograr el transporte del líquido vital hasta los domicilios son enormes y requieren del aporte tanto de la comunidad como de los gobiernos locales, regionales y nacionales. Es por esto que es necesario establecer los mecanismos y recursos para poder realizar la captura de lluvia y acondicionarla para el consumo humano. Cabe anotar que las tecnologías discutidas en el presente documento, se basan en conocimientos acumulados por la humanidad a lo largo de su evolución como seres tecnológicos (Partridge, 2016).

Al usar el agua de lluvia, el entorno domiciliario reduce significativamente su presión sobre los sistemas de provisión de agua convencionales, por tanto, reduce su impacto ambiental en las obras de captación, conducción y distribución de agua. Si la comunidad opta por la cosecha de agua, no necesitará de excavar más pozos profundos.

La metodología aplicada fue cuantitativa en la fase de implementación del sistema de cosecha de agua lluvia, por cuanto se registraron volúmenes captados y uso de agua en el entorno domiciliario. En la fase de evaluación de calidad de agua, se aplicó una metodología cualitativa, considerando que los valores de los análisis, determinaron la calidad de agua.

El proyecto está enfocado para el desarrollo social de los habitantes de zonas rurales debido a la falta de acceso de agua para las diferentes actividades. La parroquia 11 de Noviembre ubicada en el área rural del cantón Latacunga, especialmente sus barrios periféricos como San José de Pichul, no cuenta con suficiente capacidad de abastecimiento del recurso hídrico para consumo humano. Para superar esta limitación se diseñó e implementó un modelo físico de captación de agua lluvia, complementado con filtros físicos y desinfección UV, cuyo resultado esperado es la provisión sostenible de agua apta para consumo humano. La implementación de cosecha de agua lluvia como una práctica efectiva de un buen manejo del recurso agua, se basa en el esfuerzo de dar resiliencia a las comunidades, potenciando sus capacidades y potenciales, promoviendo el intercambio de saberes y la participación social.

2. Beneficiarios del Proyecto

El presente proyecto se desarrolló en el barrio San José de Pichul de la parroquia 11 de noviembre, cantón Latacunga. Se contó con el apoyo de dos familias que constan de siete miembros en total. Las familias colaboraron activamente tanto en la implementación del sistema de cosecha, como en el tratamiento del agua, almacenamiento y registros de consumo. El proyecto tiene planificada la socialización a nivel comunitario, por medio de la Junta de Agua Potable Local, extendiendo los beneficiarios potenciales a 1200 habitantes del barrio.

Tabla 1

Beneficiarios del Proyecto

TIPO	DESCRIPCIÓN	NÚMERO DE PERSONAS
DIRECTOS	2 Familias	7
INDIRECTOS	Comunidad	1200

Elaborado por: Los autores

3. Problema de Investigación

En la zona rural de la parroquia 11 de Noviembre, el acceso a agua de calidad adecuada para consumo humano es una importante limitación que la población enfrenta. Actualmente, la mayor fuente de agua la constituye los pozos profundos que han proliferado en la zona y que son administrados por Juntas de Agua Potable para cada barrio. Las limitaciones en el uso de este tipo de fuente de agua son múltiples. Al ser esta zona altamente productiva y dedicada a la agroindustria, el uso del agua en agricultura y ganadería es intensivo, por lo que la disponibilidad de agua superficial es casi nula para el consumo humano. Las comunidades se han visto abocadas a recurrir a las aguas freáticas como una fuente segura de agua para consumo humano. Lamentablemente estas fuentes han sufrido también las consecuencias de las actividades de agricultura industrial, así como del mal manejo y disposición de desechos humanos. Esto obligado a los proveedores de agua para consumo humano, a realizar excavaciones cada vez más profundas lo que ha redundado en un agua de menor calidad por el alto contenido de sales y sólidos suspendidos, así como de metales pesados como arsénico y cadmio. Muchas juntas de agua potable han optado por sistemas de remoción de sal de sólidos suspendidos y sales incrementando los contenidos de sodio del agua distribuida a los hogares.

Según lo reporta Flores (2019) el agua disponible en la red del Barrio San José de Pichul, presenta alta carga de bacterias aerógenas, coliformes totales y coliformes fecales, que tienen estrecha relación con el tipo de protección de las fuentes de abastecimiento y las pruebas de tratabilidad determinan procesos intensivos de desinfección para eliminar bacterias y coliformes.

Por su parte, Jiménez (2020) puntualiza que los resultados de calidad del agua de la red pública para consumo humano en la comunidad de San José de Pichul del domicilio, comparada con la normativa TULSMA, presenta alto grado de concentración en todos los parámetros. La conductividad eléctrica y la dureza total presenta alta concentración de sales y se la considera un agua dura, lo cual no es apta para el consumo humano, por lo que se esde vital importancia buscar una fuente de agua limpia y saludable.

En consecuencia, el problema planteado para el presente estudio se define como: Ausencia de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia como alternativa sostenible a la fuente convencional de agua para consumo humano, orientado a entornos domiciliarios rurales.

4. Objetivos

4.1 Objetivo General

Desarrollar un sistema de aprovechamiento de agua lluvia como alternativa a la fuente convencional de agua para consumo humano, orientado a entornos domiciliarios rurales en la parroquia Once de Noviembre.

4.2 Objetivos específicos

1. Determinar la capacidad de recolección de agua lluvia en un entorno domiciliario rural.
2. Establecer los procesos de cosecha y acondicionamiento de agua lluvia para consumo humano.
3. Analizar las características del agua acondicionada para consumo humano.

5. Actividades y Sistema de Tareas en Relación a los Objetivos Planteados

Tabla 2

Actividades y Sistema de Tareas

Objetivos	Actividades	Metodología	Resultados
OE1. Determinar la capacidad de recolección de agua lluvia en un entorno domiciliario rural.	Dimensionamiento del área de captura de agua	Mediciones in situ	Superficie de captura de lluvia determinada
	Establecer los materiales subyacentes del área de captura de agua	Inspección in situ y comparación estándares construcción	Características y especificaciones de los materiales subyacentes del área de captura de agua
	Registro de la precipitación durante el tiempo de estudio para estimar la capacidad de recolección	Toma de registros semanales de precipitación en la localidad	Registros semanales de precipitación en la localidad, tabulados y procesados
OE2. Establecer los procesos de cosecha y acondicionamiento de agua lluvia para consumo humano	Cálculo de los requerimientos del entorno domiciliario y la capacidad de almacenamiento.	Uso de algoritmos especializados y bases de datos para el cálculo de requerimientos	Requerimientos de agua en el entorno domiciliario y almacenamiento establecidos
	Instalación de capacidad almacenamiento del entorno	Adecuación de contenedores adecuados del entorno	Sistema de recolección y almacenamiento instalado
	Desarrollo de sistemas primarios de acondicionamiento de agua para consumo humano	Construcción de filtros primarios de grava y sistema de esterilización por radiación UV	Sistema de filtrado y esterilización instalado y funcional
OE3. Analizar las características del agua acondicionada para consumo humano	Muestreo de agua acondicionada	Muestreo de agua de acuerdo con las normas de laboratorio para análisis	Muestras adecuadas para el análisis de laboratorio
	Análisis de laboratorio del agua recolectada para consumo humano	Determinación de parámetros físicos y químicos y biológicos del agua	Resultados de los análisis de laboratorio
	Evaluación de las características del agua cosechada.	Determinación de parámetros biológicos del agua	Resultados de los análisis de laboratorio

Nota: Elaborado por los autores

6. Fundamentación Científico Técnica

6.1 Historia de la Cosecha de Agua

El agua es esencial para la vida. La cantidad de agua dulce existente en la tierra es limitada, y su calidad está sometida a una presión constante. La conservación de la calidad del agua dulce es importante para el suministro de agua de bebida, la producción de alimentos y el uso recreativo. El agua es un factor crucial para impulsar el desarrollo socioeconómico de los países, al mismo tiempo, es un elemento vital en la integridad de los entornos naturales. Poco a poco el mundo se enfrenta a una demanda creciente en paralelo a una disminución de la oferta del recurso lo que implica que las decisiones deben ser tomadas bajo un enfoque holístico en su gestión. Partiendo del escenario antes planteado se fundamenta la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) como el proceso de desarrollo y gestión coordinada del agua, el suelo y los recursos relacionados, a fin de optimizar y maximizar el desarrollo económico y el bienestar social equitativamente, sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas. Ante el crecimiento demográfico acelerado, un rápido proceso de urbanización e industrialización, la expansión de la frontera agrícola, y el cambio climático entre otras variables, la GIRH ha adquirido una dimensión de crucial importancia en el escenario internacional, nacional y local puesto que es considerado como el modelo de gestión más completo y adecuado por su naturaleza adaptativa en cuanto a los condicionantes físicos, sociales y el manejo de manera coordinada y equitativa entre los distintos sectores para un desarrollo sostenible (Martínez, 2018).

El suministro de agua, comida y refugio para los entornos domésticos es una lucha continua, especialmente en climas secos donde el agua es escasa. Pero para deshacerse de esta escasez de agua en la antigüedad, la gente ha inventado varios métodos, ligados al entorno ecológico y al desarrollo cultural. Mamun (2020), describe una breve historia de las prácticas de cosecha de agua en el mundo.

El Medio Oriente tiene una rica historia en el cronograma de recolección de agua de lluvia. Se remonta al año 2000 antes de Cristo, la gente del desierto de Negev, que es el actual Israel, sobrevivió capturando agua de la ladera y almacenándola en cisternas. En aquel entonces, la disponibilidad de agua era verdaderamente una situación de vida o muerte. En los relatos de una guerra por la tierra al este de Jordania, el rey Mesha de Moab usó reservorios para capturar la lluvia y les dio a sus guerreros la capacidad de sobrevivir en el calor seco. En las civilizaciones, las cisternas de recolección de agua de lluvia eran comunes en cada hogar, según un documento histórico de esa época en el Medio Oriente. Estas cisternas oscilaban entre 10,000 y 50,000 galones y, a menudo, se almacenaban bajo tierra. Las cisternas comunitarias también eran comunes. Usaron tecnologías como trampas de sedimentos antes de ingresar a la gran cisterna, que podría contener hasta 1,000,000 de galones de

agua. Incluso embalses más grandes podrían contener 11.000.000 galones de agua, como uno encontrado en Madaba, Jordania (Torres Hugues, 2019).

Los romanos sobresalieron en muchos avances tecnológicos, incluida la recolección de agua de lluvia y los acueductos. Construyeron ciudades enteras con la infraestructura para desviar el agua de lluvia hacia grandes cisternas. Los romanos usaban esta agua recolectada para beber, bañarse, lavarse, regar y para el ganado. Eran ingenieros maestros. De hecho, hay una cisterna de recolección de agua de lluvia construida para capturar el agua de lluvia de las calles de arriba en el Palacio Hundido, Estambul, que permanece hasta el día de hoy, y es tan grande que se puede navegar en ella. La edad de la recolección de agua de lluvia no ha alcanzado su punto máximo. Muchas granjas continuaron utilizando cisternas de agua de lluvia para alimentar al ganado (Torres Hugues&Fresquet-Blanco,2019).

En Loess Plateau en la provincia de Gansu en China existían pozos y jarras para la captación de agua lluvia desde hace más de 2.000 años. En Irán se encuentran los “abarbans”, los cuales son los sistemas tradicionales locales para la captación y almacenamiento de aguas lluvias. En Centroamérica se conoce el caso del Imperio Maya donde sus reyes sostenían a sus pueblos de modos prácticos, ocupándose de la construcción de obras públicas. Al sur de la ciudad Oxkutzcab (estado de Yucatán) en el pie de la montaña Puuc, en el siglo X A.C. el abastecimiento de agua para la población y el riego de los cultivos se hacía a través una tecnología para el aprovechamiento de agua lluvia, el agua era recogida en un área de 100 a 200 m² y almacenada en cisternas llamadas “Chultuns”, estas cisternas tenían un diámetro aproximado de 5 m, y eran excavadas en el subsuelo e impermeabilizadas con yeso. En Cerros, una ciudad y centro ceremonial que se encuentra en el actual Belice, los habitantes cavaron canales y diques de drenaje para administrar el agua de lluvia y mediante un sistema de depósitos, estos permitían que la gente permaneciera en la zona durante la estación seca cuando escaseaba el agua potable (año 200 D.C.). En otras zonas de las tierras bajas, como en Edzná, en Campeche, los pobladores precolombinos de esta ciudad construyeron un canal de casi 50 m de ancho y de 1 m de profundidad para aprovechar el agua de lluvia, este canal proporcionaba agua para beber y regar los cultivos (Torres Hugues, 2019).

6.2 Situación Actual de la Cosecha de Agua a Nivel Mundial

Se estima que alrededor de 100 millones de personas en el mundo dependen parcial o totalmente de estos sistemas, principalmente en las áreas rurales. Diversas tecnologías se emplean para la conformación de los mismos, por ejemplo, estanques, presas de tierra, aljibes, ollas de agua, molinos de vientos, bombas recíprocas de pistón, camiones cisternas, manantiales canalizados o

entubados, trampas de agua de lluvia, pilas recolectoras y techos cuencas, entre otros. Por su parte, los materiales usados en las cisternas han sido polietileno, ferrocemento, cal, placas de cemento, tela-cemento, bambú y materiales locales (Gonzalez, 2021).

A finales del siglo pasado se implementó en Tailandia, donde la población de las zonas rurales representa cerca del 80% y el acceso al agua es muy limitado, un programa para mejorar el acceso al agua mediante estos sistemas, que consistió en la construcción de un tanque de hormigón reforzado con bambú conectado a cada casa particular. También se puede encontrar esta solución en Kenya y Singapur. Para mitigar la escasez de agua, controlar inundaciones y asegurar agua para situaciones de emergencia, en Japón se han implementado los sistemas “Ronjinson” en el distrito de Mukojim, que llevan el agua de lluvia desde el techo de la casa, hasta un pozo subterráneo para almacenarla y extraerla mediante una bomba manual. Actualmente en La India, en las ciudades de Chennai y New Delhi, estos sistemas son obligatorios (Gonzalez, 2021).

Por su parte, el gobierno chino ha implementado el proyecto llamado “1.2.1” para la captación del agua de lluvia, con el cual se está suministrando agua a millones de personas y de cabezas de ganado. En este se auxilia a cada familia a construir un área de captación de agua de lluvia, dos tanques de almacenamiento del agua y un lote para la plantación de cultivos comercializables (Gnadlinger, 2015).

Por su parte, el gobierno de Canadá provee un subsidio en la compra de tanques para el aprovechamiento del agua de lluvia proveniente de los techos, siendo utilizada para regar los jardines y para uso doméstico (Torres Hugues, 2019).

En los Estados Unidos de América los SCALL (sistemas de cosecha de agua de lluvia) son empleados en 15 estados de este país, siendo Texas el estado donde más se utilizan y cuenta con alrededor de 50 compañías especializadas en el diseño de SCALL. Los SCALL han constituido en México una solución para el abastecimiento de agua para consumo humano dirigida a 13 millones de mexicanos ubicados en 3,3 millones de viviendas. Para ello han desarrollado cisternas revestidas con geomembrana, depósitos metálicos de 5 a 5000 m³, bolsas para almacenar aguas pluviales de 1 a 400 m³, entre otras (Fernandez, 2017).

6.3 La cosecha de Agua Lluvia en Ecuador y Cotopaxi

Ecuador es uno de los mayores exportadores de brócoli del mundo, con una industria que ha transformado la práctica agrícola y el uso de la tierra en las tierras altas centrales en los últimos años. La mayor parte del brócoli producido en Ecuador se cultiva en la provincia de Cotopaxi, y se estima que el 68% de las exportaciones nacionales se originan allí desde que comenzó la producción.

Aunque la vecina Pichincha ahora rivaliza con Cotopaxi como la provincia de mayor producción, la gran mayoría del brócoli cultivado en Cotopaxi (97%) todavía se exporta (Escobar y Sánchez, 2017).

La provincia de Cotopaxi cubre 6474,97 km² de las tierras altas centrales de Ecuador, las estribaciones de gran altitud y las tierras agrícolas en la llanura interandina. Brócoli es un cultivo intensivo en agua que, para plantar y cosechar a gran escala, requiere áreas extensas de tierras relativamente planas, de alto rendimiento e irrigación constante. Como tal, las grandes plantaciones ocupan la mayor parte de la tierra privilegiada dentro de los valles, rodeadas de un mayor número de granjas de subsistencia y de pequeña escala en parcelas menos fértiles y menos accesibles, una situación que refleja largas historias regionales de desigualdad. Un estudio en el valle de Alpamalagdocumenta las diferencias en el acceso al agua entre comunidades y plantaciones de brócoli. Habiendo instalado dos grandes reservorios a diferentes alturas en los cerros circundantes para maximizar las tasas de captación y flujo de agua, Selva Alegre tiene acceso a un suministro de agua de 55.4Lps, en marcado contraste con ella la comunidadCinco de Junio de solo 4Lps.Esta pequeña cantidad de agua para la comunidad se divide aún más entre los pocos residentes que tienen tierras que se pueden regar (tierras que se encuentran lo suficientemente cerca del único canal de riego, que la mayoría de las veces se seca). Las cifras del censo también subestiman la distribución desigual de los recursos hídricos en todo Cotopaxi en su conjunto: una de las fincas exportadoras de frutas más grandes de la provincia adquiere 200 Lps, mientras que, a nivel provincial, se estima que el 76% de los indígenas y campesinos los hogares no tienen riego, y el resto generalmente solo puede regar una parte de sus parcelas de tierra comparativamente pequeñas. Esto incide también en la disponibilidad de agua para consumo humano, cuyo flujo se ve severamente limitado, debiendo los usuarios rurales, asociados en las Juntas de Agua barriales, acudir al agua freática (Partridge, 2016).

