

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Diagnóstico y Diseño de Sistemas Sostenibles de Agua para Consumo
Humano y Saneamiento en la Estación Científica USFQ de Tandayapa**

Camila Salomé Sánchez Medina

Ingeniería Civil

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

Quito, 23 de mayo de 2024

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

HOJA DE CALIFICACIÓN

DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

**Diagnóstico y Diseño de Sistemas Sostenibles de Agua para Consumo
Humano y Saneamiento en la Estación Científica USFQ de Tandayapa**

Camila Salomé Sánchez Medina

Sixto Durán-Ballén Ochoa, PhD

Quito, 23 de mayo de 2024

© DERECHOS DE AUTOR

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

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

Nombres y apellidos: Camila Salomé Sánchez Medina

Código: 00212388

Cédula de identidad: 1725297160

Lugar y fecha: Quito, 23 de mayo de 2024

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

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

UNPUBLISHED DOCUMENT

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

RESUMEN

El presente proyecto de investigación se enfoca en el diagnóstico y diseño de sistemas sostenibles de agua para consumo humano y saneamiento en la Estación Científica USFQ de Tandayapa, zona clave de conservación en el Chocó Andino. Se realizó un exhaustivo diagnóstico del sistema actual de abastecimiento de agua potable, evidenciando una alta dependencia externa y elevados costos derivados del suministro mediante tanqueros y botellones de agua. Se llevó a cabo un análisis de la demanda y oferta hídrica, estableciendo los parámetros y bases de diseño de acuerdo a normativas del país. Se consideraron diversas fuentes hídricas como agua de lluvia y agua superficial. Asimismo, se realizó un análisis sobre la calidad del agua actual, resultando esta estar libre de contaminación y dentro de los límites permisibles. Se evaluaron alternativas del sistema de saneamiento para el tratamiento de residuos. Finalmente, se evaluó la viabilidad técnica y ambiental de las soluciones propuestas.

ABSTRACT

The present research project focuses on the diagnosis and design of sustainable water and sanitation systems for human consumption at the USFQ Scientific Station in Tandayapa, a key conservation area in the Andean Chocó. An exhaustive diagnosis of the current potable water supply system was conducted, revealing a high external dependency and elevated costs derived from the supply through tankers and water jugs. An analysis of water demand and supply was carried out, establishing the design parameters and bases according to national regulations. Various water sources were considered, such as rainwater and surface water from a stream near by. Additionally, an analysis of the current water quality was performed, showing that it is free of contamination and within permissible limits. Alternatives for the sanitation system for waste treatment were evaluated. Finally, the long-term technical and environmental feasibility of the proposed solutions was assessed.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	12
1.1 Antecedentes.....	12
1.2 Justificación.....	14
1.3 Objetivos	15
1.4 Metodología	15
DIAGNÓSTICO DEL ACTUAL SISTEMA.....	17
2.1 Generalidades	17
2.2 Actual sistema de infraestructura	18
2.3 Actual sistema de abastecimiento de agua	20
2.3.1 Captación de agua	21
2.3.2 Almacenamiento de agua	23
2.3.3 Transporte de agua	24
2.3.4 Tratamiento de agua	25
2.3.5 Distribución de agua.....	25
2.4 Control y monitoreo del agua.....	26
2.5 Actual sistema de aguas residuales.....	28
DEMANDA HÍDRICA.....	30
3.1 Caracterización del área de estudio	30
3.2 Diagnóstico ambiental actual	32
3.3 Proyección de la población	34
3.4 Caudal de diseño	35
3.4.1 Dotación de servicio neto.....	38
3.4.2 Dotación de servicio neto futuro	39
3.4.3 Caudal medio diario	40
3.4.4 Caudal de diseño	42
3.5 Estimación de aguas residuales	42
3.5.1 Caudal promedio de aguas residuales	42

3.5.2 Variación de flujo de aguas residuales	44
3.5.3 Caudal mínimo de aguas residuales	45
OFERTA HÍDRICA	46
4.1 Análisis de precipitaciones	46
4.2 Agua lluvia	49
4.2.1 Recolección de agua de la niebla	49
4.2.2 Tanque de retención pluvial.....	52
4.2.3 Agua lluvia mediante canaletas	53
4.3 Agua de riachuelo.....	54
4.4 Agua subterránea	60
VIABILIDAD TÉCNICA Y AMBIENTAL.....	61
5.1 Captación de agua lluvia	61
5.2 Captación de agua del riachuelo.....	62
ALTERNATIVAS DEL SISTEMA DE SANAMIENTO.....	63
6.1 Tratamiento de agua para consumo	63
6.1.1 Desinfección mediante cloración	63
6.1.2 Desinfección solar del agua.....	64
6.2 Tratamiento de aguas residuales.....	65
6.2.1 Biotanque séptico integrado	65
6.2.2 Humedales artificiales	65
6.2.3 Vermicompostaje	66
CONCLUSIONES.....	67
RECOMENDACIONES.....	69
REFERENCIAS	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Tipo de abastecimiento actual	22
Tabla 2 - Valores promedio y desviación estándar de parámetros químicos	26
Tabla 3 - Valores promedio y desviación estándar de parámetros físicos	27
Tabla 4 - Valores promedio y desviación estándar de sólidos totales.....	28
Tabla 5 - Población futura hasta el año 2044	34
Tabla 6 - Dotaciones de agua para los diferentes niveles de servicio	36
Tabla 7 - Uso de agua en áreas rurales del mundo en vías de desarrollo	36
Tabla 8 - Dotaciones para edificaciones de uso específico	37
Tabla 9 - Tasas de crecimiento poblacional.....	39
Tabla 10 - Porcentaje de fugas	40
Tabla 11 - Valores mensuales y máximos diarios de precipitación 2021	47
Tabla 12 - Valores mensuales y máximos diarios de precipitación 2022	47
Tabla 13 - Valores mensuales y máximos diarios de precipitación 2023	48
Tabla 14 - Caudal de agua niebla	51
Tabla 15 - Caudal de canaletas	54
Tabla 16 - Caudal de agua niebla	60
Tabla 17 - Detalle opción agua lluvia.....	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1 - Ubicación de la Estación Científica USFQ de Tandayapa.....	17
Ilustración 2 - Casa de los cuidadores.....	19
Ilustración 3 - Salón central	19
Ilustración 4 - Bodega	20
Ilustración 5 - Canaletas	21
Ilustración 6 - Cisterna	23
Ilustración 7 - Tanques de almacenamiento	24
Ilustración 8 - Pozo séptico	29
Ilustración 9 - Área regularizada.....	30
Ilustración 10 - Plano catastral.....	30
Ilustración 11 - Mapa de elevaciones.....	31
Ilustración 12 - Temperatura anual en Tandayapa.....	31
Ilustración 13 - Infografía de biodiversidad Andes Tropicales	33
Ilustración 14 - Corredor de conservación Awá - Cotacachi - Illinizas.....	34
Ilustración 15 - Agua no contabilizada cantón Quito	41
Ilustración 16 - Cobertura del servicio de agua potable y alcantarillado	43
Ilustración 17 - Relación de flujo con respecto al caudal medio diario de aguas residuales ...	45
Ilustración 18 - Precipitación Horaria	46
Ilustración 19 - Precipitación Diaria	46
Ilustración 20 - Precipitación Mensual.....	46
Ilustración 21 - Atrapaniebla	49
Ilustración 22 - Excavación para el tanque de infiltración.....	52
Ilustración 23 - Punto de análisis de la cuenca.....	55
Ilustración 24 - Delimitación del área de la cuenca	56
Ilustración 25 - Área de la cuenca	56
Ilustración 26 - Factor de escorrentía según Gribbin	57
Ilustración 27 - Hidrograma de escorrentía 2022.....	58

Ilustración 28 - Hidrograma de escorrentía 2023	58
Ilustración 29 - Curva de duración 2022	59
Ilustración 30 - Curva de duración 2023	59
Ilustración 31 - Humedal artificial de flujo horizontal.....	66

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La Estación Científica USFQ de Tandayapa, ubicada en la provincia de Pichincha está localizada en la ladera occidental de los Andes, dentro de un área importante de conservación, en la zona de biodiversidad del Chocó Andino. Es una región de gran importancia ecológica que actualmente enfrenta desafíos significativos en su sistema de abastecimiento de agua potable y saneamiento. Actualmente, el agua para consumo humano llega en tanqueros de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS) y botellones de agua, generando altos costos y dependencia externa. Además, el saneamiento, basado en pozos sépticos, plantea riesgos ambientales y de salud. Estos factores respaldan la necesidad y relevancia de implementar una propuesta con fines ambientales y de sostenibilidad. Además, se destaca la carencia de acceso a servicios básicos de calidad y deficiencias en infraestructura sanitaria.

Estos antecedentes demuestran la urgencia de implementar un proyecto sanitario integral que aborde estas problemáticas, mejorando así el bienestar general de quienes visitan el lugar. Por tal motivo, el diseño sostenible de sistemas de captación de agua y propuestas de alternativas para el saneamiento y tratamiento de agua en la estación de Tandayapa no solo es vital para satisfacer las necesidades básicas de agua potable y saneamiento, sino que también desempeña un papel crucial en la preservación y conservación del entorno natural circundante. Además, al promover prácticas de gestión sostenible del agua, estos diseños fomentan la conservación a largo plazo de los valiosos recursos hídricos de la región, contribuyendo así a la preservación del hábitat natural y la biodiversidad.

Es fundamental abordar de manera integral el tema del proyecto sanitario, que incluya la gestión de la demanda de agua, la fuente de abastecimiento, la captación, distribución, así como el tratamiento del agua para su consumo y para las aguas residuales. Se observa que la infraestructura existente no está adecuadamente equipada para cubrir las necesidades del lugar. La fuente de abastecimiento de agua también puede presentar desafíos, como la contaminación o la insuficiencia de caudales.