No se registran programas gubernamentales de cosecha de agua lluvia para consumo humano, y los esfuerzos que se ha realizado, se enfocan en cosecha de lluvia para agricultura familiar. La implementación de “cosecha y siembra de agua” como una prácticaefectiva de un buen manejo de los recursos naturales partiendo de unprincipio de desarrollo desde las propias capacidades y potencialidades delos actores locales en donde el intercambio de saberes y la participaciónsocial son pilares fundamentales en la implementación de esta alternativa. La iniciativa tiene como única finalidad, de tener una mejor utilización y aprovechamiento sostenible del recurso que mantiene la vida, el agua. Se encuentra disponible una guía para cosecha de agua lluvia. Esta guía enseña cómo captar y almacenar de manera fácil y económicael agua de lluvia que se puede utilizar en la producción agrícola (chakraso huertos familiares), en el consumo animal abrevadero y limpieza delos

corrales), y en los quehaceres domésticos, como lavado de ropa y aseo de la vivienda, considerando la limitada disponibilidad de agua entubada en las comunidades altas de la Provincia de Chimborazo (Hirozumi, 2015).

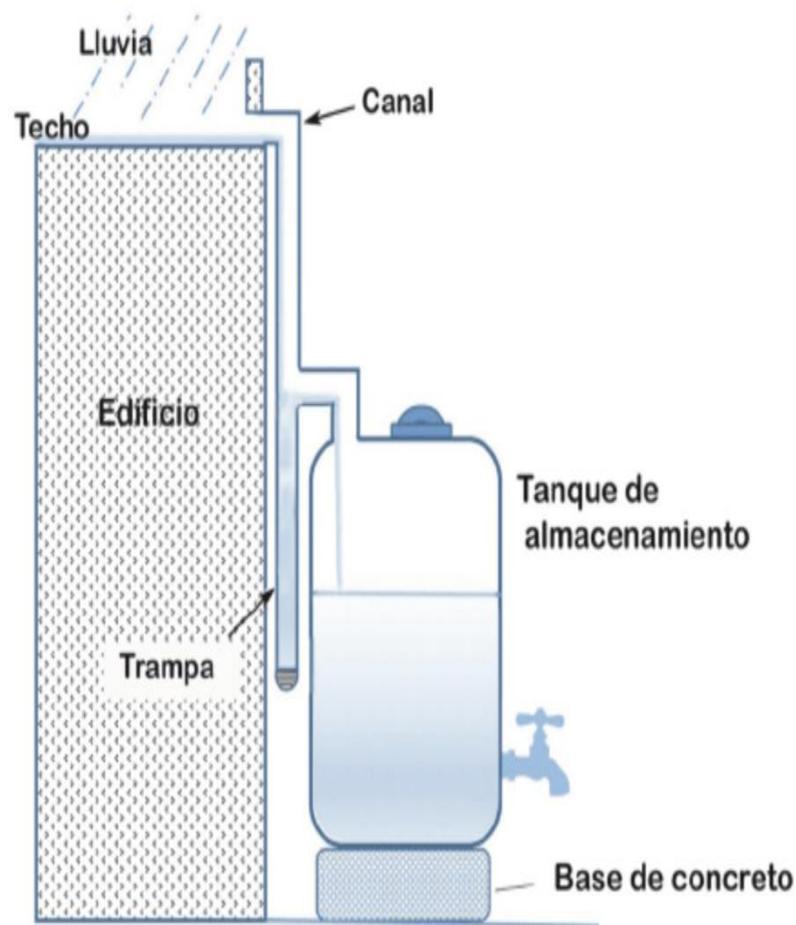
6.4 Métodos y Técnicas de Cosecha de Agua Lluvia en Zonas Áridas

A pesar de que el agua es uno de los recursos naturales más abundantes en el planeta, su disponibilidad para el hombre apenas alcanza el 0.62%. Este porcentaje representa el agua que se localiza en lagos, ríos y agua subterránea. Este bajo porcentaje se explica por el hecho de que alrededor del 97% del agua en el planeta se encuentra en los mares, o bien, en diversas masas salinas que no están disponibles en forma inmediata para uso humano. El resto se encuentra en estado sólido, por lo que se considera prácticamente inaccesible para el hombre. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación ha estimado que alrededor del 40% de la población mundial sufre por carencia de agua; una prognosis para el año 2025 especifica que 1,800 millones de personas vivirán en regiones con escasez de este recurso (Gómez, et al., 2019).

La captación de agua de lluvia es una técnica muy antigua, donde el agua cosechada se almacena en aljibes o cisternas. Esta agua puede ser utilizada posteriormente para el suministro de una familia, o bien, para toda una ciudad. A medida que la tecnología se desarrolló en las capacidades de tratamiento del agua, las personas están en capacidad de usar el agua de lluvia en sus hogares como la principal fuente de agua una vez más (Torres-Hugues & Fresquet-Blanco, 2019).

De acuerdo con Gutierrez y Rubio (2014), en sistemas a pequeña escala, la lluvia se recolecta en los techos por dos razones; la primera es que no se requiere de bombeo o energía adicional, ya que el agua es captada por gravedad. La segunda razón es que los techos generalmente se encuentran limpios; aunque son acumuladores contaminantes como polvo y heces de aves, por lo que se requiere considerar la eliminación del agua que se capta en los primeros minutos de un evento de precipitación mediante la utilización de algún tipo de trampa. La trampa puede ser un tubo de PVC de aproximadamente 1 m de largo con un tapón de rosca en su extremo inferior (Figura 1).

El depósito puede estar sobre el suelo (Figura 1) o bien en el subsuelo. La ventaja de estar sobre el suelo es que no hay necesidad de utilizar una bomba para su extracción, mientras que un tanque enterrado sí requeriría la utilización de una bomba, aunque es más estético. Para el caso particular de zonas rurales existe la opción de usar el agua captada para recarga del acuífero en vez de almacenarla en un tanque.

Figura 1*Diseño de Trampa y Almacenamiento de Lluvia*

Nota. Se muestra el esquema de diseño de la trampa de gravedad en un sistema de captación de agua de lluvia en un tanque de almacenamiento sobre el suelo (Gutiérrez y Rubio, 2014).

De esta manera, los primeros minutos de lluvia se recolectan en la trampa desviando el agua captada subsecuentemente hacia el tanque de almacenamiento. Una segunda alternativa sería la utilización de un filtro antes de que el agua sea almacenada en el tanque respectivo (Gutiérrez & Rubio, 2014). Luego, el agua de lluvia se captaría en un dispositivo (barril, cisterna, aljibe) como se muestra en la Figura 2

6.5 Beneficios Potenciales de la Cosecha de Agua de Lluvia

La recolección de agua de lluvia tiene múltiples beneficios, pero el principal es que es una práctica de gestión sostenible del agua que puede ser implementada por cualquier persona en muchos niveles diferentes, desde un simple barril de lluvia hasta un sistema integral de recolección de agua de lluvia que se integra con un sistema de riego o plomería doméstica. El agua de lluvia

Figura 2

Captación Pluvial en Tanques de Almacenamiento



Nota. Tomado de Gutierrez & Rubio (2014)

recolectada es el candidato perfecto para el riego, además de muchos otros usos del agua. Mediante el uso de sistemas de recolección de agua de lluvia para suministrar agua para algunas o todas nuestras necesidades de agua, puede reducir nuestra dependencia del agua tratada por el municipio. En general, la recolección de agua de lluvia se considera una práctica socialmente aceptable y ambientalmente responsable en todo momento, que promueve la autosuficiencia (Rink et al., 2016).

6.6 Beneficios para la Conservación de Agua

El agua de lluvia que cae sobre su techo y propiedad es esencialmente gratuita. Todo lo que se necesita es un método para recolectarlo en un tanque o cisterna para su uso posterior. La recolección de agua de lluvia puede ser una gran herramienta educativa para que las personas reconozcan su consumo de agua individual o doméstico. Esto puede hacer que comiencen a conservar agua en otras áreas de su hogar. Para las comunidades que dependen del agua importada para satisfacer sus necesidades, la recolección de agua de lluvia que cae naturalmente en la comunidad puede reducir la necesidad de agua importada. La recolección de agua de lluvia ayuda a las empresas de servicios públicos a reducir las demandas máximas durante los meses de verano,

ahorrando agua tratada para usos de agua más importantes y apropiados. Si bien el agua de lluvia puede ser una fuente de agua primaria perfecta para muchos usos y situaciones, también es un excelente suministro de agua de respaldo para situaciones de emergencia (Sample et al., 2013).

6.6.1 Beneficios Ambientales de la Recolección de Agua de Lluvia

Torres Hugues&Fresquet-Blanco (2020), indican que la recolección de agua de lluvia puede reducir la escorrentía de aguas pluviales de una propiedad. La eliminación de la escorrentía puede reducir la contaminación del agua superficial con pesticidas, sedimentos, metales y fertilizantes. Al reducir la escorrentía de aguas pluviales, la recolección de agua de lluvia puede reducir el volumen y la velocidad del flujo máximo de una tormenta en los arroyos y ríos locales, reduciendo así el potencial de erosión de los riachuelos. Los sistemas de recolección de agua de lluvia se pueden emplear como métodos simples y efectivos para cumplir con los requisitos del programa de gestión de aguas pluviales de un municipio de propiedades individuales. Es una excelente fuente de agua para riego de plantas y jardines, ya que no contiene productos químicos como fluoruro y cloraminas (cloro).

6.6.2 Beneficios de la Relación Agua-Energía en la Cosecha de Agua Lluvia

Ramirez y Buriticá (2019), en su investigación sobre la relación agua-energía puntualizan que “En las ciudades existen dos tipos de sistemas de cosechas de aguas lluvias (SCALL): a) El centralizado; el cual, está asociado a las escorrentías por el suelo urbano y usualmente involucra a la infraestructura del sistema de drenaje ciudadano (alcantarillado de aguas pluviales) y puede abarcar el servicio comunitario, o del sistema de acueducto de la urbe; y b) el descentralizado; asociado al vertido de las cubiertas de los edificios y casas ciudadinas y que involucra infraestructura construida o modificada con tal finalidad. En los edificios y casas ciudadinas, los Sistemas de Cosecha de Aguas Lluvias (SCALL) son concebidos, diseñados e implementados para cumplir los fines del consumo industrial, de servicio o de vivienda y se especifican principalmente, como bien sustituto en los usos finales donde no es requerida la calidad potable del agua suministrada por el acueducto centralizado; aunque se encuentran aplicaciones donde el agua lluvia se plantea como sustituto económico del suministro de agua de toda la edificación. Los sistemas residenciales de cosecha de agua lluvia pueden ser unifamiliares y/o comunitarios. Los estudios teóricos, experimentales y empíricos han proporcionado pistas importantes para mejorar la eficiencia energética de los SCALL, que incluyen: (i) el uso de tanques de cabecera para mejorar el rendimiento de los sistemas de bombeo al reducir el número de arranques de la bomba y ajustar el caudal al mejor punto de eficiencia; (ii) el uso de bombas de baja presión para reducir la energía total incorporada al agua de lluvia; (iii) el uso de diámetros de tubería más grandes para reducir las pérdidas por fricción; (iv) el

uso de suministro directo de agua de lluvia con almacenamiento de agua de lluvia en tanques de cabecera y distribución por gravedad sin bombeo; (v) el aumento de la demanda de agua de lluvia para reducir la intensidad energética asociada con el modo de espera y el arranque de la bomba; (vi) para edificios de varios pisos, los arreglos de sistemas multi-tanques en cascada de cosecha de agua lluvia (SMTCCALL) que disminuyen la cantidad de volumen de agua de necesario bombeo, al alimentar los tanques y suministrar por gravedad a los distintos usos. Sin embargo, en última instancia, son las características locales, como la oferta y la demanda de agua de lluvia, el tipo de edificio (de una sola planta o de varias plantas), el diseño de subsistemas SCALL, el diseño del sistema de plomería de agua potable, la intensidad de la energía del agua de la ciudad, entre otros factores que determinarán si los rendimientos ambientales y económicos de los SCALL, son aceptables. Es decir, el mejoramiento de la eficiencia de los SCALL sigue siendo un traje diseñado a la medida del usuario. Todo este panorama justifica el desarrollo de fuentes alternativas de provisión de agua, en especial, de agua lluvia que desplace el uso de agua potable donde no sea necesaria, sobre todo en los ámbitos urbanos. Para ello se propone el desarrollo de una tecnología para la cosecha eficiente e inteligente de agua lluvia en condiciones urbanas de la ciudad de Bogotá; a través de un prototipo llamado SICCALL - Sistema Inteligente en Cascada para la Cosecha de Agua Lluvia. La implementación del prototipo SICCALL, en sus dos etapas iniciales ha logrado ahorros significativos en el consumo de agua potable de 24%, de su energía embebida en 25% y en el abatimiento de gases de efecto invernadero en un 27%. Este resultado, permite inferir sobre los potenciales beneficios individuales, sociales y ambientales de la implementación de políticas conducentes a estimular es la modalidad de gestión de la demanda de agua, a través de fuentes alternativas de agua como la lluvia. La intensidad energética de las actividades de suministro y sustitución, es un indicador útil para desarrollar la evaluación comparativa de la eficiencia. La lluvia como recurso distribuido puede ser valorado tanto como recurso hídrico y recurso energético; y así, constatar una vez más, la gran potencialidad de este recurso en localidades urbanas y rurales”.

6.6.3 Los Beneficios Económicos de la Recolección de Agua de Lluvia

La recolección y el uso de agua de lluvia para reemplazar el uso de agua municipal disminuye el valor de la factura de agua. La reducción del uso de agua municipal para áreas como el riego merma la cantidad de agua que un municipio tiene que tratar y bombear. Esto, a su vez, índice en un menor costo del servicio de agua para un municipio. La implementación generalizada de la recolección de agua de lluvia dentro del área de servicio de un municipio puede reducir las necesidades de desarrollo hídrico a largo plazo de una ciudad, lo que permite que la ciudad utilice sus inversiones existentes en infraestructura hídrica de manera más eficiente. El costo para la comunidad de suministrar agua tratada es cada año más caro. El costo de construcción de presas, tuberías y

plantas de tratamiento, sin mencionar el costo de mantenimiento y reemplazo de infraestructura, es enorme. Como usuarios de agua, los contribuyentes de la comunidad pagarán en última instancia esta factura en aumento. Por lo tanto, la práctica de recolección de agua de lluvia puede reducir la demanda de agua y así permitir que los municipios brinden el servicio de agua potable a un costo menor. El diseño e instalación de sistemas de recolección de agua de lluvia puede generar empleos sostenibles para la economía del futuro. La industria de recolección de agua de lluvia puede convertirse en un empleador líder en el movimiento de infraestructura verde. El agua de lluvia almacenada en el sitio en un sistema de recolección de agua de lluvia puede estar disponible para incendios forestales y ayudar a proteger la casa y la propiedad. Las compañías de seguros pueden ofrecer descuentos por almacenar agua en el lugar para la protección contra incendios (Lunduka, 2011).

6.6.4 Los Beneficios Auxiliares de la Recolección de Agua de Lluvia

Chen, et al., (2018), afirma que el agua de lluvia se puede utilizar para riego, uso de agua no potable en interiores y / o suministro de agua potable. La recolección de agua de lluvia puede proporcionar una fuente de agua independiente en áreas donde otras fuentes de agua no están disponibles, o la calidad del agua es inaceptable, o son demasiado caras de desarrollar o demasiado difíciles de obtener. Si se utiliza como fuente de agua potable, la dureza cero del agua de lluvia ofrece muchas ventajas. Elimina la acumulación de sarro en los electrodomésticos que podría ocurrir con el uso de otras fuentes de agua. Esto prolongará la vida útil de los electrodomésticos. Además, reduce la cantidad de detergente o jabones necesarios en los aparatos de lavandería y lavavajillas, reduciendo el dinero gastado en estos detergentes y jabones. El agua de lluvia de un sistema de recolección de agua de lluvia potable que se ha filtrado y desinfectado adecuadamente es una de las aguas de mejor sabor disponibles. No tiene los muchos productos químicos que están presentes en el agua tratada municipalmente, como el fluoruro o las cloraminas (cloro).

6.6.5 Beneficios Futuros de la Conservación del Agua

Desde que el gobierno de EE. UU. Promulgó estándares nacionales en la Ley de Política Energética de EE. UU. De 1992 y establecer estándares mínimos de eficiencia para todos los inodoros, duchas, urinarios y grifos fabricados en los Estados Unidos, las oportunidades para la conservación del agua en interiores han disminuido. Durante este tiempo, los estándares de eficiencia del uso del agua en exteriores se han descuidado un poco. Por lo tanto, la recolección de agua de lluvia brinda una gran oportunidad para lograr más beneficios de conservación de agua en todas y cada una de las propiedades residenciales y comerciales (Al-Ansari et al., 2014).

Es un hecho comprobado que la recolección de agua de lluvia ayudará a conservar el agua y reducirá el uso de agua municipal. Si bien hará estas cosas, simplemente instalar un barril de lluvia o una cisterna de agua de lluvia debajo de un bajante, no logrará mucho. Hay un componente clave que falta y es tener una estrategia o método para utilizar toda el agua de lluvia recolectada de manera eficiente. Si el agua de lluvia recolectada no se usa de manera eficiente, entonces el barril o tanque de lluvia esencialmente permanecerá lleno. Entonces, el agua de lluvia nueva de cada tormenta de lluvia simplemente desbordará el volumen de almacenamiento y no proporcionará ningún beneficio de conservación de agua. Por lo tanto, un sistema de recolección de agua de lluvia verdaderamente eficaz emplea un método para utilizar el agua de lluvia recolectada de manera oportuna. Esto podría lograrse mediante métodos tanto pasivos como activos. Un método pasivo podría utilizar un sistema de distribución que distribuya automáticamente el agua de lluvia por gravedad a través de una tubería de distribución o un sistema de tuberías. Un método activo sería a través de un sistema de bombeo que pueda presurizar el agua de lluvia en un sistema de riego automatizado (Martínez, 2018).

Como puede verse en los beneficios y ventajas enumerados anteriormente, la práctica de la recolección de agua de lluvia es una parte importante y vital del desarrollo de un camino de recursos hídricos sostenible para cualquier comunidad. A medida que los recursos hídricos locales se amplíen para proporcionar el crecimiento de la población y el desarrollo económico, serán necesarias nuevas estrategias y paradigmas de suministro de agua para satisfacer esta demanda. La recolección de agua de lluvia es un recurso sin explotar que podría desarrollarse rápidamente dentro de las comunidades y que también tendrá un impacto tremendo. La recolección de agua de lluvia es parte de una estrategia de suministro de agua sostenible para las comunidades locales (Sample et al., 2013).

6.7 Calidad de Agua y Riesgo para la Salud

El agua de lluvia está relativamente libre de impurezas, excepto las que recoge la lluvia de la atmósfera, pero la calidad del agua de lluvia puede deteriorarse durante la recolección, el almacenamiento y el uso doméstico. La suciedad, las hojas, los excrementos fecales de aves y animales, los insectos y la basura contaminada en las áreas de captación arrastrados por el viento pueden ser fuentes de contaminación del agua de lluvia, lo que genera riesgos para la salud por el consumo de agua contaminada de los tanques de almacenamiento (Ilyas et al., 2017).

La mala higiene al almacenar y extraer agua de los tanques o en el punto de uso también puede representar un problema de salud. Sin embargo, los riesgos de estos peligros pueden minimizarse mediante un buen diseño y práctica. Los sistemas de captación de agua de lluvia bien diseñados con captaciones limpias y tanques de almacenamiento respaldados por una buena higiene

en el punto de uso pueden ofrecer agua potable con un riesgo para la salud muy bajo, mientras que un sistema mal diseñado y administrado puede presentar altos riesgos para la salud. La contaminación microbiana del agua de lluvia recolectada indicada por *Escherichia coli* (o, alternativamente, coliformes termotolerantes) es bastante común, particularmente en muestras recolectadas poco después de la lluvia. También se han detectado en el agua de lluvia patógenos como cryptosporidium, giardia, campylobacter, vibrio, salmonella, shigella y pseudomonas (Li & Wu, 2019).

Sin embargo, la presencia de patógenos es generalmente menor en el agua de lluvia que en las aguas superficiales no protegidas, y la presencia de patógenos no bacterianos, en particular, puede minimizarse. Generalmente se encuentran concentraciones microbianas más altas en el primer flujo de agua de lluvia y el nivel de contaminación se reduce a medida que continúa la lluvia. Se puede encontrar una reducción significativa de la contaminación microbiana en las temporadas de lluvias cuando las cuencas de captación se lavan con frecuencia con agua de lluvia dulce (Ilyas et al., 2017).

Los tanques de almacenamiento pueden presentar criaderos de mosquitos, incluidas las especies que transmiten el virus del dengue. El agua de lluvia es ligeramente ácida y muy baja en minerales disueltos y como tal, es relativamente agresivo. El agua de lluvia puede disolver metales pesados y otras impurezas de los materiales del tanque de captación y almacenamiento. En la mayoría de los casos, las concentraciones de sustancias químicas en el agua de lluvia se encuentran dentro de límites aceptables; sin embargo, a veces se han informado niveles elevados de zinc y plomo. Esto podría deberse a la lixiviación de techos metálicos y tanques de almacenamiento o de la contaminación atmosférica (Malassa et al., 2014).

El agua de lluvia carece de minerales, pero algunos minerales, como calcio, magnesio, hierro y flúor, en concentraciones adecuadas, se consideran muy esenciales para la salud. Aunque la mayoría de los nutrientes esenciales se derivan de los alimentos, la falta de minerales, incluidos calcio y magnesio, en el agua de lluvia puede representar una preocupación para quienes siguen una dieta deficiente en minerales. En esta circunstancia, deben considerarse las implicaciones de utilizar agua de lluvia como fuente primaria de agua potable. La ausencia de minerales también significa que el agua de lluvia tiene un sabor particular o una falta de sabor que puede no ser aceptable para las personas acostumbradas a beber otras aguas naturales ricas en minerales. La calidad del agua debe gestionarse mediante el desarrollo y la aplicación de PSA que deben ocuparse de todos los componentes, desde las áreas de captación hasta el punto de suministro (Doria Argumedo, 2017).

6.8 Evaluación de Riesgos del Sistema

Los factores importantes para recolectar y mantener agua de lluvia de buena calidad incluyen el diseño adecuado y la instalación / construcción de sistemas de recolección de agua de lluvia. Los materiales utilizados en la captación y el tanque de almacenamiento deben ser adecuados para su uso en contacto con el agua de bebida y no deben ser tóxicos para los seres humanos. El agua de lluvia se puede recolectar utilizando el techo y otras captaciones sobre el suelo y se puede almacenar en tanques para su uso. La captación del techo está conectada con una canaleta y un sistema de tubería descendente para entregar el agua de lluvia al tanque de almacenamiento. La calidad del agua de lluvia está directamente relacionada con la limpieza de captaciones, canalones y tanques de almacenamiento (Kaposztasova et al., 2014).

6.9 Base Legal del Uso de Agua Lluvia en el Ecuador

El territorio de la república del Ecuador, es uno de los más mega diversos alrededor del mundo, dados sus factores climáticos, posición geográfica, así como la significativa presencia de agua, destacando por su hidrología y grandes cauces a lo largo y ancho del país. Del mismo modo, históricamente la presencia de éste líquido vital, ha sido tratado de manera preferente ya por los pueblos originarios e indígenas, los cuales supieron aprovecharla de muchos modos, tanto para el consumo humano, riego, así como con fines ceremoniales, pues este elemento formaba parte de la Pacha Mama (madre naturaleza). Sin embargo, el texto constitucional de 2008, es el primero en reconocer de manera explícita al agua como un derecho humano fundamental, lo cual le otorga una categoría especial, y sobre todo revela la importancia que se le da en la nueva construcción del Estado, lo cual concuerda con la realidad geográfica del país. En el art. 3, numeral primero, se establecen los deberes primordiales del Estado, en el cual se reconoce y garantiza sin discriminación el goce de entre otros derechos, al del agua para sus ciudadanos, y lo cual se desarrolla en el capítulo segundo, del Título II, que se refiere a los Derechos del Buen Vivir. En el art. 12, se reconoce ya el derecho humano al agua como fundamental e irrenunciable; y recordemos que este reconocimiento ya se hace en 2008, y será en el año 2010, cuando la Organización de Naciones Unidas, ONU, a través de la Asamblea General, el 8 de julio con Resolución 64/292, cuando se reconoce el derecho al agua potable y al saneamiento ambiental como un derecho humano esencial, el cual debe ser disfrutado a plenitud para el desarrollo de la vida y del resto de derecho humanos. Resolución que sin duda fue adoptada para garantizar el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo del Milenio, 2000-2015, principalmente aquellos que tienen relación con el agua, estos son la erradicación de la pobreza extrema y el hambre; reducción de la mortalidad de los niños menores de 5 años; mejorar la salud

materna; el combate del VIH, la Malaria y otras enfermedades; y, garantizar la sostenibilidad del medio ambiente (Martínez, 2017).

En cuanto al agua de lluvia específicamente, la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamientos del Agua, en el Artículo 61 establece el derecho a la igualdad y no discriminación en el acceso al derecho humano al agua. Se prohíbe toda discriminación por motivos de etnia, género, sexo, edad, idioma, religión, opinión política o de otra índole, origen nacional o social, posición económica, discapacidad física o mental, estado de salud, incluido enfermedades catastróficas, orientación sexual, identidad de género, estado civil o cualquier otra condición política, social o de otro tipo que pretenda o tenga por efecto anular o menoscabar el igual disfrute o el ejercicio del derecho humano al agua. Las políticas y las asignaciones de recursos en materia de agua y las inversiones en dicho sector se orientarán a garantizar el acceso al agua a todos los miembros de la comunidad en condiciones de igualdad. El Estado adoptará cuantas medidas de acción afirmativa sean necesarias con el objeto de promover la igualdad real en el ejercicio del derecho humano al agua, protegerá y atenderá de manera preferente a los grupos de atención prioritaria. El Artículo 62 de la misma Ley, se refiere a la Mujer y derecho humano al agua. Establece que toda política en materia de agua deberá incorporar la perspectiva de género de forma que se establezcan medidas concretas para atender las necesidades específicas de la mujer en el ejercicio del derecho humano al agua. Del mismo modo, se adoptarán medidas con el objeto de alcanzar la igualdad formal y material entre mujeres y hombres especialmente en las actividades de participación comunitaria sobre la gestión del agua, la obtención de la misma y el fortalecimiento de las mujeres como actoras de cambio. En lo referente a la captura y almacenamiento de agua lluvia, el Artículo 63 de la Ley, puntualiza que cualquier persona podrá almacenar agua lluvia en aljibes, cisternas, albarradas o en pequeños embalses, para fines domésticos y de riego para soberanía alimentaria, siempre que no perjudique a terceros y afecte a la cantidad y calidad que circule por los cauces públicos. La Autoridad Única del Agua establecerá los parámetros técnicos para definir el volumen de agua que puede almacenarse sin necesidad de autorización (Asamblea Nacional del Ecuador, 2014).

7. VALIDACIÓN DE LA PREGUNTA CIENTÍFICA

En función del objetivo general del presente estudio, se plantea la siguiente pregunta científica:

¿Puede un sistema de aprovechamiento de agua lluvia ser una alternativa a la fuente convencional de agua para consumo humano, en un entorno domiciliario rural?

En el entorno domiciliario en estudio, se ha demostrado que el aprovechamiento del agua de lluvia para uso humano, es una alternativa viable para compensar la falta de una fuente convencional de agua potable. El entorno domiciliario presentó una capacidad de captación de agua lluvia y el almacenamiento fue de dimensiones adecuadas, mismas que proveyeron de agua suficiente para las condiciones de consumo local. La operacionalización de filtrado y desinfección del agua fueron eficientes, asegurando la salubridad en el agua de consumo. La aceptación del agua por parte de los miembros del entorno domiciliario fue positiva, lo que valida la pregunta planteada y cumple con el objetivo general y específicos. El área efectiva de recolección fue de 172 m², por lo que la capacidad de recolección de lluvia, descontando las pérdidas de superficie efectiva del techado, y un descuento del 20% por pérdidas de agua durante la recolección, por efecto de la conducción y filtrado, suma un total de 81.184 l por año, considerando 590 mm de precipitación local anual. La demanda anual del entorno domiciliario de siete personas fue de 101.18 m³. Se incluyeron dentro de estas estimaciones la cantidad de agua que se utiliza para el lavado de ropa, el uso de los inodoros hidráulicos y el consumo personal de cada uno de los habitantes del entorno domiciliario. El consumo actual durante el período de estudio fue similar al calculado. Durante el periodo de investigación, las precipitaciones alcanzaron los 20 mm (marzo 2021). Las mayores precipitaciones se registraron precipitaciones de hasta 48 mm en la semana del 22 al 27 de abril de 2021. Los costos de implementación de un sistema de cosecha de agua lluvia son relativamente altos ya que se trata de un entorno domiciliario individual, llegando a 143 USD per cápita, en el caso del presente estudio.

8. Metodologías y Diseño Experimental

8.1 Metodología

En el presente estudio se aplicaron la metodología cuantitativa y cualitativa. La metodología cuantitativa, empleada por las ciencias naturales o fácticas, se vale de datos cuantificables a los cuales accede por observación y medición. Para su análisis se procedió a la utilización de gráficas estadísticas de las variables identificadas. La metodología cualitativa se enfoca en todos aquellos aspectos que no pueden ser cuantificados, como es el caso de la calidad de agua para consumo humano. Se trata de un procedimiento más bien interpretativo y subjetivo, para lo que se accedieron a los datos para su análisis e interpretación a través de la observación directa.

8.2 Métodos

Se aplicó el método descriptivo ya que su aplicación para casos como el del presente estudio, es concluyente. Para esto se recopilaron datos cuantificables que se analizaron con fines estadísticos en una población objetivo (el entorno domiciliario objeto del estudio). La información se estudió tal como se la registró, midiendo su evolución en el tiempo. Los datos recopilados permitieron tomar decisiones sobre la oportunidad de usar el agua capturada y solucionar el problema del entorno domiciliario.

8.3 Ubicación

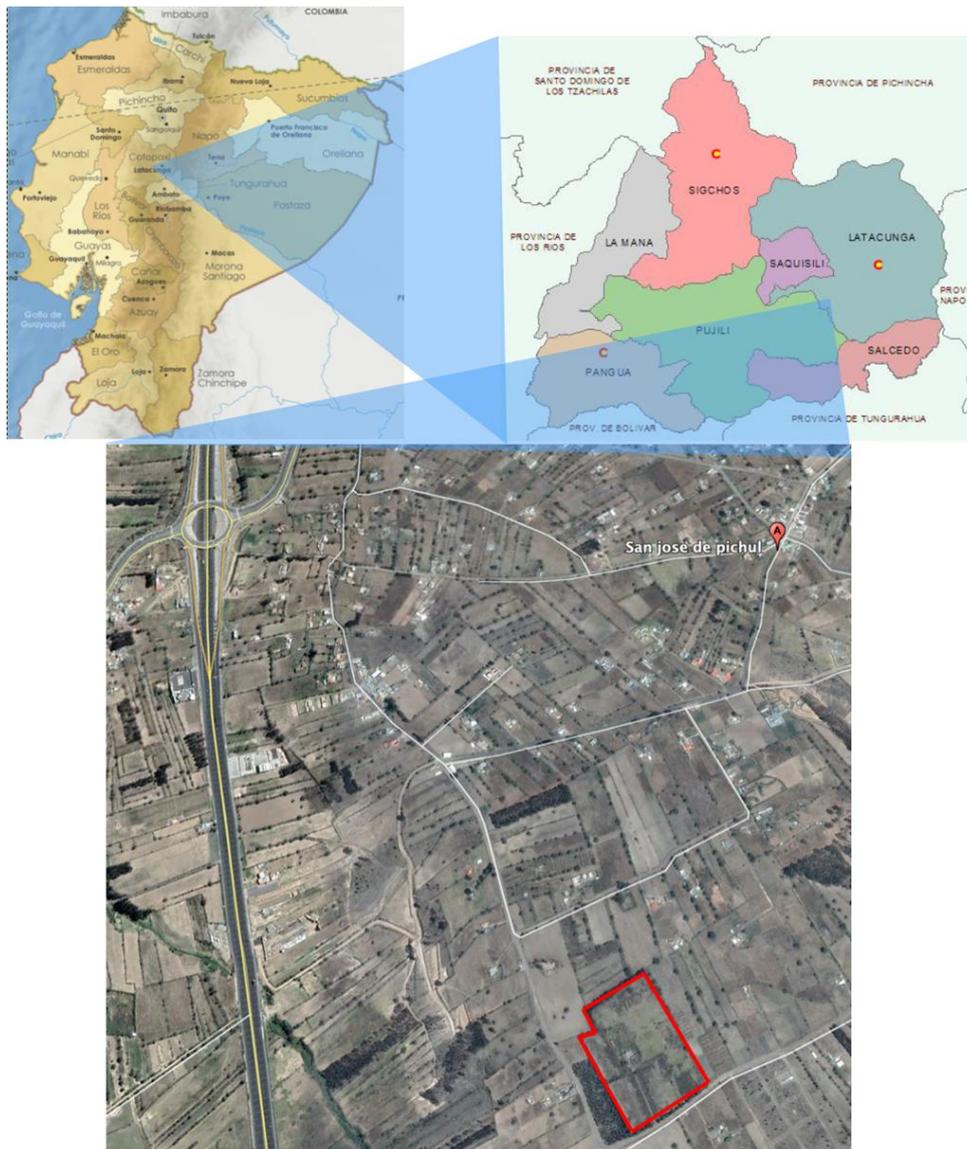
El estudio se realizó en el barrio San José de Pichul, parroquia 11 de Noviembre, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi. La ubicación geográfica específica del sitio del estudio corresponde al Plus Code 385X+5Q Pujilí. Se plantea el uso de códigos Plus (Plus Code) en el presente estudio, debido a la ausencia de una dirección con nombre de calle y número de casa para el sitio. Los códigos Plus se basan en la latitud y la longitud, se muestran como números y letras. Con un Código Plus, las personas pueden recibir entregas, acceder a servicios sociales y de emergencia, o simplemente ayudar a otras personas a encontrarlos. Son de fácil uso en las aplicaciones de localización como Google Maps, siendo más prácticos que el uso de coordenadas geográficas (Figura 3).