Además, es crucial implementar sistemas eficientes de captación y distribución de agua para garantizar un suministro constante y de calidad a los habitantes. Por otro lado, el tratamiento del agua y las aguas residuales son aspectos clave para preservar la salud y el medio ambiente, ya que una gestión inadecuada puede ocasionar riesgos sanitarios. Considerando estos antecedentes, resulta necesario desarrollar un proyecto sanitario que enfoque estas problemáticas, fortaleciendo la infraestructura, mejorando la calidad del agua suministrada y promoviendo una gestión sostenible de los recursos hídricos y las aguas residuales.

Además de los aspectos mencionados, es importante destacar la necesidad de implementar medidas de educación y concientización sobre el uso responsable del agua, la importancia de prácticas de higiene adecuadas y el manejo adecuado de las aguas residuales. Esto permitirá fomentar cambios de comportamiento y garantizar la sostenibilidad a largo plazo del proyecto sanitario. Para esto, se realiza un estudio global que evalúa indicadores tanto cuantitativos como cualitativos acerca de las características actuales para así determinar los componentes necesarios que se deberán implementar para mejorar el sistema hídrico de la estación científica.

1.2 Justificación

La implementación de un proyecto integral de la gestión de recursos hídricos para la Estación Científica USFQ de Tandayapa implica abordar diversos aspectos que van desde la captación del agua hasta su distribución. Este proyecto de investigación pretende realizar un diagnóstico integral de la situación actual, identificar alternativas sostenibles para el suministro de agua y el saneamiento, y diseñar soluciones adaptadas a las necesidades de la estación, garantizando un suministro de agua potable seguro, accesible y sostenible. Para lograrlo, se deben considerar aspectos como la identificación y evaluación de fuentes de agua seguras y sostenibles, la construcción o mejoramiento de infraestructuras de captación, el establecimiento de sistemas de tratamiento adecuados para garantizar la calidad del agua, y la implementación de sistemas eficientes de distribución. Se explorarán opciones como la captación de agua de un riachuelo local, la recolección de agua niebla, la implementación de un tanque de retención pluvial, el uso apropiado de un sistema de canaletas, la creación de humedales artificiales y el vermicompostaje.

Se realiza un diagnóstico ambiental de la zona para identificar perturbaciones ambientales, como la contaminación de fuentes de agua y la degradación de ecosistemas del agua. Un proyecto de saneamiento y gestión sostenible de recursos hídricos debe abordar estos problemas mediante la implementación de medidas de mitigación y control de la contaminación, así como la conservación y protección de los recursos hídricos existentes. Además, se determina la disponibilidad, accesibilidad y calidad del agua; pues son factores considerados para la evaluación de recursos hídricos y en la planificación de proyectos de abastecimiento de agua, ya que tienen un impacto significativo en la sostenibilidad y la eficiencia de los sistemas de agua.

Por último, este enfoque abarca una gestión integral del recurso hídrico, desde su captación hasta su entrega a los usuarios, con el objetivo de mejorar la salud y el bienestar de la estación, y promover un uso responsable y sostenible del mismo.

1.3 Objetivos

1. Diagnóstico del abastecimiento de agua actual de 36 m³/mes para una capacidad de 35 personas.
2. Identificar fuentes alternativas de suministro entre agua lluvia, agua niebla, o agua de río.
3. Evaluación de alternativas de suministro de agua para una capacidad futura de 80 personas.
4. Diagnóstico del sistema de saneamiento actual. Considerando que no hay servicio eléctrico.
5. Desarrollar propuestas de diseño para la implementación de las soluciones seleccionadas. Considerar la viabilidad técnica y ambiental de cada solución propuesta.

1.4 Metodología

Para el diagnóstico del sistema actual de la Estación Científica USFQ de Tandayapa se realizaron visitas de campo al lugar con el fin de identificar la situación en cada una de sus etapas de la gestión del recurso hídrico, centrándose en la cantidad de agua suministrada, su calidad y los posibles problemas de distribución y almacenamiento. Se realizó además un control de calidad de agua de la principal fuente de almacenamiento de la estación, que corresponde al agua de la cisterna. Asimismo, se tomaron los datos de la estación pluviométrica para definir las temporadas del año en donde existe mayor precipitación y así poder obtener la intensidad de precipitaciones.

Posteriormente, se identificaron varias alternativas del suministro de agua; en donde se evaluó su viabilidad técnica y ambiental para definir cuál es la mejor opción de implementación tanto a corto como a largo plazo. El análisis de oferta y demanda hídrica de la estación se realizó para comprender la disponibilidad de agua y cómo ésta se compara con las necesidades de agua de la zona.

DIAGNÓSTICO DEL ACTUAL SISTEMA

2.1 Generalidades

La Estación Científica USFQ de Tandayapa, situada en la reserva de biósfera del Chocó Andino y extendiéndose a lo largo de 55 hectáreas, se fundamenta en la promoción de la educación, la investigación y la conservación de las especies endémicas de fauna y flora que habitan allí. Sus principales objetivos se enfocan en la preservación del bosque húmedo y la protección de su invaluable diversidad biológica. Está ubicado a tan solo dos horas de la ciudad de Quito.



Ilustración 1 - Ubicación de la Estación Científica USFQ de Tandayapa

Fuente: (Google Maps, s.f.)

En la actualidad, la estación es residencia de una familia compuesta por cuatro personas, quienes son los encargados de cuidar el lugar. Adicionalmente, numerosos alumnos de diversas disciplinas acuden para llevar a cabo una variedad de proyectos académicos a

distintos periodos. La mayor concurrencia registrada hasta la fecha alcanzó un total de 35 personas. Sin embargo, se aspira a fomentar una mayor participación estudiantil en los próximos años, integrando sus procesos educativos con las actividades de la estación. Como parte de este plan de crecimiento, se proyecta la expansión de las instalaciones con la construcción de "glampings", ofreciendo una opción de alojamiento para los estudiantes y visitantes interesados en disfrutar de una estancia en la estación mientras participan en sus actividades. Para esto, se prevé una capacidad máxima futura de 80 personas.

Este lugar presenta desafíos significativos en su sistema de abastecimiento de agua potable. Actualmente, el agua para consumo humano llega en tanqueros y botellones, lo que resulta en costos elevados y una gran dependencia externa. Este suministro de agua se almacena en una cisterna y se distribuye a través de una red de tuberías con cerca de 20 años de antigüedad, la cual muestra signos de deterioro. Asimismo, el sistema de canaletas se encuentra en mal estado y sus tanques de almacenamiento correspondientes están contaminados. Por otro lado, el saneamiento depende de pozos sépticos, lo que plantea serios riesgos para el medio ambiente y la salud en general. Este sistema puede llegar a contaminar las aguas subterráneas y en caso de fugas inesperadas puede afectar la calidad del suelo. Asimismo, los pozos sépticos a través del proceso de descomposición anaeróbica de los desechos orgánicos generan gases que en concentraciones elevadas representa riesgos para la salud humana.

2.2 Actual sistema de infraestructura

En términos de infraestructura, la estación dispone de tres estructuras de tamaño pequeño a mediano. La primera es una residencia que alberga a una familia de cuatro personas. La segunda es un área comunal que incluye cocina, comedor y baños. Finalmente,

la tercera estructura es una bodega de tamaño reducido para almacenar materiales del lugar. En total, existen tres baños, tres duchas y cuatro lavabos en toda la estación. Es importante destacar que la estación no dispone de alojamiento para visitantes, por lo que quienes la visitan durante el día deben buscar hospedaje en lugares cercanos. El lugar en el que más se hospeda la gente que visita la estación es en el Bellavista Reserve & Lodge, que queda a menos de 10 minutos en carro.



Ilustración 2 - Casa de los cuidadores



Ilustración 3 - Salón central



Ilustración 4 - Bodega

2.3 Actual sistema de abastecimiento de agua

Un sistema de abastecimiento de agua es un conjunto de infraestructuras, instalaciones y procesos diseñados para captar, transportar, tratar, almacenar y distribuir agua potable a una comunidad o área determinada, garantizando su cantidad y calidad. Estos sistemas permiten que el agua llegue desde fuentes hídricas, ya sean subterráneas, superficiales, o de agua lluvia hasta los puntos de consumo. Incluyen componentes como sistemas de captación, distribución, almacenamiento y producción, como plantas de tratamiento (Barreto, 2023).

El sistema de abastecimiento se puede clasificar dependiendo de la escala y propuesta del proyecto, la disponibilidad de la fuente hídrica, la población de diseño, el caudal de diseño y el capital de inversión que se tenga para el proyecto. Con esto en mente, se puede clasificar a la estación como un sistema primario, dado que su servicio requiere de bajo costo, una sencilla construcción y manejo, y además son soluciones individuales.

En definitiva, un sistema de abastecimiento de agua potable es esencial para el desarrollo y la salud de los residentes, y su correcto diseño y mantenimiento son fundamentales para garantizar un suministro eficiente y seguro.

2.3.1 Captación de agua

Una obra de captación es una estructura hidráulica utilizada para captar el agua y depende del tipo de fuente hídrica (López, 2003). Existen dos tipos de fuentes de abastecimiento; aquella que proviene de aguas superficiales, la cual comprende ríos, lagos, lagunas, embalses, manantiales, riachuelos, agua lluvia, etc., y la fuente subterránea que son generalmente acuíferos. Para realizar un diseño eficiente de un sistema de captación de agua se deberá tener en cuenta factores de análisis como la ubicación, la calidad y la cantidad.