La provincia de Cotopaxi ocupa la Hoya Central Oriental del río Patate, se extiende desde los 78° 23' en la parte oriental, hasta los 79° 20' en el sector occidental, en la longitud de Greenwich; en el sentido norte-sur, se extiende desde los 0°20' hasta 1° 12' de latitud sur. La Extensión total de la provincia de Cotopaxi es de 6.108,23 km² (457.199 ha), con una densidad poblacional de 75 habitantes por km².

La “parroquia Once de Noviembre” se encuentra ubicada en la provincia de Cotopaxi, cantón Latacunga, años atrás la parroquia se la conocía con el nombre del caserío de San José de Illichisi, la misma que por Acuerdo Ejecutivo N° 417, con fecha 8 de junio de 1939, se eleva a “parroquia Once de Noviembre”, desde entonces, es parte de las parroquias rurales que pertenecen al cantón Latacunga.

Figura 3

Ubicación del Area de Estudio



Nota. Elaborado en base a información cartográfica del IGM e imágenes de Google Earth

El rango altitudinal de la parroquia va desde los 2850 hasta los 2.950 msnm. Debido a la falta de precipitaciones, solamente se tiene un ciclo al año del cultivo (8-9 meses) aprovechando las lluvias de octubre, noviembre, diciembre y enero, haciendo que en el tiempo restante (3 meses) el terreno pase sin labores. El rango de precipitación es de 500 a 1000 mm por año.

A nivel parroquial predomina el clima ecuatorial mesotérmico seco, con precipitaciones a veces inferiores de 500 mm por año y temperaturas de 10 a 20 °C (GADM Latacunga, 2016).

8.4 Diseño No Experimental

El presente proyecto se basó en la investigación no experimental ya que carece de la manipulación de una variable independiente, y la asignación aleatoria de participantes a condiciones u órdenes de condiciones. La investigación no experimental suele ser descriptiva o correlacional, lo que significa que está describiendo una situación o fenómeno simplemente tal como está, o está describiendo una relación entre dos o más variables, todo sin ninguna interferencia del investigador.

8.5 Procedimiento

8.5.1 Capacidad de Recolección de Agua Lluvia

Dimensiones del área de captura de agua lluvia. En el domicilio de las familias estudiada, se procedió a tomar las dimensiones del área de techo de las construcciones de vivienda. El dimensionamiento se lo hizo en metros y las áreas fueron calculadas en metros cuadrados.

En cuanto al tipo de materiales subyacentes del área de captura de agua, se verificó el tipo de material de cubierta del techo se tomaron las características y se buscaron las especificaciones en línea y en proveedores locales.

El registro de la precipitación durante el tiempo de estudio para estimar la capacidad de recolección, se lo realizó utilizando un dispositivo de captación de lluvia adecuado para el efecto. El mismo es construido de material plástico de alta durabilidad y consta de una tapa de captación y un sistema de mantenimiento de temperatura interior constante.

8.5.2 Procesos de Cosecha y Acondicionamiento de Agua Lluvia para Consumo Humano

Para el cálculo de los requerimientos de agua del entorno domiciliario y la capacidad de almacenamiento se utilizaron los algoritmos y software de la empresa RainWater Harvesting (<https://www.rainwaterharvesting.co.uk/content/tanks-size-calculator-7>).

También se recurrió al uso del Software de cálculo de Sistema de Captación y Aprovechamiento de Agua de Lluvia (SCALL) para propósitos múltiples, desarrollado por el INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria de Argentina) en el Centro Regional Santa Fe. Este software requiere como variables el número de personas del entorno doméstico, el consumo recomendado por organismos nacionales y el consumo actual por persona.

Para la instalación de la capacidad de almacenamiento del entorno, se consideró las dimensiones dadas por el software de SCALL. Dadas las condiciones locales se procedió a evaluar la disponibilidad de contenedores de diversos materiales disponibles en el mercado. La capacidad de almacenamiento mínima de estos contenedores fue de 1 m³.

El desarrollo de sistemas primarios de acondicionamiento de agua para consumo humano incluyó el diseño de un filtro de gravedad y un filtro de graba los mismos que fueron utilizadas en diferentes instancias para verificar la eficacia de la remoción de sólidos. Asimismo, se instaló un sistema de desinfección de agua por radiación ultravioleta cuya operación se hizo con un sistema autónomo de energía solar.

8.5.3 Características del Agua Acondicionada para Consumo Humano

El muestreo de agua acondicionada se lo realizó siguiendo las indicaciones del laboratorio para el efecto. El agua se recolectó en una toma genérica del entorno domiciliario, cuidando de qué se observe la máxima asepsia posible. Los envases para recoger el agua fueron desinfectados adecuadamente. Los envases fueron de material plásticos para asegurar su utilidad.

El análisis de laboratorio del agua recolectada se lo realizó en un laboratorio especializado, considerando las limitaciones para el uso de los laboratorios de la Universidad Técnica de Cotopaxi, por el estado de excepción generado por la pandemia COVID-19.

8.6 Materiales y Equipos

8.6.1 Materiales

Techo de acero galvanizado

Tanques de plástico de 1 m³

Carbón vegetal 33%

Grava 33%

Arena de cuarzo 33%

Tubería PVC de 100 mm para el filtro de gravedad.

8.6.2 Equipos

Laptop

Esterilizador UV purificador de agua con luz ultravioleta Bluonics para sistema de agua potable 0.5 GPM

Bomba sumergible de 12 voltios 3 galones por hora

Panel solar 18 V 50 Watts

Controlador para panel solar, 20 A, 12 V

Inversor de 12 V a 120 V, 750 Watts

9. Análisis y Discusión de los Resultados

9.1 Capacidad de Recolección de Agua Lluvia en el Entorno Domiciliario

9.1.1 Dimensiones del Área de Captura de Agua Lluvia

Figura 4

Vista Frontal del Entorno Domiciliario en el Estudio



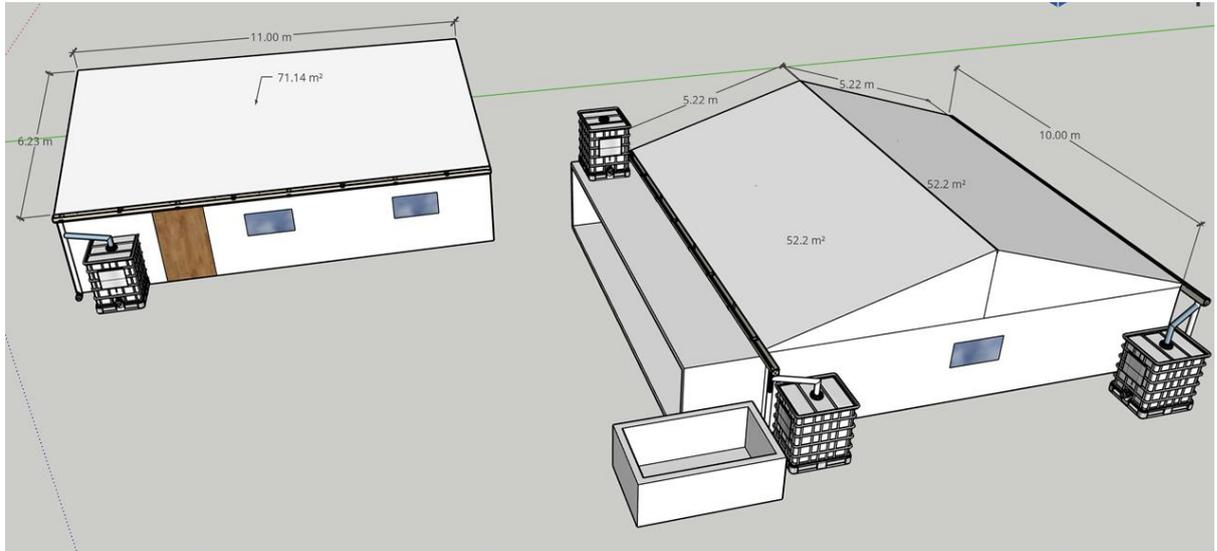
Nota. Imagen Digital Capturada por los autores

El entorno domiciliario en el que se llevó a cabo la investigación, consta de dos viviendas de construcción mixta. Estas construcciones se encuentran localizadas en el barrio San José de Pichul de la parroquia 11 de noviembre, dentro de una propiedad de 4 ha la cual ha sido destinada a conservación, por lo que no se hacen labores agrícolas, reduciéndose la cantidad de polvo producido. Las viviendas son utilizadas para fines de habitaciones, área social y de cocina. Además, cuenta con un patio con piso de concreto rígido (Figura 4).

El área de implantación es de 6×11 m para la vivienda, que está dedicada a área social y cocina y de 9×12 m para la otra sección la que está dedicada a área social y dormitorios. Los techos muestran diferentes dimensiones al área de implantación, ya que la cubierta está hecha a dos caídas con una inclinación de 30° .

Figura 5

Dimensiones del Área de Captación



Nota. Elaborado por los autores en el software Sketchup Web

La Figura 5, muestra el diagrama de dimensiones del área de captación de las viviendas. El bloque primero presenta un área de captación de 71.14 m², en tanto que el segundo bloque muestra 1 área de captación de dos alas, de 52.2 m² cada una. El área total de captación de todo el entorno

Tabla 3

Determinación del Área de Recolección en Techo

				Collectable Roof Area (m ²)		
Main Building	Width:	<input type="text" value="6.23"/>	Length:	<input type="text" value="11"/>	Rain Collection Area:	68.53 m ²
Extension one	Width:	<input type="text" value="5.22"/>	Length:	<input type="text" value="10"/>	Rain Collection Area:	52.19999999999996 m ²
Extension Two	Width:	<input type="text" value="5.22"/>	Length:	<input type="text" value="10"/>	Rain Collection Area:	52.19999999999996 m ²
Extension Three	Width:	<input type="text" value=""/>	Length:	<input type="text" value="0"/>	Rain Collection Area:	0 m ²
Or the total roof area, if you already know it:				<input type="text" value="0"/>	Total area of collectable roof space:	172 m ²
Select Your Region		<input type="text" value="Midlands"/>		Average rainfall per year in your region:	59 L	
Collectable rainwater per annum in litres - discounted by 20% to account for water loss						81184 L

Nota. Calculado con datos locales, en el estimador en línea de RainWater Harvesting, UK domiciliario suma 175.54 m².

Al ingresar las dimensiones de los techos de las viviendas, el software provisto por RainWater Harvesting, UK, se estableció que el área efectiva de recolección es de 172 m². El nivel de precipitación local se consideró en 590 mm de lluvia por año, dentro de los promedios para la región (500 a 1000 mm por año). La capacidad de recolección de lluvia, descontando las pérdidas de superficie efectiva del techado, y un descuento del 20% por pérdidas de agua durante la recolección, por efecto de la conducción y filtrado, suma un total de 81,184 l por año de agua de lluvia recolectable (Tabla 3). Esta capacidad puede ser mejorada al disminuir las pérdidas de agua en filtrado. Para ello, diferentes tipos de filtros pueden ser implementados, especialmente aquellos que tienen mecanismos automáticos de limpieza. La recolección de agua de lluvia en superficies impermeables domiciliarias es una tecnología alternativa que ha cobrado relevancia en los últimos años impulsada por el concepto de desarrollo sostenible, basado en la orientación del cambio

Tabla 4

Requerimiento Estimado de Agua en el Entorno Domiciliario

Use of rainwater in the building		
Number of people or bedrooms in the building -	people: <input type="text" value="7"/>	bedrooms: <input type="text" value="3"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Number of clothes washing cycles per day (50 litres each)	1.75 Cycles	87.50 L
<input checked="" type="checkbox"/> Number of toilet flushes per day (4.42 flushes per person, average 5 litres each)	30.94 Flushes	154.70 L
Outdoor use in litres, per person per day (recommended 5 litres per person per day)	<input type="text" value="5"/>	35.00 L
Amount of water you require every day		277.2 L
Amount of water you require every year	DEMAND	101178 L

Nota. Calculado con datos locales, en el estimador en línea de RainWater Harvesting, UK tecnológico para garantizar la satisfacción de las necesidades humanas presentes y futuras, con relación a los alimentos, agua, energía, etc. (Gómez et al., 2018).

En la Tabla 4, se establece el requerimiento estimado de agua en el entorno domiciliario. Se consideran siete personas que viven en este entorno distribuidos entre los dormitorios y las áreas sociales correspondientes. Se incluye dentro de estas estimaciones la cantidad de agua que se utiliza para el lavado de ropa, el uso de los inodoros hidráulicos y el consumo personal de cada uno de los habitantes del entorno domiciliario. La demanda anual de acuerdo con este estimado, llega a 101.18 m³ por año, según el cálculo efectuado en el software de RainWater Harvesting UK (<https://www.rainwaterharvesting.co.uk/>). Este requerimiento está establecido considerando que el sistema de saneamiento es hidráulico, pero en el caso específico de este entorno domiciliario, el saneamiento aplicado es sostenible, ya que cuenta con un baño compostero que permite reducir el

consumo de agua en el manejo de desechos humanos. Sin embargo, el entorno domiciliario cuenta con un baño hidráulico también, el cual es utilizado eventualmente. Se considera que el ahorro de agua al usar este tipo de inodoro compostero, llega a 60% del total del agua estimada para la gestión de desechos humanos. Por tanto, el requerimiento hídrico de la vivienda se reduciría significativamente, considerando que cerca del 60 % del agua potable usada se usa para el transporte de desechos al alcantarillado (Rink et al., 2016).

Tabla 5

Valores para el Dimensionamiento del Área de Captura de Agua Lluvia

		Final Figures
How many days drought protection do you need? Typically 21 (18 minimum)		<input type="text" value="60"/>
Capacity of water storage in litres required for drought protection		16632.00 L
The lesser of YIELD (blue) or DEMAND (green) per annum		81184 L
Therefore, volume of rainwater storage required		13345 L
		Conclusion
Is there sufficient roof water available:		YES
Recommended tank size from our shallow dig range:	F-Line Range:	Use Multiple F-Line Tanks [15,000 litres +]
Select the carat range if you require a deep dig tank:	Carat Range:	Use a twin 6500 Carat kit [13,000 litres]

Nota. Calculado con datos locales, en el estimador en línea de RainWater Harvesting, UK

Para las condiciones de clima ecuatorial mesotérmico seco, en donde está asentado el entorno domiciliario en estudio, se ha determinado un número de 60 días de protección de sequía. Es decir que el sistema debe dimensionarse para proveer de agua durante 60 días sin que se presenten lluvias. Esta época seca comprende los meses de julio y agosto, temporada que también presenta la mayor cantidad de aerosoles en la atmósfera. Esto da la seguridad de poder proveer agua al entorno domiciliario aun cuando se presente un periodo sin lluvias prolongado. Las condiciones locales y los registros de precipitación indican que las lluvias ocurren con lapsos máximos de 45 días, según las estimaciones de RainWater Harvesting (2021). La capacidad de almacenamiento calculada para la protección en sequía es de 16 m³ (Tabla 5). Esta capacidad instalada también proveerá de un estimado de 81 m³ durante todo el año, alternando periodos de sequía y periodos de lluvia. Con el fin de enfrentar estos lapsos de sequía lluvia, y reducir significativamente el riesgo de falta de suministro de agua, se debería llevar una contabilidad detallada del suministro y la demanda de agua desde el principio del proceso.

Las estrategias bien intencionadas, pero mal informadas para afrontar la escasez de agua pueden tener efectos negativos significativos en la forma en que el agua es distribuida dentro del entorno, sin obtener el ahorro esperado. La variabilidad interanual de la precipitación influye positiva o negativamente en la cantidad de lluvia disponible para la recarga de los reservorios. La lluvia no se distribuye uniformemente en el tiempo y en el espacio, y una gran parte de los recursos hídricos locales se encuentra muy lejos de los núcleos de población o en lugares en los que la demanda es baja. Puesto que las precipitaciones tampoco son uniformes en el tiempo, es posible que el máximo de precipitación se produzca durante la estación del año con menos demanda (FAO, 2007).