Ilustración 5 - Canaletas

La estación cuenta con un sistema de recolección de agua lluvia mediante canaletas en los techos de las infraestructuras para así recoger el agua lluvia y redirigirla hacia un depósito. No obstante, las condiciones de este sistema no son las más óptimas pues las canaletas están cubiertas de hojas y otros detritos que impiden el escurrimiento adecuado del agua, disminuyendo así la eficiencia y cantidad de agua recogida. Además, esta obstaculización debido a la acumulación de hojas puede provocar que estas se descompongan con el tiempo, liberando materia orgánica, contaminando así el agua recolectada y afectando su calidad.

Para que este sistema de recolección de agua lluvia sea eficiente y funcional, es importante realizar un mantenimiento regular. Esto implicaría limpiar las canaletas y asegurarse de que estén libres de hojas y otras obstrucciones. Además, se podría considerar la posibilidad de instalar protectores de hojas o filtros en las canaletas para prevenir la acumulación de residuos. En resumen, un sistema de recolección de agua de lluvia con canaletas puede ser adecuado siempre y cuando se realice un mantenimiento adecuado para garantizar su funcionamiento eficiente y la calidad del agua recolectada.

Por este motivo, el suministro actual de agua para la estación depende de un proveedor externo, es decir, no se tiene una recolección de agua de fuente natural. Por lo cual, el objetivo de esta investigación es proponer varias alternativas para solventar esta dependencia y mejorar el sistema.

El agua para consumo humano llega en dos a tres tanqueros de agua cada 30 días y con una capacidad de 12 m³ por tanque. El costo de cada tanque es de \$120. De igual manera, la estación se abastece con 24 botellones de agua al mes, siendo cada uno de 20 litros y con un costo de \$2.50 por cada uno. Aunque estos valores varían con la cantidad de visitas que se tenga en la estación, es un valor aproximado que permite tener una estimación de la situación actual. A continuación, se resumen estos datos:

Tipo de Abastecimiento	Cantidad (No.)	Capacidad (m³)	Frecuencia (días)	Precio (\$)
Tanques	3	12	30	120
Botellones	24	0.02	30	2.50

Tabla 1 - Tipo de abastecimiento actual

En definitiva, el agua de consumo humano requerida para los usos de la estación es de 36.48 m³ con un costo de \$420 mensual.

2.3.2 Almacenamiento de agua

El almacenamiento del agua puede tener distintos propósitos dependiendo de su ubicación. Se puede situar en la captación, distribución o cualquier punto del sistema. Las estructuras utilizadas regularmente son tanques, reservorios, cisternas, represas, etc. El almacenamiento en este caso se trata de una cisterna con capacidad para 14 m³. Debido a que el caudal de captación no siempre es contante y la demanda de agua es variante, se requiere almacenar agua para utilizar en periodos de alta demanda de agua o para periodos de sequía.

El suministro que llega desde los tanqueros de agua se almacena en la cisterna. Esta cuenta con una tapa de concreto que, debido a su considerable peso, resulta difícil de manipular, lo cual lleva a que no se utilice de manera adecuada. Además, la cisterna presenta fisuras que pueden ocasionar que el agua almacenada se contamine por filtraciones externas. A pesar de esto, no se utilizan pastillas de cloro y se lava la cisterna de una a dos veces por mes.



Ilustración 6 - Cisterna

De igual manera, en la estación científica se dispone de tres tanques cónicos de almacenamiento de agua fabricados en polietileno, con capacidades que varían entre 250 y 1000 litros. Sin embargo, las condiciones de mantenimiento de estos tanques no son las más adecuadas, lo que resulta en una exposición a la entrada de contaminantes externos, como hojas, insectos, animales y otros desechos. Esta situación compromete la calidad del agua almacenada y, en la actualidad, solo uno de los tres tanques se utiliza de manera apropiada.



Ilustración 7 - Tanques de almacenamiento

Un adecuado cuidado de estas infraestructuras es esencial para preservar la integridad del agua y asegurar su uso confiable y sostenible a largo plazo.

2.3.3 Transporte de agua

Desde la cisterna se realiza la conducción del agua, es decir el transporte de agua potable mediante conductos cerrados. La cisterna se encuentra a una altura de 30 metros por encima de las infraestructuras. Debido a estas condiciones topográficas y la distancia entre la cisterna y las infraestructuras, el transporte de agua es mediante gravedad. Además, debido a la falta del servicio eléctrico, no se puede implementar un sistema de bombeo pues se requeriría de un equipo de presión.

2.3.4 Tratamiento de agua

El agua en su estado natural no es apta para el consumo humano debido a la presencia de organismo patógenos, virus, bacterias, etc., además sin un correcto tratamiento puede proliferar la transmisión de enfermedades hídricas como: cólera, tifoidea, parásitos, hepatitis, etc. Por tal motivo, siempre se requiere de un tratamiento mínimo, que generalmente es la desinfección mediante cloración.

Debido a que el agua para consumo humano actual de la estación no proviene de servicio municipal, sino mas bien de un servicio externo, no se realiza ningún tipo de tratamiento pues se asume que sus propiedades si satisfacen los requisitos físicos, químicos y bacteriológicos mínimos establecidos por el Ministerio de Salud Pública. Además, es importante recalcar que no se realizan controles ni análisis periódicos para garantizar la calidad del agua, asegurar su potabilidad y cumplir con las normativas sanitarias y ambientales.

2.3.5 Distribución de agua

El tipo de sistema que se maneja en la estación es una distribución individual, es decir un sistema o red de tuberías con conexión a cada infraestructura. La red de tuberías consiste en una tubería de polietileno flexible de 2 pulgadas y 80 metros de longitud que llega desde la cisterna hasta el centro de la estación y se distribuye a las tres estructuras de la estación con tuberías de PVC de 1/2 pulgada. Es importante mencionar que este sistema tiene aproximadamente 20 años de antigüedad, por lo que es imprescindible realizar una evaluación de su estado y condición para determinar si es necesario reemplazar dicho sistema con el fin de garantizar la seguridad y la eficiencia de la distribución del agua.

2.4 Control y monitoreo del agua

Se analizarán los resultados de la evaluación de la calidad del agua almacenada en la cisterna de la estación. Este monitoreo y control de calidad del agua fue realizado por los estudiantes de la Maestría en Soluciones Integrales para la Gestión de Agua de la USFQ.

Resultados de parámetros químicos

Parámetro	Indicador	Unidad	Medición 1	Medición 2	Promedio	Desviación Estándar
Químico	Nitrato	mg/l	0.70	0.70	0.70	0.000
	Sulfato	mg/l	0.00	0.00	0.00	0.000
	Fosfato	mg/l	0.31	0.33	0.32	0.014
	Amonio	mg/l	0.00	0.07	0.04	0.049
	Fluoruro	mg/l	0.13	0.14	0.14	0.002
	Alcalinidad	mgCaCO ₃ /l	24.70	26.6	25.65	1.344
	DBO ₅	mg/l	RNO	RNO	RNO	RNO
	DQO	mg/l	21	24	22.50	2.121

RNO: Resultado No Obtenido

Tabla 2 - Valores promedio y desviación estándar de parámetros químicos

Fuente: (Herrera et al., 2024)

Estos valores fueron comparados con los rangos admisibles para agua de consumo humano otorgados por el Ministerio del Ambiente. Todos los indicadores analizados demuestran ser favorables. En cuanto a nitratos, sulfatos, fosfatos, amonio, fluoruro y alcalinidad, todos resultan estar muy por debajo de los máximos límites permisibles. Por otra parte, el valor de Demanda Química de Oxígeno (DQO) es alto y sugiere la presencia moderada de materia orgánica. Esto se puede deber a la falta de una tapa de traba que garantice la hermeticidad de la cisterna.

Resultados de parámetros físicos

Parámetro	Indicador	Unidad	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Promedio	Desviación Estándar
Físico	Temperatura (T)	°C	18.4	18.4	18.4	18.40	0.000
	Presión Atmosférica	mm Hg	579.8	579.8	579.8	579.80	0.000
	pH		5.65	5.65	5.64	5.65	0.006
	Conductividad Eléctrica	us/cm	67.9	67.9	67.8	67.87	0.058
	Oxígeno Disuelto	mg/l	7.11	6.74	7.07	6.97	0.203

Tabla 3 - Valores promedio y desviación estándar de parámetros físicos

Fuente: (Herrera et al., 2024)

Estos valores obtenidos fueron comparados con los valores máximos admisibles del agua apta para consumo humano en relación al marco normativo ecuatoriano y a las tablas referenciales del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiente (TULSMA) y del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM).

Los parámetros físicos, revelan que el agua suministrada por los tanqueros mantiene sus propiedades físicas dentro de los rangos normales. Con respecto a los valores de pH se puede establecer que el agua no es ácida; sin embargo, se encuentra en los límites de transformarse en agua con ligera acidez. Es probable que esto se pueda ser influenciado por la conexión directa de los canales metálicos de agua lluvia con la cisterna.

Resultados de sólidos totales

Parámetro	Indicador	Unidad	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Promedio	Desviación Estándar
Sólidos	Sólidos Totales (ST)	mg/l	52	44	-	48.00	5.657
	Sólidos Susp. Totales (SST)	mg/l	22	16	-	19.00	4.243
	Sólidos Dis. Totales (SDT)	mg/l	50.7	50.7	50.7	50.70	0.000

Tabla 4 - Valores promedio y desviación estándar de sólidos totales

Fuente: (Herrera et al., 2024)

Se puede observar que el valor de sólidos totales no supera los 50 mg/l, lo cual indica que se encuentra dentro del rango admisible para el agua de consumo humano.