9.1.2 *Materiales Subyacentes del Área de Captura de Agua*

Figura 6

Detalle del Material de Cubierta del Entorno Domiciliario



Nota. Imagen Digital Capturada por los autores

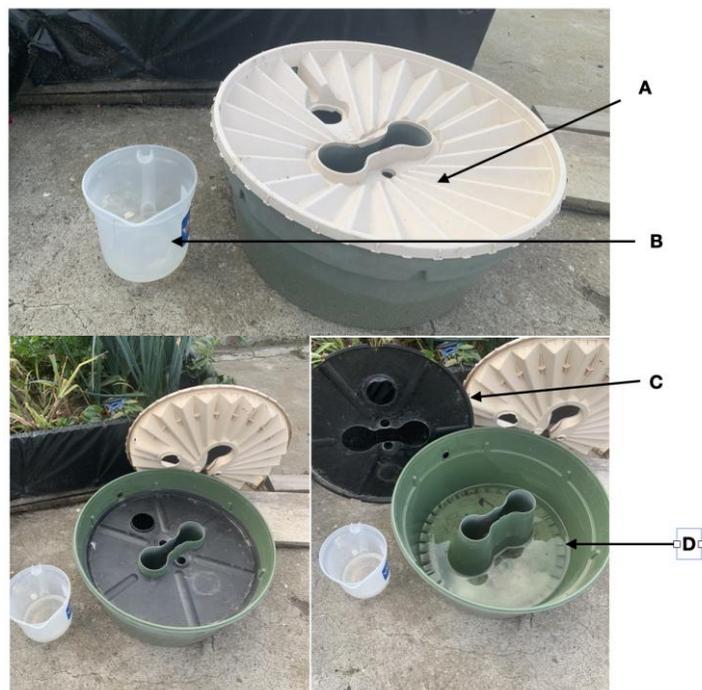
Una de las primeras adecuaciones que se hizo a la vivienda, fue el cambio del tipo de cubierta. Los materiales originalmente encontrados en las cubiertas fueron tejas de arcilla recubiertas con barniz de plomo. Éste tipo de material tiene desventajas muy significativas en la calidad final del agua. La arcilla cocida es altamente higroscópica y absorbe gran cantidad de la precipitación en su estructura. Esto reduce la cantidad de lluvia con potencial de ser cosechadas además de que en su superficie se desarrollan hongos y líquenes que ayudan a la absorción de agua y dan lugar a la generación y acumulación de contaminación biológica. Con el fin de recolectar el agua de lluvia, se reemplazó el techo de teja por uno de acero galvanizado. Este material es uno de los más inertes e inoocuos que se puede encontrar en el mercado. Otros tipos de materiales que se ofrecen, ya sea con cubierta de pintura o con barnices sintéticos y plásticos, tienden a liberar sustancias tóxicas que van a

desmejorar la calidad de agua recolectada. Las viviendas del estudio están adecuadas con techos de acero galvanizado en la totalidad del área de captura de agua (Figura 6). Aunque se conoce que el material del techo, como zinc, hierro, o materiales con barnizados en base a plomo, constituyen fuentes metales pesados en el agua recolectada utilizada para beber, estudios actuales han demostrado que no son fuentes primarias.

Las mayores fuentes pueden atribuirse a la quema incontrolada (incineración) de desechos sólidos en vertederos ilegales de desechos, donde las cenizas y el polvo de estos desechos incinerados con metales pesados se transportan a través del viento a los techos de las casas y, en consecuencia, al agua de lluvia recolectada. Otras fuentes de estos metales pesados son los escapes de los vehículos y las fugas de motores, pesticidas, arena, tierra, limo y otros. Además, la quema de desechos sólidos específicos, por ejemplo, baterías, ruedas de automóviles para obtener metales recuperados de estos desechos (hierro, cobre, plata, etc.) para venderlos, puede ser una fuente importante de contaminantes (Malassa et al., 2014). Precipitación Registrada

Figura 7

Detalle del Colector de Precipitación Térmicamente Aislado



Nota. Imágenes Digitales Capturadas por los Autores

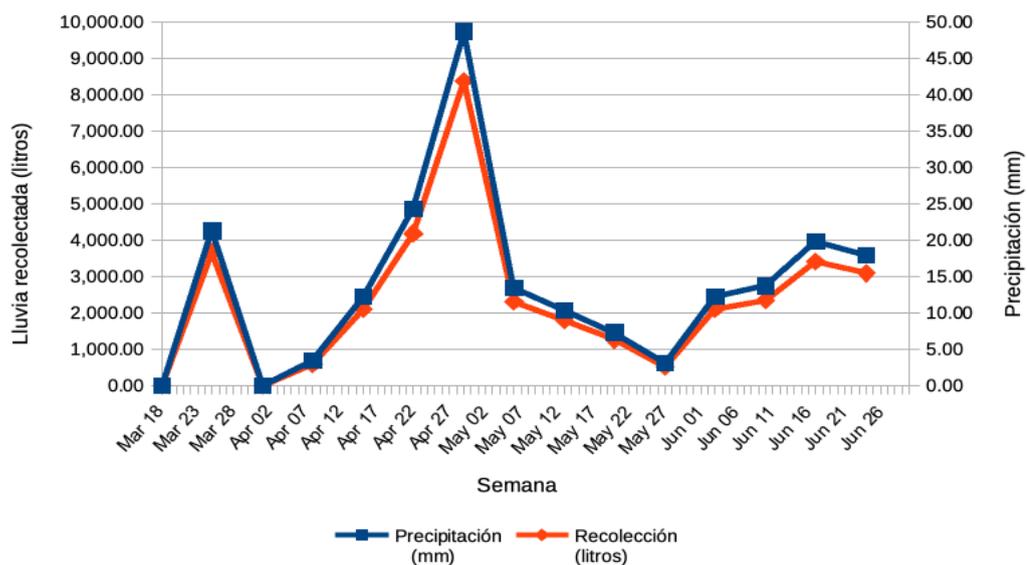
- A. Tapa de captación que optimiza el flujo de agua hacia el receptáculo
- B. Jarra graduada en ml para medir el agua recolectada.
- C. Placa intermedia para prevenir el crecimiento de algas y la evaporación
- D. Recipiente para almacenar el agua Recolectada

La toma de datos de precipitación y recolección de aguas lluvias, se inició la semana del 18 de marzo. Para ello se utilizó un recolector de agua con medidor calibrado con protección para temperatura y viento, con el fin de minimizar la evaporación de la superficie de agua (Figura 7).

Su área de captación es de 0.164 m², ya que la tapa de recolección presenta un radio de 0.23 m. Las mediciones se realizaron en las semanas del 18 de marzo al 24 de junio de 2021. La toma de datos durante 15 semanas se considera adecuada para establecer la cantidad de agua que el entorno domiciliario recibe durante la época de lluvias en la zona

Figura 8

Registros de Precipitación v Recolección de Agua Lluvia



Nota. Elaborado por los autores

En la Figura 8 se registran las precipitaciones semanales acumuladas para el periodo de investigación. Las precipitaciones del mes de marzo alcanzaron los 20 mm y se pudieron coleccionar hasta 4 m³ de agua en el área de captación.

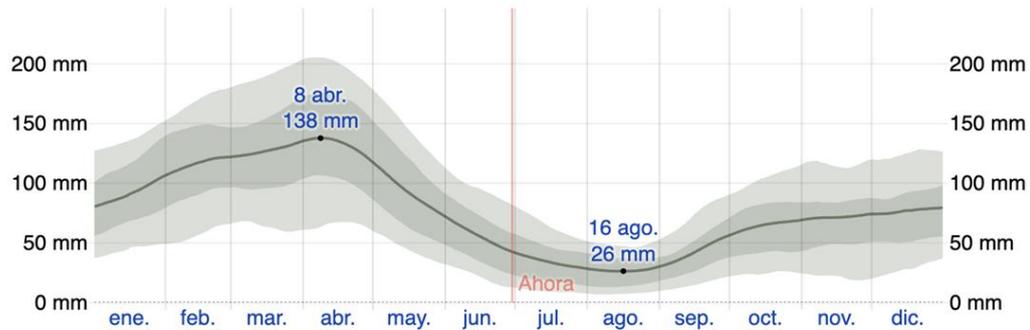
Durante el mes de abril se registran las mayores precipitaciones llegando a los 48 mm en la semana del 22 al 27 de abril. Aunque los datos locales varía con respecto a los registrados por el servicio internacional meteorológico Weather Spark, las tendencias estacionales concuerdan con los datos de dicho servicio.

Durante el mes de mayo se registró una disminución en las precipitaciones, las cuales se incrementaron en el mes de junio. Históricamente el mes de junio presenta lluvias significativas que

permiten recolectar un importante volumen de agua para enfrentar el período de sequía de los meses de julio, agosto y septiembre.

Figura 9

Registros y Estimaciones de Precipitación para el Cantón Latacunga



Nota. Gráfico recuperado de la página Web del servicio meteorológico WeatherSpark. Weatherspark. (2021).

Se estima que el tiempo de estiaje se prolonga hasta por 60 días, valor considerado dentro del cálculo para almacenamiento de agua en el entorno domiciliario. La Figura 9 muestra la tendencia histórica de las precipitaciones en el entorno cercano al sitio de estudio en donde se observa que las lluvias retornan a inicios del mes de septiembre, prologándose por el resto del año.

9.2 Procesos de cosecha y acondicionamiento de agua lluvia para consumo humano

9.2.1 *Requerimientos de agua del entorno domiciliario y capacidad de almacenamiento.*

Las Naciones Unidas, a través de sus organizaciones UNESCO y OMS, ha determinado los requerimientos de agua potable de la población. Estos requerimientos están de acuerdo con lo establecido en el objetivo de desarrollo 6, Agua Limpia y Saneamiento. Los valores establecidos por la UNESCO y OMS, son los que el ser humano necesita para satisfacer sus necesidades, dentro de un esquema de ciudad sanitaria, es decir, con el sistema de alcantarillado convencional y la centralización de la gestión de suministro de agua potable y de manejo de aguas residuales. Se asumen que estos valores se deben observar en condiciones de desarrollo urbano ideal, sin considerar las limitaciones que el acceso al agua segura en diferentes entornos urbanos marginales y rurales. En la actualidad, millones de personas viven con una escasez absoluta de agua y se prevé que en 2025 esta cifra llegue a los 2.800 millones. Las proyecciones indican que por cada grado que suba la temperatura global, aproximadamente el 7 % de la población mundial quedará expuesta a una disminución de, al menos, el 20 % de recursos hídricos renovables (PNUD, 2016). Bajo estas

consideraciones, los requerimientos de agua deben ajustarse a nuevos modelos de gestión de agua domiciliaria, incluyendo la gestión de desechos humanos sostenible.

Tabla 6

Demanda mínima por persona para diferentes usos del agua en regiones con limitantes de fuentes de agua		Demanda recomendada por persona para diferentes usos del agua en regiones sin restricciones de fuentes de agua	
Rubro	Demanda (l/día)	Rubro	Demanda (l/día)
Consumo personal	3	Consumo personal	3
Para la cocina	3	Para la cocina	10
Lavado	15	Lavado	27
Higiene personal	15	Higiene personal	30
Sanitario	14	Sanitario	30
Total	50	Total	100

Demanda por persona para diferentes usos del agua según UNESCO		Demanda mínima por persona del uso del agua según OMS	
Rubro	Demanda (l/día)	Rubro	Demanda (l/día)
Cocina	6	Uso multipropósito	50
Para alimentos	5		
Lavado	15		
Higiene personal	30		
Sanitario	40		
Varios	4		
Total	100		

Estándares Internacionales de Necesidades de Agua y Uso Humano

Nota. Tomado del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD (2016)

En la Tabla 6 se muestran los estándares internacionales de necesidades de agua, que indica que la demanda mínima por persona en regiones con limitaciones en el acceso de fuentes de agua segura es de 50 litros por día.

La siguiente fórmula fue aplicada para el cálculo total de la demanda de agua en el entorno domiciliario para un período mensual, el cual puede prorratearse al requerimiento anual del entorno domiciliario (Basan & Tosolini, 2017).

$$D_j = \frac{Nu * Dot * Nd_j}{1000} \qquad D_{anual} = \sum_{j=1}^{12} D_j$$

Donde:

- D_j = Demanda de agua en m^3 en el mes j
- Nu = Número de usuarios que se benefician del sistema
- Dot = Dotación de agua en litros/persona/día
- Nd_j = Número de días del mes j
- D_{anual} = Demanda anual de agua de la población (m^3)
- j = Índice del número de mes
- 1000 = factor de conversión de litros a m^3

Tabla 7*Demanda familiar de agua para consumo humano calculada*

Rubro	Nº integrantes familia	Dotación diaria [litros/día]	Demanda diaria familiar [litros/día]
Consumo personal		3	21
Para la cocina		3	21
Lavado	7	12	84
Higiene personal		12	84
Sanitario		2	14
Otro			0
Total diario			224
Total anual			81760

Nota. Elaborado por los autores, utilizando el software SCALL (Basan & Tosolini, 2017)

Utilizando las variables del entorno domiciliario, se aplicó el software desarrollado por Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA de Argentina (Basan & Tosolini, 2017). El entorno domiciliario en estudio se caracteriza por aplicar sistemas de gestión sostenible de agua, alimentos y desechos. Se ha implementado un sistema de gestión de desechos humanos de separación. Esto permite reducir significativamente la cantidad de agua utilizada para la gestión de desechos humanos. El entorno domiciliario cuenta con un inodoro hidráulico, que es utilizado ocasionalmente. Por ello se asigna un consumo personal agua de 2 litros y 14 litros/día para el entorno familiar. Según lo anota Curutchet et al. (2015), los baños secos con separación de orina y uriniales secos no utilizan agua: en contrapartida, los inodoros comunes usan entre 3 y 12 litros por descarga y los uriniales de 1 a 4 litros. Los inodoros con separación de orina y descarga también pueden reducir el consumo comparándolos con los inodoros convencionales; esto sucede porque la descarga de orina usa un nivel bajo de agua, principalmente para lavar gotas de orina que puedan permanecer, así como papel higiénico usado (se estiman entre 0,5 y 2 litros, dependiendo del modelo).

También el aspecto del lavado de ropa es considerado crítico en el uso de agua en el entorno domiciliario. Originalmente el lavado se realizaba en un sistema de lavado automático programable, cuyo consumo de agua llegaba a 120 litros por ciclo de lavado. En vista de las restricciones de agua y la baja calidad de agua de la red, no adecuada para el lavado de ropa, se cambió a un sistema de lavado semi automático con opción a reciclaje de agua de lavado. El agua para consumo en el lavado de ropa, se estima en 84 litros por ciclo, considerando un ciclo de lavado diario.

En cuanto a higiene personal, se cuenta con un sistema de ducha de micronización de agua, que reduce el tamaño de las gotas de agua, incrementando su superficie específica para dar una mayor eficiencia en el aseo corporal. Por ello se determinó la necesidad de 84 litros diarios para este servicio. La estimación de consumo se resume en un requerimiento de 224 litros diarios para el entorno domiciliario de 7 personas, equivalentes a 1568 litros semanales, lo que totaliza en 81.76 m³ anuales (Tabla 7).