Todos estos estudios sobre los parámetros físicos, químicos y de sólidos totales se realizaron del agua de la cisterna de la estación, pues es la fuente principal de almacenamiento. En resumen, al analizar los resultados obtenidos, se evidencia la ausencia de un nivel significativo de contaminación en el agua almacenada en la cisterna de la estación científica Tandayapa (Herrera et al., 2024). No obstante, se requiere de un análisis adicional microbiológico para determinar si el agua almacenada en la cisterna es recomendable para consumo humano y fines domésticos. Este análisis sirve además de indicador de las prácticas de gestión ambiental y de sostenibilidad de los recursos hídricos de la estación.

2.5 Actual sistema de aguas residuales

Las aguas residuales son residuos líquidos producidos por residencias, establecimientos comerciales e industriales y cualquier otro flujo que entre en el sistema de alcantarillado para luego ser enviadas a un centro de tratamiento para su eliminación sin peligro (Glynn &

Heinke, 1999). No obstante, como la estación científica se encuentra en un área donde no hay acceso a un sistema de alcantarillado municipal, la manera para tratar y descomponer los desechos domésticos y orgánicos provenientes de los baños, lavabos, duchas, y otros desagües se lo viene realizando mediante un pozo séptico.



Ilustración 8 - Pozo séptico

El pozo séptico tiene una profundidad de tres metros y un diámetro de dos metros, lo que resulta en un volumen total de 9.42 m^3 . Durante el verano, cuando el pozo alcanza su capacidad máxima, el proceso de filtración a través del suelo puede tardar alrededor de tres meses. En cambio, durante el invierno, el pozo permanece lleno todos los meses debido a una menor tasa de evaporación y a una menor absorción del suelo.

No se cuenta con ningún otro método de tratamiento de aguas residuales, como sistemas de filtración, sedimentación o tratamientos biológicos. Si no se realiza un mantenimiento regular y adecuado se puede ocasionar una serie de obstrucciones debido a la acumulación excesiva de residuos sólidos en el mismo. La filtración de las aguas residuales pueden contaminar el suelo y las aguas subterráneas. Asimismo, en terrenos con alto nivel freático, pueden surgir problemas de sobresaturación y la acumulación de sólidos y grasa puede obstruir el sistema, generando olores desagradables.

DEMANDA HÍDRICA

3.1 Caracterización del área de estudio

La Estación Científica USFQ de Tandayapa está situada en la ladera occidental de los Andes dentro de la reserva de biósfera del Chocó Andino.

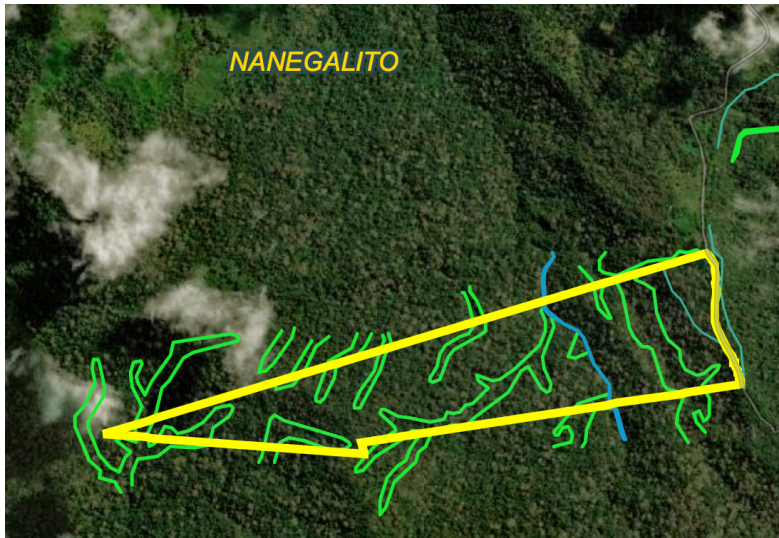


Ilustración 9 - Área regularizada

Fuente: (Secretaría de Territorio, Hábitat y Vivienda, 2024)

Cuenta con un área total de 553001.20 m².

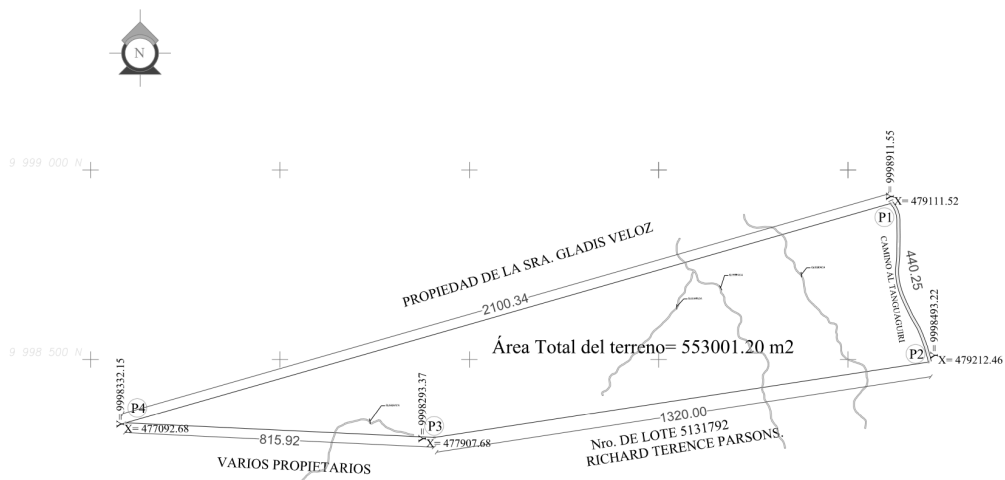


Ilustración 10 - Plano catastral

La elevación del terreno está entre los 1400 a 2800 m.s.n.m. con clima cálido subtropical cuya temperatura fluctúa entre los 15°C a 22°C durante el día; mientras que la temperatura nocturna está entre los 7°C a 9°C. Se presentan dos temporadas, la temporada de lluvias entre diciembre a mayo, y la seca entre junio a noviembre. Asimismo, la humedad media es del 86% y el índice UV es 4.



Ilustración 11 - Mapa de elevaciones

Fuente: (Mapa topográfico Ecuador, 2024)

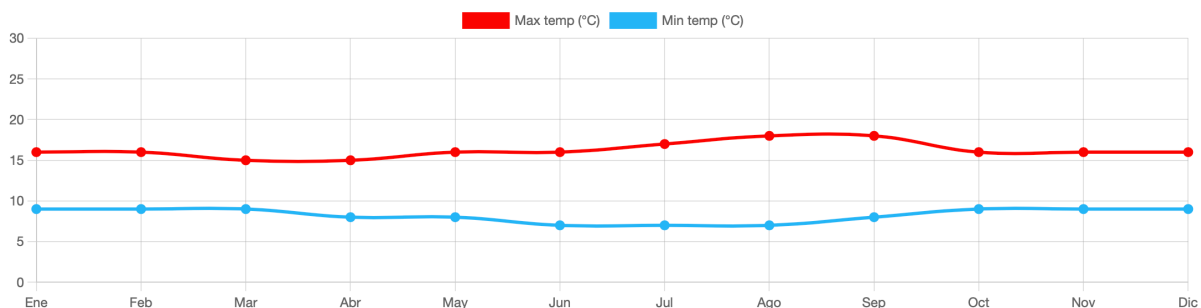


Ilustración 12 - Temperatura anual en Tandayapa

Fuente: (Cuando visitar, 2024)

Las principales actividades económicas de la zona incluyen agricultura, ganadería vacuna, silvicultura, pesca, producción de panela, caficultura y turismo. Asimismo, también es importante la participación de la industria manufacturera y el comercio al por mayor y menor. Todas estas actividades son generadoras de empleo para los habitantes; no obstante, debido a estas mismas actividades, los bosques han desaparecido debido a que gran parte de estas zonas se han convertido en zonas agrícolas y ganaderas. Por ese motivo, se recalca nuevamente la importancia que tiene la Estación Científica USFQ de Tandayapa para la conservación y preservación de la biodiversidad.

En términos de desarrollo, la estación carece de acceso a servicios básicos como agua potable, electricidad y alcantarillado, lo cual dificulta las actividades varias que se realizan por los visitantes del lugar.

3.2 Diagnóstico ambiental actual

De acuerdo a la organización no gubernamental, Conservation International (2024), para que una región sea calificada como un hotspot de biodiversidad, debe cumplir dos criterios. El primero especifica que la región debe tener al menos 1500 plantas vasculares como endémicas. Y el segundo criterio es que haya perdido al menos el 70% de su vegetación nativa primaria.

La estación se encuentra localizada dentro del Hotspot de Biodiversidad de los Andes Tropicales (CEPF, 2023). Existen 36 hotspots a nivel global, del cual este es sin duda el que contiene mayor diversidad biológica del planeta. No obstante, también es donde existen los niveles más altos de amenazas, siendo los principales por cambio climático, minería, deforestación, agricultura, ocupación ilegal de la tierra, tráfico de vida silvestre, tala ilegal de

bosques, nuevas infraestructuras, pastoreo de animales, expansión de áreas urbanas, cultivos ilegales, y turismo desorganizado.



Ilustración 13 - Infografía de biodiversidad Andes Tropicales

Fuente: (CEPF, 2023)

Además, la estación es un Área Clave de Biodiversidad (KBAs), específicamente el ECU89 Mashpi-Pachijal dentro del Corredor Awá – Cotacachi – Illinizas que atraviesa los países de Ecuador y Colombia. La identificación y protección de estas áreas juegan un papel fundamental en la preservación de la diversidad biológica del planeta y en la mitigación del declive de la vida silvestre. Por lo tanto, la protección y gestión adecuada de las Áreas Clave de Biodiversidad son imperativas para garantizar la salud y la resiliencia de los ecosistemas globales y para asegurar un futuro sostenible para las generaciones venideras.

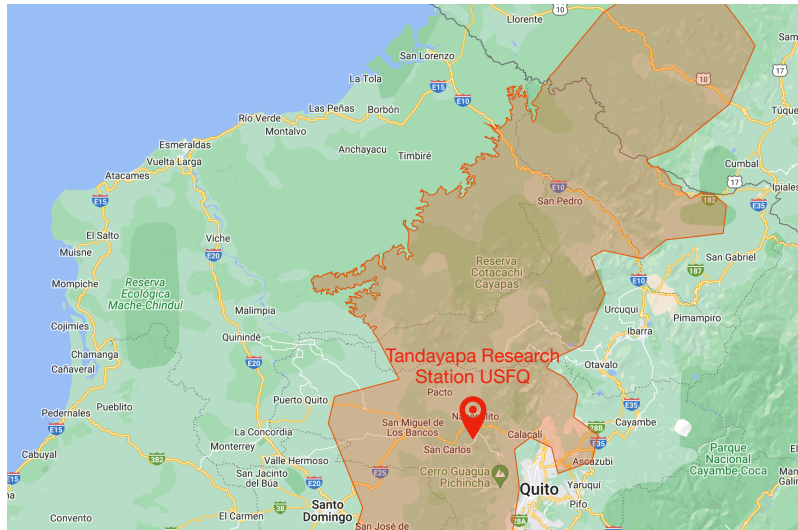


Ilustración 14 - Corredor de conservación Awá - Cotacachi - Illinizas

Fuente: (CEPF, 2023)

3.3 Proyección de la población

Para poder proyectar el diseño del servicio de abastecimiento de agua y saneamiento futuro se necesita establecer la población futura, en este caso, la cantidad de visitantes esperados en los próximos años. La determinación del número de habitantes para los cuales se diseña el sistema es un parámetro básico en el cálculo del caudal de diseño para la estación. La planificación del proyecto depende del componente del sistema que se esté diseñando. Generalmente se tiene un periodo de diseño en un rango de 15 a 30 años. Por lo tanto, la proyección de la población se hace para 20 años, a partir de la fecha actual, es decir, 2024.

Año	Población (hab)
2024	35
2029-2044	80

Tabla 5 - Población futura hasta el año 2044

Dado que la población de diseño está relacionado con la cantidad de personas que se prevé visitarán la Estación Científica USFQ de Tandayapa simultáneamente, se proyecta una capacidad para 80 visitantes al día, sin considerar si se alojan en la estación o no, pues se estima un máximo de 30 huéspedes por día.

Además, se planea la construcción de alojamientos estilo “glampings” en los próximos cinco años, por lo que el crecimiento de visitantes se daría a partir del año 2029. Teniendo esto en cuenta, la población de diseño se tomará en un total de 80 personas, que es el máximo número de personas que se espera tener en la estación en cualquier momento dado.

3.4 Caudal de diseño

La dotación es una medida fundamental para evaluar la demanda de agua y planificar su uso de manera sostenible y eficiente. Para determinar la dotación per cápita de agua de la estación se escogerán tres fuentes de información y se realizará un promedio en base a las cantidades que más se asemejen al área de estudio.

Según la Secretaría del Agua, la dotación se escoge a partir del nivel de servicio, la región y el tipo de edificación de uso específico. De acuerdo a la Tabla 5.2 de la Norma de Diseño para Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, Disposición de Excretas y Residuos Líquidos en el Área Rural (Norma CO 10.7 – 602 – Revisión), se deberá establecer un nivel de servicio de acuerdo al sistema que se esté manejando.

En el caso de la estación, el nivel de servicio correspondería a IIb, es decir, un sistema que cuenta con agua potable y con eliminación de residuos líquidos. Además, este nivel se caracteriza por contar con conexión domiciliaria, con más de un grifo por vivienda y con un sistema de alcantarillado sanitario. Con esto, se establece la dotación correspondiente a los diferentes niveles de servicio:

Nivel de servicio	Clima frío (l/hab*día)	Clima cálido (l/hab*día)
la	25	30
lb	50	65
lla	60	85
llb	75	100

Tabla 6 - Dotaciones de agua para los diferentes niveles de servicio

Fuente: (Secretaría del Agua, 2016)

Dado que el clima de la zona es cálido, entonces la dotación sería de 100 L/hab/día. Por otra parte, los resultados de un estudio realizado por el Banco Mundial sobre el uso de agua en las áreas rurales de los países en vías de desarrollo muestra lo siguiente:

Región	Consumo medio diario de agua por persona (lpd)	
	Mínimo	Máximo
África	15	35
Sureste asiático	30	70
Pacífico occidental	30	95
Mediterráneo oriental	40	85
Latinoamérica y el Caribe	70	190
Intervalo normal	35	90

Tabla 7 - Uso de agua en áreas rurales del mundo en vías de desarrollo

Fuente: (Banco Mundial, 2022)

Tipo de edificación	Unidad	Dotación
Bloques de viviendas	L/habitante/día	200 a 350
Bares, cafeterías y restaurantes	L/m ² área útil/día	40 a 60
Camales y planta de faenamiento	L/cabeza	150 a 300
Cementerios y mausoleos	L/visitante/día	3 a 5
Centro comercial	L/m ² área útil/día	15 a 25
Cines, templos y auditorios	L/concurrente/día	5 a 10
Consultorios médicos y clínicas con hospitalización	L/ocupante/día	500 a 1000
Cuarteles	L/persona/día	150 a 350
Escuelas y colegios	L/estudiante/día	20 a 50
Hospitales	L/cama/día	800 a 1300
Hoteles hasta 3 estrellas	L/ocupante/día	150 a 400
Hoteles de 4 estrellas en adelante	L/ocupante/día	350 a 800
Internados, hogar de ancianos y niños	L/ocupante/día	200 a 300
Jardines y ornamentación con recirculación	L/m ² /día	2 a 8
Lavanderías y tintorerías	L/kg de ropa	30 a 50
Mercados	L/puesto/día	100 a 500
Oficinas	L/persona/día	50 a 90
Piscinas	L/m ² área útil/día	15 a 30
Prisiones	L/persona/día	350 a 600
Salas de fiesta y casinos	L/m ² área útil/día	20 a 40
Servicios sanitarios públicos	L/mueble sanitario/ día	300
Talleres, industrias y agencias	L/trabajador/ jornada	80 a 120
Terminales de autobuses	L/pasajero/día	10 a 15
Universidades	L/estudiante/día	40 a 60
Zonas industriales, agropecuarias y fábricas	L/s/Ha	1 a 2

Tabla 8 - Dotaciones para edificaciones de uso específico

Fuente: (NEC-11, 2011)

Con respecto a los estudios del Banco Mundial, la dotación estaría en un rango de 70 a 190 L/hab/día. Por otra parte, de acuerdo a la Norma Hidrosanitaria NHE Agua de la NEC-11, la dotación oscila entre 150 a 400, al considerar la estación similar a *hoteles hasta 3 estrellas*. Dado que estos últimos valores son muy elevados, se opta por usar únicamente el límite inferior para el promedio con las demás fuentes de información.

3.4.1 Dotación de servicio neto

De acuerdo al estudio del Banco Mundial, la dotación promedio para Latinoamérica y el Caribe es de 130 L/hab/día. La dotación según la Secretaría de Agua es de 100 L/hab/día. Y la dotación según la NEC-11 (tomando solo el límite inferior) es 150 L/hab/día. Por lo tanto, la dotación per cápita total de la Estación Científica USFQ de Tandayapa es:

$$C_{\text{normativas}} = \frac{130 + 100 + 150}{3} = 127 \text{ L/hab/día}$$

Ahora se analizará la dotación actual de la estación para determinar la fiabilidad de estos valores. Como se determinó previamente, el consumo por mes en la estación son de 36.48 m³ para 35 personas. Por lo tanto, el consumo neto actual corresponde a:

$$C_{\text{actual}} = \frac{36.48 \text{ m}^3}{35 \text{ hab} \cdot \text{mes}} \cdot \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} \cdot \frac{1 \text{ mes}}{30 \text{ días}} = 35 \text{ L/hab/día}$$

Debido a la gran discrepancia entre la dotación sugerida por las normativas y la dotación actual, se decide realizar un promedio de estos valores. El incremento en la capacidad de habitantes es aproximadamente el doble de la actual, mientras que las normativas y fuentes externas sugieren un incremento de aproximadamente cuatro veces la

dotación actual, lo cual se considera excesivo. Además, uno de los enfoques promovidos en la Estación Científica de Tandayapa es el uso consciente del agua. Por lo que utilizar un valor de dotación tan elevado iría en contra de estas iniciativas.

Por lo tanto, la dotación total que corresponde al promedio de estos valores es:

$$CT = \frac{126.67 + 34.74}{2} = 80.70 \text{ L/hab/día}$$

En esta investigación, no se aplican factores de corrección por temperatura ni por población debido a las características particulares de la estación. Dado que se trata de una población muy reducida y las temperaturas no alcanzan niveles altos, se considera que los efectos de estos factores en la dotación de agua son mínimos o despreciables.

3.4.2 Dotación de servicio neto futuro

Dado que el sistema en análisis es únicamente la Estación Científica, no se analiza otros tipos de usos que contribuyan al consumo promedio total. Es recomendable realizar un incremento del consumo neto del 5% del incremento porcentual de los habitantes en total. En base a la Norma CO 10.7 – 602 – Revisión, la tasa de crecimiento poblacional para la Sierra es del 1.0%.