Tabla 8

Registro de Consumo de Agua en el Entorno Domiciliario (Litros/Semana)

Semana	Consumo Personal	Cocina	Lavado	Higiene personal	Sanitario	Consumo semanal
1	112.00	182.00	602.00	595.00	168.00	1659.00
2	189.00	112.00	546.00	553.00	154.00	1554.00
3	161.00	196.00	497.00	581.00	119.00	1554.00
4	98.00	140.00	518.00	539.00	161.00	1456.00
5	126.00	203.00	511.00	560.00	133.00	1533.00
6	168.00	154.00	518.00	525.00	133.00	1498.00
7	126.00	238.00	595.00	546.00	112.00	1617.00
8	147.00	196.00	546.00	539.00	119.00	1547.00
9	182.00	147.00	581.00	553.00	168.00	1631.00
10	119.00	126.00	532.00	595.00	126.00	1498.00
11	126.00	140.00	546.00	588.00	140.00	1540.00
12	98.00	203.00	595.00	574.00	112.00	1582.00
13	154.00	168.00	504.00	588.00	105.00	1519.00
14	133.00	154.00	581.00	581.00	105.00	1554.00
15	105.00	168.00	567.00	595.00	133.00	1568.00

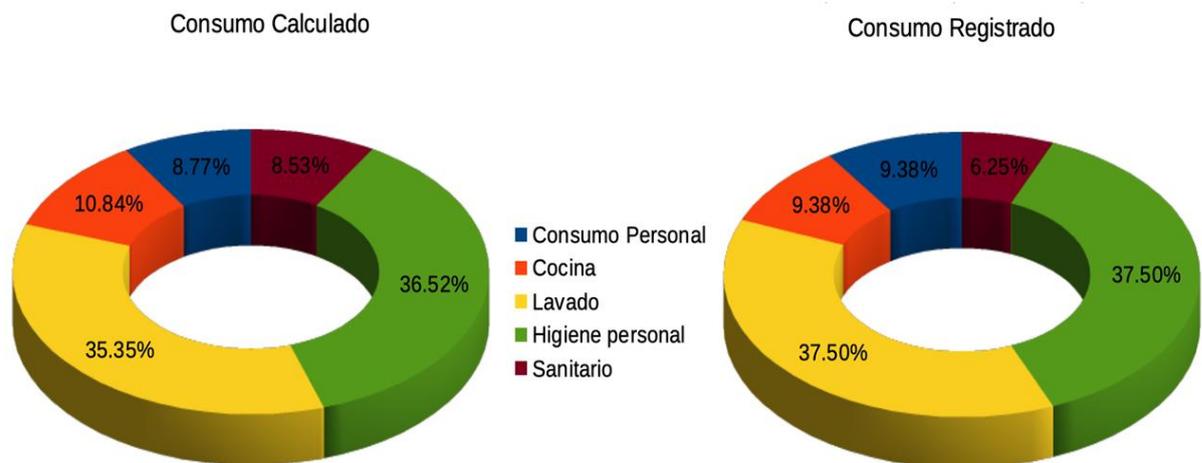
Nota. Datos de consumo registrado por los autores durante el período de estudio

La Tabla 8 muestra el consumo semanal registrado para el entorno domiciliario durante el presente estudio. Se iniciaron las lecturas de consumo en la semana del 18 de marzo de 2021, las que fueron finalizadas en la semana del 24 de junio de 2021. El promedio de consumo semanal fue de 1568 litros, con un máximo de 1659 litros y un mínimo de 1456 litros. Las mediciones se realizaron por diferencia de volumen en los reservorios correspondientes. Para consumo humano directo, se esteriliza con radiación UV, un volumen de agua de 40 litros por vez, para llenar los dispensadores de agua de bebida. Están dispuestos IBC's individuales con escala de medida, dedicados para lavado de ropa, uso en aseo personal, cocina e inodoros. Esta distribución reduce los costos de desinfección de agua, ya que para lavado de ropa y uso en inodoros, no se requiere desinfección UV o cloración. Los datos registrados no muestran una significativa variabilidad entre semanas de consumo, ya que las actividades son estandarizadas y cuyo consumo son estándares. El elemento más importante para

mantener los consumos de agua en el entorno domiciliario es la educación y el entrenamiento en el uso de agua. La conciencia de conservación es alta, y los niños son educados para tratar el agua como un recurso escaso y costoso, además de los impactos ambientales que implican el uso excesivo del agua. Cáceres Castejón (2013), insiste en la importancia de identificar, validar y difundir aquellas formas de captación, almacenamiento, distribución y conservación del agua que contribuyen a su uso racional y que son un factor clave en los procesos de desarrollo rural y manejo de los recursos naturales en los ecosistemas. Es entonces que el valor del agua se vuelve mayor cuando, como factor de producción, influye en la seguridad alimentaria y la seguridad hídrica, a la vez que se convierte en

Figura 10

Distribución del Consumo de Agua Domiciliaria Estimada y Registrada.



el principal medio por el cual se manifiestan los impactos del cambio climático.

Nota. Comparación gráfica elaborada por los autores, en base a consumo calculado y consumo real

La mayor proporción de uso de agua es dedicado a la higiene personal, con un 37.5% del agua consumida (Figura 10). El uso efectivo de agua en el sanitario hidráulico se redujo a 6.25% comparado con el consumo estimado de 8.53%. La mayor reducción del consumo de agua en el entorno domiciliario ocurre cuando se migra de un sistema hidráulico convencional a un sistema separador de baño seco. El porcentaje de agua determinado por la UNESCO y OMS para la gestión de desechos humanos es de hasta el 40% del volumen requerido. Esta cifra puede llegar hasta el 60%, considerando las pérdidas y fugas de agua en dichos sistemas, especialmente en el sector rural (Basan et al., 2018).

Tabla 9

Cálculo de Almacenamiento de Agua de Lluvia para un Estiaje de 21 Días

		Final Figures
How many days drought protection do you need? Typically 21 (18 minimum)	<input type="text" value="21"/>	
Capacity of water storage in litres required for drought protection		5821.20 L
The lesser of YIELD (blue) or DEMAND (green) per annum		81184 L
Therefore, volume of rainwater storage required		4670 L
		Conclusion
Is there sufficient roof water available:		YES
Recommended tank size from our shallow dig range:	F-Line Range:	<u>5000 litre F-Line Tank</u>
Select the carat range if you require a deep dig tank:	Carat Range:	<u>4800 litre Carat Tank</u>

9.2.2 Capacidad de almacenamiento del entorno

Nota. Calculado por los autores utilizando el software en línea de RainWater Harvesting, UK (2021)

Debido al alto costo de la implementación de un sistema de almacenamiento para los parámetros calculados originalmente, se procedió a dimensionar la capacidad de almacenamiento con un tiempo de estiaje de 21 días. El algoritmo de RainWater Harvesting permitió calcular el almacenamiento mínimo como se muestra en la Tabla 9. La capacidad calculada para almacenamiento de agua para protección de sequía es de 5821.20 litros.

Al ajustar el volumen de agua requerido a la demanda y producción mínima, se establece que se requerirán 4670 litros para la etapa de estiaje. Esto resulta en la necesidad de adquirir un volumen de 5000 litros en tanques de almacenamiento.

Figura 11

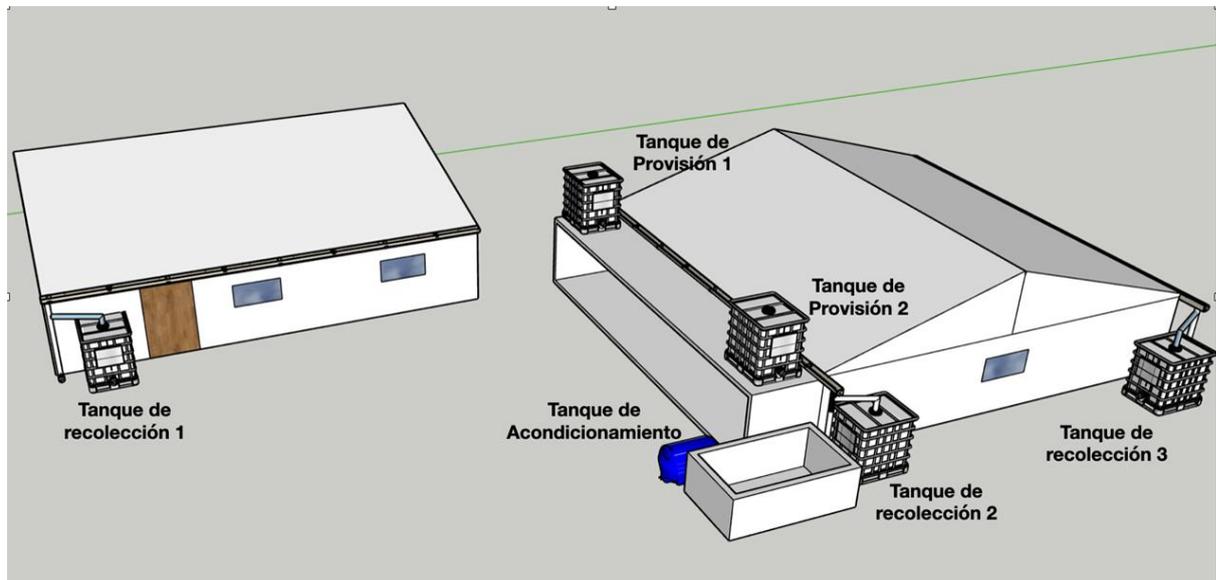
Tanque IBC Tote Utilizado para Almacenamiento de Agua



Nota. Imagen digital capturada en el sitio del estudio por los autores

Figura 12

Distribución de los Tanques de Almacenamiento y Provisión de Agua



Nota. Diagrama elaborado por los autores en el software Sketchup Web.

Se adquirieron 5 tanques IBC de 1000 litros de capacidad cada uno, de material plástico, con acondicionamiento para uso en agua de consumo humano. Así mismo, se adquirió un tanque de 500 litros, dedicado al acondicionamiento sanitario del agua para consumo. En la Figura 11 se detalla el tanque referido, que viene protegido por una estructura metálica. Se optó por este tipo de tanque ya que Al tener forma cúbica, pueden transportar más agua en el mismo espacio en comparación con los contenedores de forma cilíndrica. Los IBC compuestos se basan en revestimientos de plástico que se pueden llenar y descargar con una variedad de sistemas. Estos tanques muestran una alta capacidad de organización, movilidad e integración del sistema de almacenamiento, con la posibilidad de interconexiones y capacidad de bombeo. Otra consideración fue la durabilidad de los materiales de construcción del IBC y la baja probabilidad de absorción y liberación de sustancias nocivas, al ser de material plástico de alta densidad (Figura 11).

En la Figura 12, se diagrama la distribución de los tanques de almacenamiento en el entorno domiciliario, ubicando 3 tanques en las zonas de descarga de los canales de colección asociados a las áreas de captación de los techos de las viviendas. Los restantes 2 tanques son adecuados en una terraza alta para dar presión de agua para alimentar el sistema de distribución de agua del entorno domiciliario. Adicionalmente se cuenta con un estanque de mampostería de ladrillo de 10 m³ de capacidad, destinado a almacenar el excedente de recolección de agua. Estos excedentes no son

destinados a uso domiciliario, sino a actividades agrícolas, como la manutención de una huerta orgánica de fresas y producción de alimento de aves.

Figura 13

Sistema de Filtrado de Bajante para Remoción de Sólidos Suspendidos



Nota. Adaptado y construido por los autores, basado en Gómez et al.(2018)

9.2.3 Sistemas primarios de acondicionamiento de agua para consumo humano

El agua de lluvia, al provenir del proceso de condensación como parte de ciclo hidrológico, puede proveer una de las aguas más limpias a las que se pueden acceder. En contraste, las aguas subterráneas que se disponen en la localidad presentan altos índices de contaminación, tanto natural como antropogénica. Los acuíferos locales han sido sobreexplotados, y como consecuencia, se ha tenido que explotar pozos cada vez más profundos, llegando en la localidad a aproximadamente 280 m en el subsuelo. Esto ha resultado, en agua con altos contenidos de carbonatos y metales pesados. Aún se ha llegado a determinar contaminación fecal, producto de la infiltración de pozos sépticos superficiales y la liberación de aguas negras no tratadas a los cuerpos de agua que recargan los acuíferos (Gnadlinger, 2015).

La caracterización integral del ciclo domiciliario del agua se realizó para garantizar los pasos correctos, mientras se identifican, evalúan y tratan los riesgos. Los diferentes sistemas y subsistemas que se integran al agua domiciliaria deben identificarse en ciclos y deben definirse claramente los límites entre ellos. La finalidad fue evaluar el subsistema de captación de agua de lluvia a nivel de la vivienda, siguiendo los marcos y estrategias de riesgo que se han desarrollado y aplicado

en muchos países en las últimas décadas. Se utilizó el enfoque del Plan de Seguridad del Agua (PSA) para la evaluación de los enfoques de gestión y evaluación de riesgos. La evaluación de riesgos del sistema general de SCA consta de cuatro partes (A - captación, B - almacenamiento, C - distribución, D – usuario).

En las condiciones locales, la captación es la parte del sistema que mayor influencia tiene sobre la calidad del agua cosechada. Al ser una área rural, y la vivienda está rodeada de vegetación arbórea, la contaminación microbiana es la más probable en afectar la calidad del agua. Las aves contribuyen en gran medida a la carga microbiana, ya que sus deposiciones contaminan gran parte del área de captura de agua. El material particulado atmosférico también se deposita sobre la superficie de captura de agua y constituye la materia sólida suspendida en el agua recolectada. En el entorno domiciliario en estudio, el polvo de las áreas de cultivo y zonas mineras constituye la fuente de contaminación con estos elementos. También la materia orgánica de los restos vegetales de los árboles aledaños, principalmente guabas (*Guaba edulis*) y capulí (*Prunus capuli*). La integridad del techo no se ha visto afectada, por lo que se minimiza la liberación de metales como hierro y zinc. Bajo estas consideraciones, el diseño de los elementos de acondicionamiento de agua se centró en la remoción de materia orgánica y sólidos suspendidos. El filtro fue construido con tubería PVC y que da la capacidad para remover los sólidos y materia orgánica, aislando las primeras aguas de precipitación permitiendo que los sólidos se acumulen en el fondo del filtro, cuales son drenados después de cada lluvia (Figura 13). Este sistema de filtro es capaz de eliminar hasta el 75% de los sólidos suspendidos, mejorando las condiciones de pretratamiento del agua (Gómez et al., 2018).

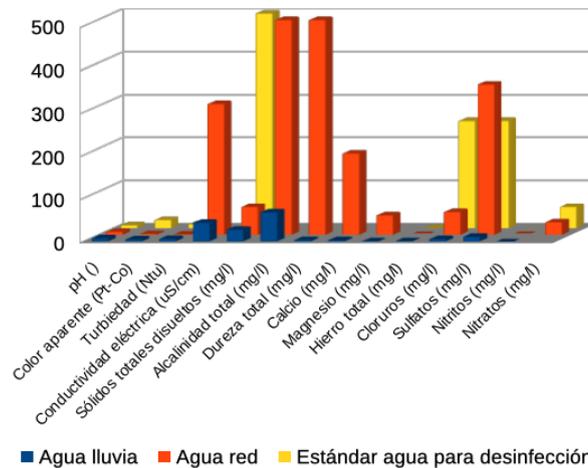
9.3 Características físico químicas y biológicas del agua lluvia cruda cosechada

9.3.1 Evaluación de las características físico químicas del agua lluvia cosechada

Se muestreo el agua de los tanques de colección, luego de la remoción de sólidos y materia orgánica suspendida. La finalidad fue determinar los procesos de tratamiento requeridos para eliminar los elementos de mayor preocupación en el acondicionamiento de agua lluvia para ser apta para consumo humano. El reporte del laboratorio de análisis de aguas y alimentos Laquifarva (Anexo 1), muestra los valores para el agua de lluvia cruda, es decir sin tratamiento de desinfección para consumo humano.

Figura 14

Comparación de los Parámetros de Agua para Consumo Humano



Nota. Elaborado por los autores en base al reporte del análisis de laboratorio

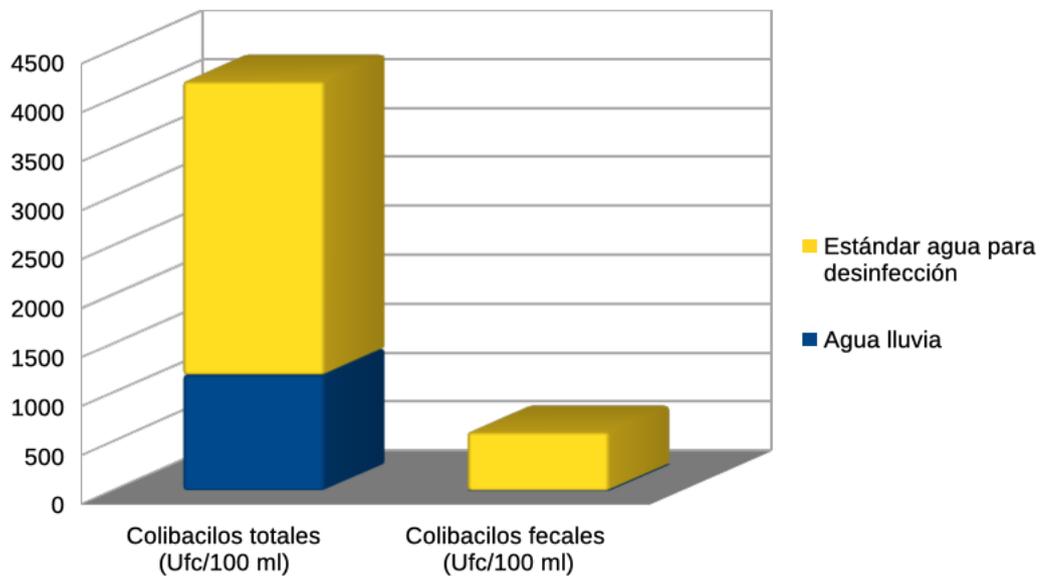
Las condiciones físico-químicas del agua de lluvia se muestran adecuadas para el consumo humano. Los valores de los parámetros se muestran muy por debajo de los estándares esperados para un agua que espera ser acondicionada para consumo (Figura 14). La gráfica también muestra los valores para el agua del sistema de abastecimiento de la comunidad San José de Pichul, encontrados en reportes de estudios realizados en el área (Flores, 2019).

El agua de la red muestra valores muy cercanos o por encima de los límites permisibles por la normativa TULSMA vigente, especialmente para sólidos totales disueltos, dureza total, Calcio, Magnesio, Cloruros, Sulfatos y Nitratos. Los altos valores de estos parámetros hacen que el agua disponible en la red local no sea adecuada para consumo humano y uso domiciliario, además de los riesgos que estos representan para la salud, el hecho de que el agua con altos contenido de Calcio y Magnesio precipitan los jabones y no permiten un adecuado aseo personal no lavado de ropa (Jiménez, 2020). Por estas consideraciones, el agua de lluvia es una excelente solución alternativa en el abastecimiento de agua para uso y consumo humano, en zonas donde no existen o son muy deficientes los sistemas de abastecimiento formales (Gómez et al., 2018).

9.3.2 Evaluación de las características biológicas del agua cosechada acondicionada para usodomiliario.

Figura 15

Análisis Microbiológico del Agua de Lluvia



Nota. Elaborado por los autores en base a los reportes de laboratorio y a la Normativa vigente

En cuanto al análisis microbiológico realizado para el presente estudio, se ha encontrado que el agua de lluvia cruda, es decir, sin tratamiento para consumo humano muestra un alto contenido de colibacilos totales, como se indica en la *Figura 15*.

No se ha evidenciado la presencia de colibacilos fecales, superando el estándar para agua cruda, que acepta hasta 350 Ufc/100ml, por lo que la recomendación de los laboratorios de análisis es que el agua de lluvia puede ser usada para consumo humano, previa la aplicación de un método adecuado de desinfección ya sea por medios químicos (cloración), o físicos (radiación UV). Los coliformes totales, comprenden la totalidad del grupo y de vida libre, y los coliformes fecales, son aquellos de origen intestinal. De acuerdo con Basán, et al., (2018), el tratamiento microbiológico del agua capturada y almacenada es uno de los principales motivos de investigación en este tipo de sistemas. Después que el agua pasó por el sistema de filtrado y se almacena limpia en el depósito, aún no es segura para consumo humano, ya que aún contiene microorganismos patógenos que afecten la salud de los consumidores domiciliarios por consumir agua sin un tratamiento adecuado. Se necesita una gota (0.05 ml) de hipoclorito de sodio por cada 2 litros de agua almacenados en un tanque, logrando una concentración de cloro residual de al menos 0,2 mg/L como Cl₂, que asegura la

eliminación de bacterias. Es aconsejable realizar análisis microbiológicos periódicos para garantizar agua segura para el consumo.

Según lo indica Li&Wu (2019), la contaminación microbiana por *Escherichia coli*, del agua de lluvia recolectada (o, alternativamente, coliformes termotolerantes) es bastante común, particularmente en muestras recolectadas poco después de la lluvia. También se han detectado en el agua de lluvia, patógenos como *cryptosporidium*, *giardia*, *campylobacter*, *vibrio*, *salmonella*, *shigella* y *pseudomonas*. Sin embargo, la presencia de patógenos es generalmente menor en el agua de lluvia que en las aguas superficiales no protegidas, y la presencia de patógenos no bacterianos, en particular, puede minimizarse. Generalmente se encuentran concentraciones microbianas más altas en el primer flujo de agua de lluvia y el nivel de contaminación se reduce a medida que continúa la lluvia. Se puede encontrar una reducción significativa de la contaminación microbiana en las temporadas de lluvias cuando las cuencas de captación se lavan con frecuencia con agua de lluvia.

Figura 16

Sistema de Esterilización de Agua Lluvia para Consumo Humano



Nota. Imágenes digitales capturadas por los autores en el sitio del estudio.

De acuerdo con Mamun (2020), las superficies de captación de los techos acumulan polvo, materia orgánica, hojas y excrementos de aves y animales, que pueden contaminar el agua almacenada y provocar la acumulación de sedimentos en el tanque. La primera descarga de agua de lluvia lleva la mayoría de los contaminantes a los tanques de almacenamiento. Por lo tanto, es necesario un sistema para desviar el primer flujo de agua de lluvia contaminada de las superficies de los techos. Se encuentran disponibles algunos dispositivos y buenas prácticas para desviar el primer chorro de agua de lluvia. Se recomiendan dispositivos automáticos que eviten que los primeros 20 a 25 litros de escorrentía se acumulen en los tanques de almacenamiento.

El alto registro tanto de mesófilos, así como de colibacilos totales reportado por el análisis de laboratorio (Anexo 1), obligó al acondicionamiento del agua, con el sistema de esterilización de agua por radiación UV. En la Figura 16, se muestra el equipo utilizado en el proceso de desinfección del agua. El sistema constó de un esterilizador UV Bluonics, con capacidad de 0.5 galones por horas (1.87 l/hora). La fuente de energía para su funcionamiento estuvo conformado por un panel solar de 30 watts a 18 voltios. La energía fue acondicionada por medio de un controlador de 20A y un inversor de 100 Watts a 110 voltios. Esta cantidad de energía fue suficiente para esterilizar un m³ de agua en 12 horas.

Esta agua fue destinada directamente al consumo humano, previa la adición de cloro líquido en dosis de 100 ml por m³, según la recomendación de la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2013).

La combinación de métodos de desinfección de agua lluvia (Luz UV y Cloración), asegura la calidad microbiológica del agua destinada a consumo humano. El microorganismo más resistente a un método de desinfección no es el mismo para otro método. Una comparación adecuada de métodos de desinfección debe comprender el examen de una amplia gama de especies microbianas, incluidas las más sensibles y resistentes para ambos desinfectantes. El rango de resistencia de bacterias y virus es mucho más angosto cuando se usa UV que cuando se usa cloro. Este rango más angosto hace que cuando se usa UV se tenga mayor confianza que cuando se usa cloro respecto al nivel de desinfección alcanzado según lo indican los microbios indicadores tradicionales, que reflejan el nivel de desinfección alcanzado respecto a otros microbios. Esta es una ventaja clara debido a la facilidad, menor costo y familiaridad del operario con los ensayos estándares de coliformes en comparación con los ensayos con virus o bacteriofagos que se están proponiendo para el monitoreo de la inactivación de virus cuando se usa cloro como desinfectante (Cheng et al., 2018). El agua tratada con radiación UV, muestra ausencia de colibacilos totales y fecales del agua acondicionada para consumo humano. El reporte de Agrocalidad (Anexo 2), muestra categóricamente un nivel no

detectable de Coliformes y *Escherichia coli*. El método de desinfección mostró ser efectivo para asegurar la calidad microbiológica del agua, aunque sistemas de cloración y ozonificación también son efectivos para el acondicionamiento del agua de lluvia (Aviles & Chaparro, 2013).

9.4 Presupuesto para la implementación del sistema de captación de agua lluvia domiciliario

Los métodos de recolección de agua de lluvia son específicos del sitio y, por lo tanto, es difícil dar un costo generalizado. Pero antes que nada, los componentes principales de un sistema de recolección de agua de lluvia, la lluvia y el área de captación, están disponibles de forma gratuita. Una buena parte de los gastos se destinarían a las conexiones de las tuberías. Si se arreglan adecuadamente las pendientes de los techos y la ubicación de las salidas de agua de lluvia, esto podría reducirse considerablemente. Sin embargo, el costo varía ampliamente según la disponibilidad de estructuras existentes, como pozos y tanques, que pueden modificarse y utilizarse para la recolección de agua. Los costos de implementación de un sistema de cosecha de agua lluvia son relativamente altos si el esfuerzo es realizado por un entorno domiciliario individual (143 USD per cápita, en el caso del presente estudio). Cuando la comunidad se une para cosechar la lluvia, la inversión per cápita disminuye, llegando a 6.05 USD por persona, cuando se dimensiona un sistema para 1000 personas (Batcheloret al., 2011).

Tabla 10

Presupuesto para la Implementación del Sistema de Captación de Lluvia

Descripción	Cantidad	Costo USD
Instalación		
Filtro de gravedad	3	45
Filtro de grava	1	5
Tanques IBC	5	500
Dosificador de cloro	1	25
Bomba de impulsión	1	100
Esterilizador UV	1	250
Mano de obra instalación	3	45
Operación		
Energía para impulsión de agua (kwh año)	150	15
Suministro de cloro (año)	1	6
Limpieza del sistema (año)	1	10
Total (USD)		1001

Nota. Elaborado por los autores, considerando los precios de adquisición de materiales y la proyección de gastos de operación y mantenimiento para un año.

El sistema de captura de agua lluvia detallado en el presente estudio se realizó en una vivienda existente, la cual cuenta con las superficies de recolección ya instaladas. Aproximadamente

hace tres años (Marzo de 2019), el techo original de teja de arcilla había sido reemplazado por un techo impermeable de acero galvanizado.

Se inició la implementación del sistema de recolección, filtrado, tratamiento, almacenamiento y distribución de agua en marzo de 2021. Se detallan los costos de materiales y mano de obra de instalación y los costos de mantenimiento y operación del sistema (Tabla 10). El costo total de construcción del sistema de recolección y tratamiento de lluvia fue de 1001 USD.

10. IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)

10.1 Impactos técnicos

Las tecnologías de recolección de agua de lluvia son fáciles de instalar y operar. La población local puede capacitarse fácilmente para implementar estas tecnologías y los materiales de construcción suelen estar fácilmente disponibles. La recolección de agua de lluvia es conveniente porque proporciona agua en el punto de uso y los consumidores tienen el control total de sus propios sistemas.

La principal desventaja de la tecnología de recolección de agua de lluvia es el suministro limitado y la incertidumbre de las lluvias. El agua de lluvia no es una fuente de agua confiable en períodos secos o en épocas de sequía prolongada. Además, cuando la escorrentía se genera en un área grande y se concentra en pequeñas estructuras de almacenamiento, existe un peligro potencial de degradación de la calidad del agua.

En el entorno domiciliario se han desarrollado, adaptado y refinado técnicas para optimizar la recolección de agua, dando mantenimiento a los techados, reduciendo la acumulación de materiales en las goteras y mejorando los filtros de gravedad. Así mismo, se han incorporado nuevas técnicas como la esterilización por radiación UV y cloración. Todos los miembros del entorno domiciliario, incluyendo los niños, han creado conciencia y práctica en el uso eficiente del agua, considerando cada uno de los destinos que se da a la misma.

10.2 Impactos sociales

El uso de tecnología de recolección de agua de lluvia promueve la autosuficiencia y la resiliencia socioecológica. Los miembros de las familias involucradas en el estudio, han demostrado una cohesión e identificación de grupo, fortaleciendo los lazos familiares y dando una mayor importancia a los efectos de las acciones individuales en el grupo familiar. En el entorno comunitario, las familias deben dedicar un día a la semana para recibir agua de tanqueros municipales, lo que afecta a su capacidad para autoabastecerse de agua y crea una gran dependencia en instancias públicas o privadas para el suministro de agua para consumo humano, dando como resultado recurrentes crisis de abastecimiento y calidad de agua.

Los gobiernos locales, regionales y nacional, y los donantes podrían desempeñar un papel clave en la concesión de subsidios para la compra de equipos al hacer que la tecnología sea accesible para un mayor número de consumidores, en particular los entornos domésticos pobres y con alta población infantil que pueden tener problemas para recaudar fondos de inversión de capital. La

gobernanza local y la gestión de información meteorológica actual y modelada son clave para la planificación de la recolección de agua de lluvia se relaciona con la oferta y la demanda de agua.

El agua de lluvia puede tener un impacto importante en el suministro de agua y se ha demostrado que puede reducir la demanda de agua municipal lo suficiente como para que los nuevos proyectos de abastecimiento público de agua sean innecesarios.

10.3 Impactos ambientales

La recolección de agua de lluvia es una mejor alternativa al suministro de agua a partir de fuentes de agua superficiales normales de reservorios o a los suministros de agua subterránea de los pozos extraídos de los acuíferos. Cuando se combina con diseños de infiltración como jardines de lluvia, se puede recuperar un estado natural del entorno.

Mantener el mundo verde tiene un impacto directo en el ciclo del agua, los ecosistemas y nuestra capacidad para mantener el equilibrio con nuestro entorno. Reduce el efecto de isla de calor que afecta los patrones climáticos en grandes áreas de población donde se carecen de espacios verdes.

Los proyectos de infraestructura para aumentar el suministro de agua utilizan cantidades masivas de energía y recursos naturales además del costo obvio para los contribuyentes. La recolección de agua de lluvia ayuda a minimizar la necesidad de estos proyectos. Los sistemas de agua de lluvia reducen este uso de energía.

10.4 Impactos económicos

El costo de los sistemas de captación de agua de lluvia dependerá del tipo de material de captación, transporte y tanque de almacenamiento utilizados, pero en general se considera que los costos de los sistemas de captación de agua de lluvia son bajos. La provisión del tanque de almacenamiento es el elemento más costoso y generalmente representa alrededor del 90 por ciento del costo total.

La baja capacidad de almacenamiento limitará el potencial de recolección de agua de lluvia, mientras que el aumento de la capacidad de almacenamiento aumentará los costos de construcción y operación, lo que hará que la tecnología sea menos viable económicamente.

11. PRESUPUESTO

Tabla 11

Detalle de los Costos de la Investigación

RECURSOS	PRESUPUESTO PARA LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO (USD)			
	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	Valor Uni- tario	Valor Total
MATERIALES Y SUMINISTROS	80	Fotocopias	0,1	8,0
	2	Resmas de papel bond	3,5	7,0
TECNOLÓGICOS	80 horas	Laptop	0,5	40,0
Tanques IBC	5	Tote IBC 1m ³	100,0	500,0
Esterilizador de agua UV	1	0,5 galones por minuto	230,0	230,0
Filtro de bajantes	4	PVCcon válvula de desfogue	120,0	120,0
Panel solar	1	Captación de energía	30,0	30,0
Controlador para panel solar	1	20 A, 12 V	25,0	25,0
Inversor	1	12 V a 120 V, 750 Watts	150,0	150,0
Batería	1	Para el panel solar	30,0	30,0
Análisis de laboratorio	1	Parámetros para consumo	100,8	100,8
		Parámetros para agua de		
Análisis de laboratorio	1	regadío	30,0	30,0
Materiales de análisis	2	Galones de 4 litros	1,5	3,0
Logística	20	Costo del transporte	2,0	40,0
TOTAL USD				1313,8

Nota. Costos de la investigación, elaborado por los autores.

12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

12.1 Conclusiones

Este estudio evaluó la viabilidad de la recolección de agua de lluvia y su uso doméstico en la parroquia 11 de noviembre, cantón Latacunga, Ecuador, donde existe una grave escasez de agua potable adecuada para consumo humano. Se construyó un sistema de recolección de agua de lluvia para un entorno domiciliario de 7 personas, utilizando el techo de acero inoxidable de las viviendas y se encontró que era muy efectivo y viable dada su adecuada superficie de captura de lluvia (172 m²).

Se encontró que la cantidad de agua de lluvia recolectada y almacenada podría utilizarse no solo en la temporada de lluvias sino también durante todos los períodos secos del año para el hogar estudiado con un volumen de 81.18 m³ anuales, considerando 590 mm de precipitación local anual. Aunque el sistema generalmente plantea un problema potencial de contaminación con bacterias (Coliformes totales), las otras características fisicoquímicas del agua de lluvia recolectada mostraron que estaban en buena conformidad con los estándares de Ecuador y los de la OMS.

La percepción general es que el agua de lluvia contiene contaminantes, pero se ha determinado que el agua de lluvia es extremadamente limpia y segura si la ubicación está en una zona rural donde el tráfico de carretera y la industrialización no son de gran impacto.

El agua de lluvia recolectada y almacenada de manera apropiada y técnica, basada en los principios científicos estudiados, permitirá la gestión de los recursos hídricos sin ningún efecto nocivo sobre el medio ambiente, transformándose en un método beneficioso y sostenible y puede ser usada para consumo humano, previa la aplicación de un método adecuado de desinfección ya sea por medios químicos (cloración), o físicos (radiación UV).

12.2 Recomendaciones

Para mejorar la precisión de las estimaciones de precipitación, se recomienda establecer una micro estación meteorológica local, para generar información para los estimados de disponibilidad de agua en el barrio o sector. Esta información es necesaria para planificar y dimensionar los sistemas de recolección y almacenamiento.

Llevar a cabo programas de reforestación y protección de las zonas circundantes a las áreas de captación de lluvia. La calidad inicial del agua se puede mejorar al incrementar la cubierta vegetal del suelo circundante con especies arbóreas, lo que reduciría la liberación de aerosoles al ambiente inmediato.

El almacenamiento domiciliario debe ser centralizado, con una sola estructura que permitirá optimizar el mantenimiento del sistema, la desinfección de toda el agua recolectada y el uso adecuado del espacio disponible en el entorno domiciliario. Se recomienda investigar la construcción y uso eficiente de reservorio de ferrocemento, que pueden ser construidos por la comunidad a bajo costo y con poca asistencia técnica

Es necesario definir y establecer un protocolo de mantenimiento periódico de las instalaciones y para desinfección y adecuación del agua para consumo. Las inspecciones de las instalaciones domiciliarias deben ser ejecutadas por técnicos de la junta de agua potable barrial, para estandarizar los procedimientos de mantenimiento de las instalaciones y tratamiento del agua.

El reciclaje del agua es fundamental para la sostenibilidad del entorno doméstico rural, por lo que se sugiere instalar sistemas de recuperación de aguas grises para uso en jardinería y reforestación en los mismos predios. Esto reduce la necesidad de costosa infraestructura municipal para gestionar aguas servidas domiciliarias.