Región Geográfica	r (%)
Sierra	1.0
Costa, Oriente y Galápagos	1.5

Tabla 9 - Tasas de crecimiento poblacional

Fuente: (Secretaría del Agua, 2016)

Por lo tanto, se obtiene:

$$\Delta CN = \Delta P_{ob} \cdot 5 \%$$

$$\Delta CN = 1\% \cdot 5 \%$$

$$\Delta CN = 0.05 \%$$

Dado que el incremento porcentual en la dotación de servicio neto futuro es de apenas 0.05%, se decide mantener la dotación actual, ya que el cambio no es significativo.

3.4.3 Caudal medio diario

Se lo define como el promedio aritmético de los consumos diarios que se registran en un año y se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$Q_M = \frac{f \cdot (P \cdot D)}{86400}$$

Donde:

Q_M = Caudal medio (L/s)

f = Factor de fugas

P = Población al final del período de diseño

D = Dotación futura

Se entiende por fuga la pérdida por escape de agua del sistema. El valor recomendado en la Norma CO 10.7 – 602 – Revisión es del 20%.

Nivel de servicio	Porcentaje de fugas
la y lb	10 %
lla y llb	20 %

Tabla 10 - Porcentaje de fugas

Fuente: (Secretaría del Agua, 2016)

Mientras que, de acuerdo con el último Boletín Estadístico (2022), el porcentaje de pérdidas de agua en el sistema de agua potable o también conocido como agua no contabilizada en el cantón de Quito es 28.91%.



Ilustración 15 - Agua no contabilizada cantón Quito

Fuente: (Agencia de Regulación y Control de Agua, 2023)

Como se puede observar, ambos valores son similares. Sin embargo, estos son valores referenciales, ya que las condiciones del cantón de Quito no se asemejan completamente a las de Tandayapa. Además, no se prevé la existencia de fugas en el sistema de tuberías de la estación, ya que el área de implementación es reducida y esta variable es fácilmente controlable. Por lo tanto, no se utiliza ningún porcentaje de fugas o agua no contabilizada.

Reemplazando los valores se obtiene que el caudal medio diario futuro es:

$$QM_{\text{futuro}} = \frac{(80 \text{ hab}) (80.7 \text{ L/hab/día})}{86400}$$

$$QM_{\text{futuro}} = 6.46 \text{ m}^3/\text{día}$$

De igual manera, se calcula el caudal medio diario actual a manera de comparación:

$$QM_{\text{actual}} = \frac{(35 \text{ hab}) (35 \text{ L/hab/día})}{86400}$$

$$QM_{\text{actual}} = 1.23 \text{ m}^3/\text{día}$$

3.4.4 Caudal de diseño

Dado que no se puede implementar un sistema de bombeo, debido a la falta del servicio eléctrico, el caudal de diseño según la Norma será 1.1 veces el caudal medio calculado al final del periodo de diseño. Este factor de seguridad del 10% es un porcentaje suficiente, tomando en cuenta que ya se usa la capacidad máxima a la que se podría llegar, es decir, 80 personas.

$$Q_D = 1.1 (Q_M)$$

$$Q_D = 1.1 (6.46)$$

$$Q_D = 7.10 \text{ m}^3/\text{día}$$

3.5 Estimación de aguas residuales

3.5.1 Caudal promedio de aguas residuales

El caudal medio diario de aguas residuales producido depende del sistema de abastecimiento de agua potable. Con esto se puede comparar el caudal medio diario de aguas residuales producidas y el caudal medio diario del consumo total de agua. Se obtienen los datos de este cantón pues aquí se encuentra localizada la Estación Científica USFQ de Tandayapa y con esto se puede establecer un coeficiente de aguas residuales referencial, pues

se pretende que tanto el servicio de agua potable y el servicio de alcantarillado en la estación sean los mismos.




 CANTÓN	 COBERTURA DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE	 COBERTURA DEL SERVICIO DE ALCANTARILLADO
QUITO	98,08	93,72
CAYAMBE	99,91	94,92
MEJIA	100	76,88
PEDRO MONCAYO	87,83	73,31
RUMIÑAHUI	73	67,83
SAN MIGUEL DE LOS BANCOS	100	77,03
P. VICENTE MALDONADO	77,48	60,78
PUERTO QUITO	63,84	26,81

Ilustración 16 - Cobertura del servicio de agua potable y alcantarillado

Fuente: (Agencia de Regulación y Control de Agua, 2023)

Cobertura de agua potable

En el último Boletín Estadístico correspondiente al año 2022, el porcentaje de cobertura del servicio de agua potable en el cantón de Quito es de 98.08%.

Cobertura del servicio de alcantarillado

En base al último Boletín Estadístico emitido por la ARCA, el porcentaje de cobertura del servicio de alcantarillado en el cantón de Quito es 93.72%.

El coeficiente de aguas residuales se lo obtiene como se muestra a continuación:

$$K_R = \frac{\% \text{ Cob alcantarillado}}{\% \text{ Cob agua potable}}$$

Reemplazando los valores:

$$K_R = \frac{93.72}{98.08}$$

$$K_R = 0.96 = 95.55 \%$$

Para estimar el caudal promedio de aguas residuales futuro se determina como:

$$QAR_{\text{futuro}} = K_R \cdot Q_D$$

$$QAR_{\text{futuro}} = 0.96 \cdot 6.46$$

$$QAR_{\text{futuro}} = 6.79 \text{ m}^3/\text{día}$$

De igual manera, se calcula el caudal medio diario actual a manera de comparación:

$$QAR_{\text{actual}} = K_R \cdot Q_D$$

$$QAR_{\text{actual}} = 0.96 \cdot 1.23$$

$$QAR_{\text{actual}} = 1.18 \text{ m}^3/\text{día}$$

3.5.2 Variación de flujo de aguas residuales

Para estimar el flujo mínimo, se considera el número de habitantes, el cual es 80 personas. Aunque esta cifra es bastante reducida en comparación con valores típicos que alcanzan miles, se procedió a extrapolar los caudales mínimos utilizando la figura de McGhee y manteniendo la escala logarítmica. Este método permitió determinar el coeficiente mínimo:

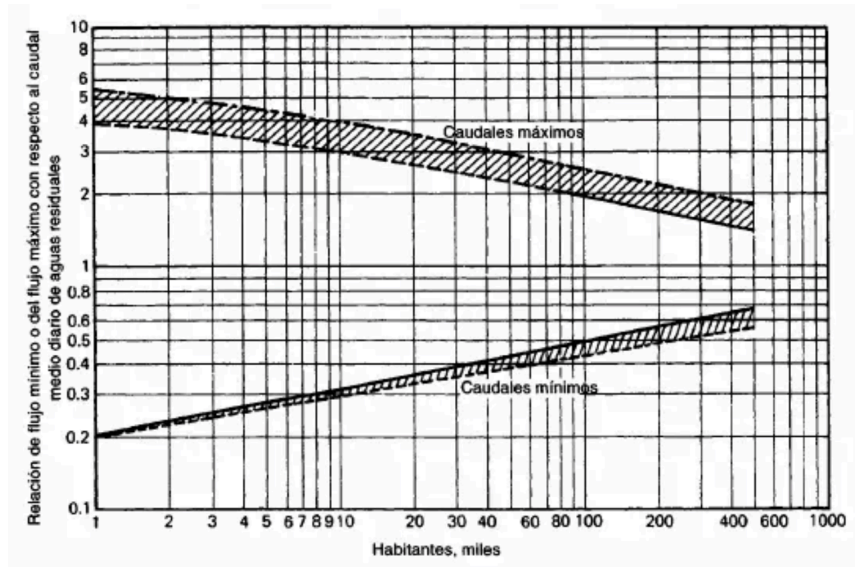


Ilustración 17 - Relación de flujo con respecto al caudal medio diario de aguas residuales

Fuente: (McGhee, 1999)

A partir de este gráfico se determinó el coeficiente mínimo que permitirá determinar el caudal mínimo de aguas residuales. No se determinó el caudal máximo puesto que como ya se está teniendo en cuenta la máxima capacidad de habitantes, un factor de mayoración no sería necesario.

Coeficiente para flujo mínimo

$$KR_{\text{MIN}} = 0.13$$

3.5.3 Caudal mínimo de aguas residuales

Utilizando la siguiente expresión se obtiene:

$$Q_{\text{MIN}} = KR_{\text{MIN}} \cdot Q_{\text{AR}}$$

$$Q_{\text{MIN}} = 0.13 \cdot 6.79$$

$$Q_{\text{MIN}} = 0.88 \text{ m}^3/\text{día}$$

OFERTA HÍDRICA

4.1 Análisis de precipitaciones

A continuación se presenta el registro de datos de precipitación obtenidos de la estación pluviométrica M5184F que se encuentra localizada en la Estación Científica USFQ de Tandayapa con coordenadas geográfica UTM (DATUM WGS 84) latitud de -0.016824 y longitud de -78.681411.

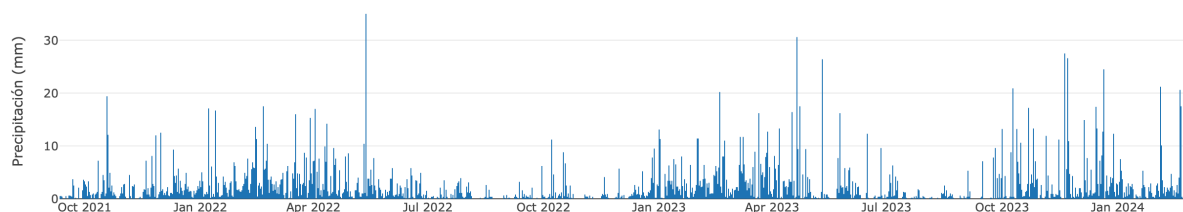


Ilustración 18 - Precipitación Horaria

Fuente: (Fonag, 2024)

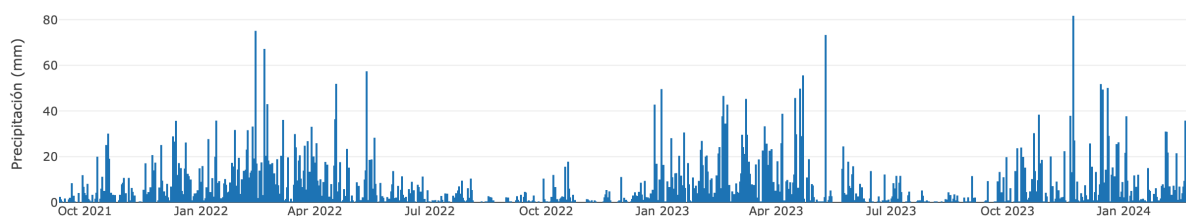


Ilustración 19 - Precipitación Diaria

Fuente: (Fonag, 2024)

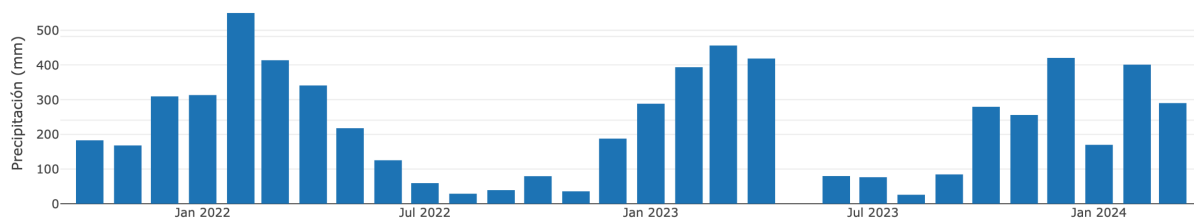


Ilustración 20 - Precipitación Mensual

Fuente: (Fonag, 2024)

De igual manera, se obtuvieron los valores mensuales y máximos diarios de precipitación. Es importante mencionar que los datos obtenidos son a partir de octubre de 2021, pues la estación pluviométrica M5184F se instaló en ese año.

Mes	Precipitación (mm)			No. de días con precipitación
	Mensual	Máxima en		
		24H	Día	
OCT	182.8	30.1	19	27
NOV	168.0	25.1	30	23
DIC	309.4	35.7	12	31

Tabla 11 - Valores mensuales y máximos diarios de precipitación 2021

Mes	Precipitación (mm)			No. de días con precipitación
	Mensual	Máxima en		
		24H	Día	
ENE	313.2	35.8	13	31
FEB	549.7	75.1	13	28
MAR	413.6	36.1	7	31
ABR	340.9	51.9	18	30
MAY	217.7	57.4	12	28
JUN	125.3	13.7	2	26
JUL	59.4	9.5	26	24
AGO	28.9	10.4	2	12
SEP	39.2	10.4	29	21
OCT	79.4	17.8	18	20
NOV	35.8	11.1	29	17
DIC	187.7	49.6	31	27
Anual	2390.8	75.1	13	295

Tabla 12 - Valores mensuales y máximos diarios de precipitación 2022

Mes	Precipitación (mm)			No. de días con precipitación
	Mensual	Máxima en		
		24H	Día	
ENE	288.3	30.6	18	29
FEB	393.5	46.6	18	28
MAR	456.0	45.3	8	30
ABR	418.5	55.6	22	28
MAY		73.3	10	21
JUN	79.8	15.8	1	22
JUL	76.4	11.6	5	23
AGO	25.9	4.4	15	18
SEP	84.5	19.8	30	18
OCT	279.4	38.4	26	27
NOV	255.8	81.7	22	26
DIC	420.3	51.8	14	31
Anual	2778.4	81.7	22	301

Tabla 13 - Valores mensuales y máximos diarios de precipitación 2023

De estos valores, se tiene que la precipitación media multianual es 2584.60 mm/año y la precipitación media mensual es 215.38 mm/mes. Este registro de precipitación proporciona una visión clara de los patrones estacionales de lluvia de la zona, lo que permite identificar los meses con mayor precipitación, siendo febrero, marzo y abril, y los meses con menor precipitación, como julio, agosto y septiembre. En definitiva, los picos de lluvia suelen ocurrir entre las 15h00 y las 23h00. En promedio, se registra una precipitación máxima diaria de 35.0 mm y una precipitación máxima mensual de 224.2 mm. Aunque la estación pluviométrica es relativamente nueva, los datos obtenidos permiten comprender la variabilidad interanual de la precipitación. No obstante, se recomienda esperar la

acumulación de más años de registro para realizar un análisis más exhaustivo de las tendencias a largo plazo en los patrones de precipitación.

4.2 Agua lluvia

4.2.1 Recolección de agua de la niebla

La niebla son gotas pequeñas de agua que no se precipitan porque no tienen el peso suficiente para caer y por eso se desplazan con el viento. El mecanismo de captación de precipitaciones horizontales (niebla) intercepta estas gotas de agua mediante una red que hace que se condensen, aumenten su tamaño hasta alcanzar el peso requerido para caer. Cada sistema de captación de agua niebla está construido con fierro galvanizado, una malla con canaletas y tuberías (generalmente de PVC) que permite recolectar el agua de la niebla y llevarla hacia los tanques de almacenamiento y cables de tensión que permiten que la estructura sea estable frente a fuertes vientos.



Ilustración 21 - Atrapaniebla

Fuente: (Instituto de Capacitación del Oriente, 2017)

Las mallas poliéster tipo 3D permiten recoger grandes volúmenes de agua de las nieblas. Para esto, deberán ser colocadas de cara en la dirección predominante del viento. En el mercado, se encuentran las mallas “CloudFisher”, diseño desarrollado por Water Foundation. Esta empresa produce dos modelos: el CloudFisher Pro, el cual consta de cuatro pantallas que miden 13.50 m² con una superficie total de 54 m², y el CloudFisher Mini, que tiene tres pantallas que miden 5.50 m² con una superficie total de 16.5 m². Ambos modelos son capaces de resistir vientos de hasta 120 km/h.

De acuerdo a los datos adquiridos por la empresa Water Foundation (2018), es posible recoger de 10 a 22 litros de agua por metro cuadrado de pantalla al día, siendo la humedad relativa del proyecto del cual se recolectaron dichos datos de 80.6%. Por lo tanto, para poder determinar la cantidad de agua niebla que se puede recolectar, primero se realizará un cálculo de humedad relativa de la zona para verificar si las condiciones de la región son similares. La humedad relativa se la define como la “cantidad real de vapor de agua presente en el aire comparada con la cantidad total de vapor de agua que el aire puede contener a una temperatura determinada” (Omni, 2023). Se la determina mediante la siguiente ecuación:

$$HR = 100 \cdot \left[\frac{e^{\frac{\beta \cdot T_{pr}}{\lambda + T_{pr}}}}{e^{\frac{\beta \cdot T}{\lambda + T}}} \right]$$

Donde:

$$\beta = 17.625$$

$$\lambda = 243.04^{\circ}\text{C}$$

T_{pr} = temperatura del punto de rocío (en °C)

T = temperatura del aire (en °C)

La temperatura promedio del aire en Tandyapa es 18.5°C y la temperatura promedio del punto de rocío es 15.5°C.

Por lo tanto, reemplazando los valores:

$$HR = 100 \cdot \left[\frac{e^{\frac{17.625 \cdot 15.5}{243.04 + 15.5}}}{e^{\frac{17.625 \cdot 18.5}{243.04 + 18.5}}} \right]$$

$$HR = 82.69 \%$$

Como se puede observar ambos valores de humedad relativa tanto del proyecto realizado por Water Foundation como de la zona de la estación son bastante similares. Por lo cual, para ser conservadores, se asume que la recolección de agua niebla será de 10 litros de agua por metro cuadrado de pantalla al día.

Se obtiene el caudal de esta alternativa, mediante el método racional (sin tomar en cuenta el coeficiente de escorrentía), es decir, usando la siguiente expresión matemática:

$$Q = i \cdot A$$

Los resultados de esta alternativa se resumen a continuación:

Modelo	Área (m²)	Capacidad (L/m²/día)	Caudal (m³/día)
CloudFisher Pro	54	10	0.54
CloudFisher Mini	16.5	10	0.17

Tabla 14 - Caudal de agua niebla

4.2.2 Tanque de retención pluvial

Esta opción consiste en un tanque enterrado para atenuación y aprovechamiento de agua lluvia, e infiltración. Es un proceso de construcción limpio y fácil pues solo requiere de una excavación para colocar el tanque y de materiales filtrantes como triturado de grava, arena y geosintéticos, posibilitando así el manejo sostenible de agua lluvia. Esta opción se ha ido implementando en los últimos meses en la estación mediante el tanque Aquacell de Plastigama fabricado con polipropileno reciclado y cuyas dimensiones son 4 m de largo, 2.5 m de ancho y 1.2 m de profundidad, dando como resultado una capacidad neta de almacenamiento de 12 m³. Para esta alternativa, se deberán implementar también tuberías y accesorios para conectar el tanque con la cisterna actual.



Ilustración 22 - Excavación para el tanque de infiltración

Tomando en cuenta la intensidad de precipitación media multianual que se obtuvo de los datos de la estación pluviométrica, se calculará el caudal diario que aporta el tanque de retención pluvial al sistema de abastecimiento de agua potable, considerando que el área de un tanque es de 10 m².