13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Ansari, N., Abdellatif, M., Zakaria, S., Mustafa, Y., & Knutsson, S. (2014). Future Prospects for Macro Rainwater Harvesting (RWH) Technique in Northeast Iraq. *Journal of Water Resource and Protection*, 6, 403–420. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2014.65041>
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2014). *Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamientos del agua*. Registro Oficial. <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu165480.pdf>
- Aviles, M., & Chaparro, T. (2013). *Potabilización de Agua*. https://www.researchgate.net/publication/337951296_POTABILIZACION_AGUA
- Basan, M., Sánchez, L., Tosolini, R., Díaz, F., & Jordán, P. (2018). Sistemas de captación de agua de lluvia para consumo humano, sinónimo de agua segura. *AQUA-LAC Volume 10 Number 2 (March 2018)*, 10. <https://doi.org/10.29104/PHI-2018-AQUALAC-V10-N1-02>
- Basan, M., & Tosolini, R. (2017). *Software de cálculo de Sistema de Captación y Aprovechamiento de Agua de Lluvia (SCALL) para propósitos múltiples*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. <https://inta.gob.ar/documentos/software-de-calculo-de-sistema-de-captacion-y-aprovechamiento-de-agua-de-lluvia-scalle-para-propositos-multiples>
- Batchelor, C., Fonseca, C. & Smits, S., (2011). Life-cycle costs of rainwater harvesting systems.(Occasional Paper 46) [online] The Hague, The Netherlands: IRC International Waterand Sanitation Centre. <https://www.ircwash.org/sites/default/files/Batchelor-2011-Lifecycle.pdf>.
- Cáceres Castejón, D. (2013). *Tecnologías para el uso sostenible del agua. Una contribución a la seguridad alimentaria y la adaptación al cambio climático*. Global Water Partnership. http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/AGRO_Noticias/docs/Tecnologias_para_el_uso_sostenible_del_agua.pdf
- Castañeda, N. (2011). Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia, como alternativa para el ahorro de agua potable, en la institución educativa María Auxiliadora de Caldas, Antioquia [recurso electrónico]. *Gestión y Ambiente*, 13. https://www.researchgate.net/publication/42385189_Propuesta_de_un_sistema_de

_aprovechamiento_de_agua_lluvia_como_alternativa_para_el_ahorro_de_agua_potable_en_la_institucion_educativa_Maria_Auxiliadora_de_Caldas_Antioquia_recurso_electronico

- Cheng, N., Xing, L., Zhang, Z., Liu, X., & Zhang, H. (2018). Research and Analysis on Rainwater Harvesting and Utilization Technology of Unattended Substation. *MATEC Web of Conferences*, 246, 02038. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201824602038>
- Curutchet, M., Hock, D., Dabbah, F., & Escudero, H. (2015). *Sistemas de saneamiento seco con separación de orina (baño seco)* (1st ed.).
- Doria Argumedo, C. (2017). Metales pesados (Cd, Cu, V, Pb) en agua lluvia de la zona de mayor influencia de la mina de carbón en La Guajira, Colombia. *Revista Colombiana de Química*, 46(2), 37–44.
- Escobar, N. Sánchez, O. (2017). Análisis del impacto socioeconómico de la desvinculación de los pequeños productores de la cadena de valor del brócoli. Universidad Central del Ecuador. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/10892/1/T-UCE-0005-109-2017.pdf>
- FAO. (2007). *Afrontar la escasez de agua: Un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria*. Food and Agriculture Organization. <http://www.fao.org/3/i3015s/i3015s.pdf>
- Fernández, P., Bonomelli, C., Guevara C., Menéndez, M., Celis, V., Barrera, C. & Preller, C. (2017). Sistema de captación de aguas lluvias (Scall) y su aplicación en el establecimiento de maqui. Pontificia Universidad Católica. Valparaíso, Chile. https://www.researchgate.net/publication/329968239_Maqui_cultivated_with_rain_water_harvesting_system.
- Flores, M. (2019). *Gestión de manejo del recurso hídrico para consumo humano en el barrio San José De Pichul, Parroquia Eloy Alfaro, Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi, período 2018*. Universidad Técnica de Cotopaxi. <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/6063/6/PC-000611.pdf>
- GADM Latacunga. (2016). *PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL (PDyOT) DEL CANTÓN LATACUNGA 2016-2028*. http://latacunga.gob.ec/images/pdf/PDyOT/PDyOT_Latacunga_2016-2028.pdf

- Gnadlinger, J. (2015). *Agua de Chuva no manejo integrado dos recursos hídricos em localidades semiáridas: Aspectos históricos, biofísicos, técnicos, económicos e sociopolíticos*.
https://irpaa.org/fotos/file/gnadlinger_captacao_chuva_compressed.pdf
- Gómez, W., Rojas, J., Suarez, A., & Salinas, A. (2018). Potabilización de agua de lluvia, alternativa en el trópico seco. AGUA 2018 Agua, Justicia Ambiental y Paz. Cali, Noviembre 13 al 16.
https://www.researchgate.net/publication/334598399_POTABILIZACION_DE_AGUA_DE_LLUVIA_ALTERNATIVA_EN_EL_TROPICO_SECO
- Gonzalez, D. (2021). El Impluvium Como Estrategia de Recolección de Agua Lluvia En La Arquitectura. Universidad Francisco de Paula Santander.
https://www.researchgate.net/publication/348443071_El_Impluvium_Como_Estrategia_de_Recoleccion_de_Agua_Lluvia_En_La_Arquitectura.
- Gutierrez, M., & Rubio, H. (2014). Captación pluvial en Chihuahua: Una alternativa sustentable. *Tecnociencia Chihuahua*, VIII(1).
https://www.researchgate.net/publication/279203906_Captacion_Pluvial_Una_alternativa_sustentable
- Ilyas, M., Khan, S. K., Khan, A. K., & Khattak, A. K. (2017). Analysis of drinking water quality and health risk assessment- A case study of Dir Pakistan. *Journal of Himalayan Earth Sciences*, 50(1), 100–110.
- Jiménez, K. (2020). *Purificación de agua local para consumo humano con un destilador solar de alta eficiencia para entornos domésticos rurales áridos*. Universidad Técnica de Cotopaxi.
<http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/7113/1/PC-001031.pdf>
- Hirozumi, K. (2015). Guía práctica para cosechar el agua de lluvia. Opciones técnicas para la agricultura familiar en la Sierra. Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA). Riobamba, Ecuador.
https://www.jica.go.jp/project/ecuador/001/materials/ku57pq000011cym2-att/water_harvest_sp.pdf
- Kaposztasova, D., Vranayova, Z., Markovic, G., & Purcz, P. (2014). Rainwater Harvesting, Risk Assessment and Utilization in Kosice-city, Slovakia. *Procedia Engineering*, 89, 1500–1506. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.11.439>

- Li, P., & Wu, J. (2019). Drinking Water Quality and Public Health. *Exposure and Health*, 11, 73–79. <https://doi.org/10.1007/s12403-019-00299-8>
- Lunduka, R. (2011). *Economic analysis of rainwater harvesting and small scale water resources development*. (p. 47) [Final report]. World Bank. https://www.researchgate.net/publication/316284792_ECONOMIC_ANALYSIS_OF_RAINWATER_HARVESTING_AND_SMALL-SCALE_WATER_RESOURCES_DEVELOPMENT_Final_report
- Malassa, H., Al-Rimawi, F., Al-Khatib, M., & Al-Qutob, M. (2014). Determination of trace heavy metals in harvested rainwater used for drinking in Hebron (south West Bank, Palestine) by ICP-MS. *Environmental Monitoring and Assessment*. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-3904-5>
- Mamun, M. (2020). *Study on rainwater harvesting and determination of its quality for drinking purpose*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.27029.06884>
- Martínez, A. (2017). *El derecho al agua en el Ecuador. Un análisis desde la Ciencia Política y el Derecho Público*. <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/28582/1/El%20Derecho%20al%20Agua%20en%20Ecuador%20AMM.pdf>
- Martínez, A. (2018). *Implementación de Sistema de Cosecha de Agua de Lluvia con Bolsa de Geomembrana en Honduras y El Salvador*. Global Water Partnership.
- OPS. (2013). *Guía rápida para la vigilancia sanitaria del agua. Acciones para garantizar agua segura a la población*. Organización Panamericana de la Salud. https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/4341/Guia_para_la_vigilancia_del_agua_VERSION_WEB.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Partridge, T. (2016). Water Justice and Food Sovereignty in Cotopaxi, Ecuador. *Environmental Justice* 9, 2. DOI: 10.1089/env.2016.0003.
- PNUD. (2016). *EL PNUD y el Cambio Climático. Reforzar la acción climática para alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible*. Dirección de Políticas y de Apoyo de Programas.
- Ramirez, C., & Buriticá, c. (2019). Prototipo de cosecha inteligente de agua lluvia para mejorar la eficiencia energética residencial en Bogotá. Third International Conference on Technology and Electrical Engineering At: <https://citie2019.hashbase.io/web/html/index.html>

- Rink, P., Semasinghe, C., & Manthrithilake, H. (2016). The Potential Benefits of Rainwater Harvesting for Households in the Jaffna Peninsula. *Sri Lanka Journal of Aquatic Sciences*, 21, 59. <https://doi.org/10.4038/sljas.v21i1.7486>
- Sample, D., Liu, J., & Wang, S. (2013). Evaluating the Dual Benefits of Rainwater Harvesting Systems Using Reliability Analysis. *Journal of Hydrologic Engineering*, 18. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000748](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000748)
- Torres-Hugues, Ronnie. (2019). La captación del agua de lluvia como solución en el pasado y el presente. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 40(2), 125-139. Recuperado en 24 de julio de 2021, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382019000200125&lng=es&tlng=es.
- Torres-Hugues, R, & Fresquet-Blanco, A. (2019). Captación de lluvia para descarga de inodoros en edificio alto en el Vedado, La Habana. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 40(1), 122-135. Recuperado en 24 de julio de 2021, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382019000100122&lng=es&tlng=es.
- Torres Hugues, R, & Fresquet Blanco, A. (2020). Caracterización de la captación de las aguas de lluvia para tipologías de viviendas. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 41(1), 100-114. Epub 01 de abril de 2020. Recuperado en 24 de julio de 2021, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382020000100100&lng=es&tlng=es.
- Weatherspark. (2021). *El clima promedio en Latacunga, Ecuador* [Map]. Weather spark.

14. ANEXOS



LAQUIFARVA

SERVICIO DE LABORATORIO QUÍMICO - INTEGRAL
AGUAS - ALIMENTOS - COSMÉTICOS - SUELOS - PREPARACIONES FARMACÉUTICAS

ANÁLISIS FÍSICO- QUÍMICO DE AGUAS			
Informe de Laboratorio		FQA- 406-06- 21	
Orden de trabajo	No.	406	
Presentación	envase	polietileno	
Contenido.	ml.	6000	
Identificación	M1	Agua de Reservoirio - Agua de Lluvia	
Sector		Pichul	
Parroquia		Eloy Alfaro	
Cantón- Provincia		Latacunga - Cotopaxi	
Solicita		Srta. Dalia Singaicho	
Fecha de muestreo		11-06-2021	Hora 8h10
Fecha de informe		15/06/2021	
PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADOS	METODO
Potencial Hidrógeno	U. pH	7.73	S.M. 4500-H+ B
Color aparente	Pt- Co	5	S.M. 2120 B
Turbiedad	NTU	6.2	S.M. 2130 B
Índice de Agresividad	I.A.	10.1	cálculo
Conductividad Eléctrica	uS/ cm	43.8	S.M. 2520 B
Sólidos Totales	mg / L	28	S.M. 2540 B
Sólidos Disueltos	"	28	S.M. 2540 C
Sólidos en Suspensión	"	0	S.M. 2540 D
Alcalinidad Total	"	68	S.M. 2320 B
Hidróxidos	"	0	cálculo
Carbonatos	"	0	cálculo
Bicarbonatos	"	81.6	cálculo
Anhidrido carbónico	"	2.57	S.M. 4500-CO2 C
Dureza Total	"	3.6	S.M. 2340 C
Dureza Carbonatada	"	3.6	cálculo
Calcio	"	3.2	S.M. 3500-Ca D
Magnesio	"	0.5	S.M. 3500-Mg E
Hierro total	"	1.0	MAM- 18/APHA 3111-B
Cloruros	"	5.7	S.M. 4500-Cl -B
Sulfatos	"	11.2	S.M. 4500-SO4 = E
Nitritos	"	0.15	S.M. 4500-NO2-B
Nitratos	"	0	S.M. 4500-NO3-B
Cloro libre residual	"	0	S.M. -4500- Cl B
CONCLUSIONES			
Es una agua de tipo básica, con valores medios de color y turbiedad.			
Tiene una notación de bicarbonatada alcalina con un peligro de salinización y sodicidad bajo.			

LABORATORIO
LAQUIFARVA
Dr. Enrique Vayas Lopez M.Sc.

ANÁLISIS: FÍSICO - QUÍMICO - BACTERIOLÓGICO - ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL
CONSULTORÍA - TRATAMIENTO DE AGUAS - MATERIAS PRIMAS - REACTIVOS QUÍMICOS
Dirección: Av. 12 de Noviembre 842 y Maldonado * Telefax: (03) 2422366 - 2423054 - 0984 069372
E-mail: envale50@hotmail.es * Ambato - Ecuador

Anexo 1. Análisis de laboratorio para agua de lluvia cruda



LAQUIFARVA

SERVICIO DE LABORATORIO QUÍMICO - INTEGRAL
AGUAS - ALIMENTOS - COSMÉTICOS - SUELOS - PREPARACIONES FARMACÉUTICAS

INFORME DE RESULTADOS

Ambato, Junio 15 / 2021

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUAS				
Informe de Laboratorio		AMA- 407- 06-21		
Orden de trabajo	No.	407		
Presentación	envase	polietileno		
Contenido	ml.	1000		
Identificación	M1	Agua de Reservorio - Agua de Lluvia		
Sector		Pichul		
Parroquia		Eloy Alfaro		
Cantón- Provincia		Latacunga - Cotopaxi		
Solicita		Srta. Dalia Singaicho		
Fecha de muestreo		11-06-2021	Hora	8h10
Fecha de informe		15/06/2021		
PARAMETROS	UNIDAD	RESULTADOS		
Aerobios Mesófilos	ufc/ 100 ml.	2292		
Colibacilos Totales	"	1184		
Colibacilos Fecales	"	0		
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS *				
		T-incubación	Deseable	Permisible
Aerobios Mesófilos	ufc/ 100 ml.	30 oC	0	10
Colibacilos Totales	"	35 oC	0	2
Colibacilos Fecales	"	44 oC	0	0
ufc/ 100 ml. = Unidades formadoras de colonias / 100 ml				
* Referirse a la normativa contenida en el TULSMA				
METODOLOGÍA				
Método del Colilert. Medios de cultivo selectivos				
Los Métodos corresponden al Standard Methods.				
OBSERVACIONES				
Los resultados obtenidos en este análisis se refieren exclusivamente a la muestra puntual entregada por la solicitante. El Laboratorio no se responsabiliza por la toma de la muestra, transportación y veracidad en cuanto a la información proporcionada por el cliente.				
La Normativa está basada en el TULSMA que contiene los límites máximos permisibles, indicados en el Libro VI -Tabla 2 Límites Máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico que únicamente requieren desinfección, así como en Norma NTE INEN 1108 Agua Potable. Requisitos				
CONCLUSIONES				
El contenido de Aerobios Mesófilos y Colibacilos Totales supera los límites máximos tolerables				
Realizar buenas practicas de control de cloración y desinfección en todo el sistema de captación, conducción almacenamiento y distribución del agua.				

LABORATORIO
LAQUIFARVA
Dr. Enrique Vayas López M.Sc.

ANÁLISIS: FÍSICO - QUÍMICO - BACTERIOLÓGICO - ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL
CONSULTORIA - TRATAMIENTO DE AGUAS - MATERIAS PRIMAS - REACTIVOS QUÍMICOS
Dr. Enrique Vayas López M.Sc.
Dirección: Av. 12 de Noviembre 842 y Maldonado * Telefax: (03) 2422366 - 2423054 - 0984 069372
E-mail: envalo50@hotmail.es * Ambato - Ecuador

ANEXO 2. Aval de Ingles



UNIVERSIDAD
TÉCNICA DE
COTOPAXI



CENTRO
DE IDIOMAS

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma Inglés del proyecto de investigación cuyo título versa: **“MODELO DE COSECHA DE AGUA Y OPTIMIZACIÓN DE SU USO APLICADO A ENTORNOS DOMICILIARIOS RURALES EN LA PARROQUIA ONCE DE NOVIEMBRE, PERIODO 2020 -2021”**, Presentado por: **Singaucho Chasiluisa Dalia Patricia** y **Vergara Pacheco Amanda Priscila**, egresadas de la Carrera de: **Ingeniería en Medio Ambiente**, perteneciente a la Facultad de **Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a las peticionarias hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, agosto del 2021

Atentamente,

Mg.Sc Nelson Guagchinga

DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC

CI: 0503246415



VERIFICAR IDENTIFICACION
MARCO PAUL
BELTRAN
SEMBLANTES



CENTRO
DE IDIOMAS

ANEXO 3. Trabajo de campo



Instalación de las bajantes de agua hacia el filtro



Instalación de las bajantes de agua hacia el filtro



Ensamblado del filtro de gravedad



Colocación del filtro de gravedad



Recolección de muestra del agua esterilizada con radiación UV



Medición del área de captación 1



Medición del área de captación 2



Medición del área de captación 3



Recolección de agua durante un evento de precipitación



Paso del agua de lluvia por el filtro y almacenamiento en un IBC