Se aplica nuevamente el método racional, es decir:

$$Q = c \cdot i \cdot A$$

Es importante mencionar que para esta alternativa, el coeficiente de escorrentía equivale al 1 o 100%, pues se asume que toda el agua que se precipita, fluye directamente sobre la superficie del tanque. Por lo tanto, se tiene que:

$$Q_{\text{tanque}} = 2584.6 \frac{\text{mm}}{\text{año}} \cdot 10 \text{ m}^2 \cdot \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} \cdot \frac{1 \text{ año}}{365 \text{ días}}$$

$$Q_{\text{tanque}} = 0.071 \text{ m}^3/\text{día}$$

4.2.3 Agua lluvia mediante canaletas

Para medir el caudal proveniente del agua lluvia mediante las canaletas, se deberá tomar en cuenta el área de los techos de las infraestructuras y la precipitación media multinaual obtenida previamente, es decir, aplicar el método racional:

$$Q = c \cdot i \cdot A$$

El coeficiente de escorrentía equivale al 1 o 100%, pues se asume que toda el agua que se precipita, fluye directamente sobre la superficie del sistema de canaletas. Por lo tanto, se tiene que:

Casa

La cubierta de la casa tiene un área total de 14 m². Por lo tanto, se tiene que:

$$Q_{\text{casa}} = 2584.6 \frac{\text{mm}}{\text{año}} \cdot 14 \text{ m}^2 \cdot \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} \cdot \frac{1 \text{ año}}{365 \text{ días}}$$

$$Q_{\text{casa}} = 0.099 \text{ m}^3/\text{día}$$

Salón central

La cubierta del salón central tiene un área total de 183 m². Por lo tanto, se tiene que:

$$Q_{\text{salón}} = 2584.6 \frac{\text{mm}}{\text{año}} \cdot 183 \text{ m}^2 \cdot \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} \cdot \frac{1 \text{ año}}{365 \text{ días}}$$

$$Q_{\text{salón}} = 1.296 \text{ m}^3/\text{día}$$

Bodega

La cubierta de la bodega central tiene un área total de 16 m². Por lo tanto, se tiene que:

$$Q_{\text{bodega}} = 2584.6 \frac{\text{mm}}{\text{año}} \cdot 16 \text{ m}^2 \cdot \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} \cdot \frac{1 \text{ año}}{365 \text{ días}}$$

$$Q_{\text{bodega}} = 0.113 \text{ m}^3/\text{día}$$

Estos datos se resumen a continuación:

Infraestructura	Área (m²)	Caudal (m³/día)
Casa	14	0.099
Salón central	183	1.296
Bodega	16	0.113
Total	213	1.51

Tabla 15 - Caudal de canaletas

4.3 Agua de riachuelo

La captación de agua mediante un riachuelo conlleva aprovechar una fuente superficial. Este proceso generalmente implica la construcción de estructuras hidráulicas que permitan recolectar y dirigir el agua del riachuelo hacia un punto de almacenamiento o distribución. Sin embargo, en el caso de la estación, la falta de servicio eléctrico, imposibilita el dirigir el

agua del riachuelo, puesto que esta fuente se encuentra a un nivel inferior respecto a las estructuras de la estación.

Para superar esta limitación, se requeriría la implementación de un sistema de bombeo que permita elevar el agua desde el nivel del riachuelo hasta la ubicación deseada, lo cual requeriría la instalación de un equipo de presión adecuado. En este caso, se recomendaría instalar una bomba de ariete hidráulico. Este tipo de bomba aprovecha la energía cinética del flujo de agua y utiliza los cambios rápidos en la presión del agua para bombear una parte de esa agua a una altura mayor que la fuente original, sin necesidad de energía externa como electricidad o combustible.

Para determinar el caudal proveniente del riachuelo, primero se deberá delimitar el área de la cuenca. Primero se parte del punto más bajo del riachuelo y se alcanza los puntos altos, es decir, las cumbres; cruzando las curvas de elevación de manera perpendicular y la distancia más corta. Luego, se une los puntos altos (cumbres) sin cruzar los puntos bajos (ríos, valles) para así cerrar la cuenca. Se traza de manera paralela a dos curvas de igual elevación, siguiendo la dirección del escurrimiento de la lluvia según las curvas de nivel. Se utilizó sistemas de información geográfica como Google Earth y Global Mapper para obtener las coordenadas del punto de análisis y las curvas de nivel de la zona.

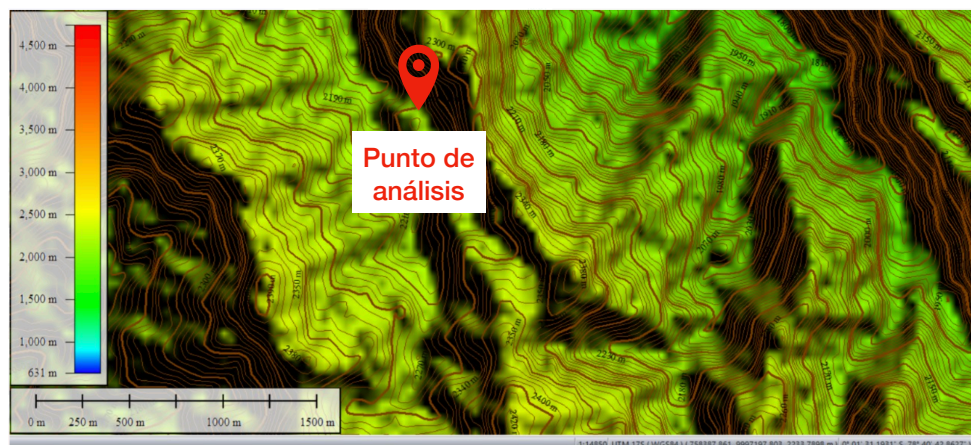


Ilustración 23 - Punto de análisis de la cuenca

Luego, se realizó la delimitación la cuenca:

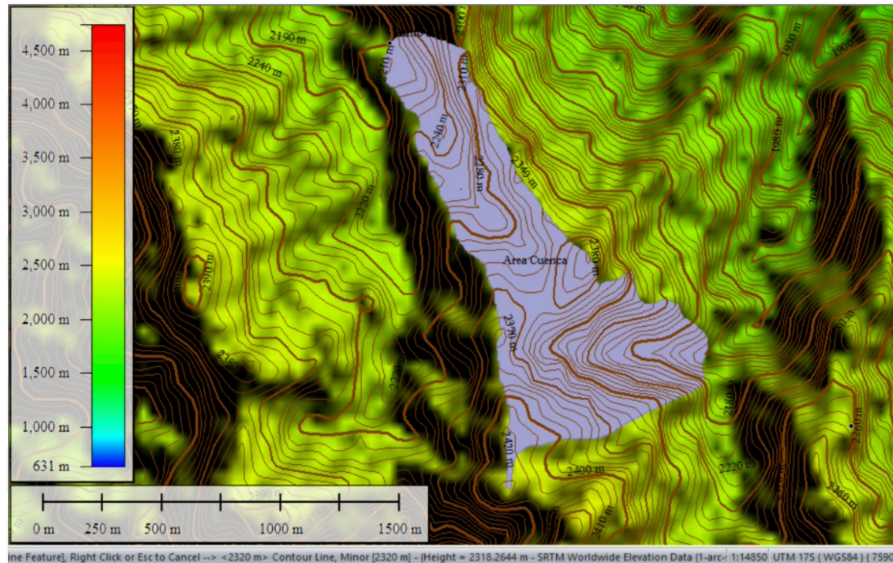


Ilustración 24 - Delimitación del área de la cuenca

Finalmente se calculó su respectiva área mediante Global Mapper.

Feature Attributes	
Attribute Name	Attribute Value
PERIMETER	5.64 km
ENCLOSED_AREA	0.882 sq km

Ilustración 25 - Área de la cuenca

Con esto, se obtiene la oferta hídrica media multianual que corresponde a la escorrentía media. Se usará el método racional que indica lo siguiente:

$$Q = c \cdot i \cdot A$$

Donde:

c = coeficiente de escorrentía

i = intensidad de precipitación

A = área de drenaje de la cuenca

A partir de los coeficientes de Gribbin se puede establecer que estos están determinados mediante la superficie en la que se encuentra.

C-1
Values of *c*, Runoff Coefficient

Character of Surface	Runoff Coefficients
Pavement	
Asphalt and concrete	0.70 to 0.95
Brick	0.70 to 0.85
Roofs	0.75 to 0.95
Lawns, sandy soil	
Flat (2 percent)	0.05 to 0.10
Average (2 to 7 percent)	0.10 to 0.15
Steep (> 7 percent)	0.15 to 0.20
Lawns, heavy soil	
Flat (2 percent)	0.13 to 0.17
Average (2 to 7 percent)	0.18 to 0.22
Steep (> 7 percent)	0.25 to 0.35
Composite <i>c</i>-values:	
Business	
Downtown	0.70 to 0.95
Neighborhood	0.50 to 0.70
Residential	
Single Family	0.30 to 0.50
Multi-units, detached	0.40 to 0.60
Multi-units, attached	0.60 to 0.75
Residential (suburban)	0.25 to 0.40
Apartment	0.50 to 0.70
Industrial	
Light	0.50 to 0.80
Heavy	0.60 to 0.90
Parks, cemeteries	0.10 to 0.25
Playgrounds	0.20 to 0.35
Railroad yards	0.20 to 0.35
Unimproved	0.10 to 0.30

Ilustración 26 - Factor de escorrentía según Gribbin

Fuente: (Gribbin, 2006)

No obstante, estos son valores para zonas con gran urbanismo e industrialización, por lo que no se pueden usar para una zona como la estación. Por lo tanto, se determina que el valor del coeficiente de escorrentía es 0.4.

Hidrogramas de escorrentía

Con esto se determina los hidrogramas de escorrentía de los años en donde se dispone información. Corresponden al estudio y análisis del flujo de agua superficial que se produce cuando la precipitación excede la capacidad de infiltración del suelo. Mediante los datos de precipitación se obtuvo lo siguiente:

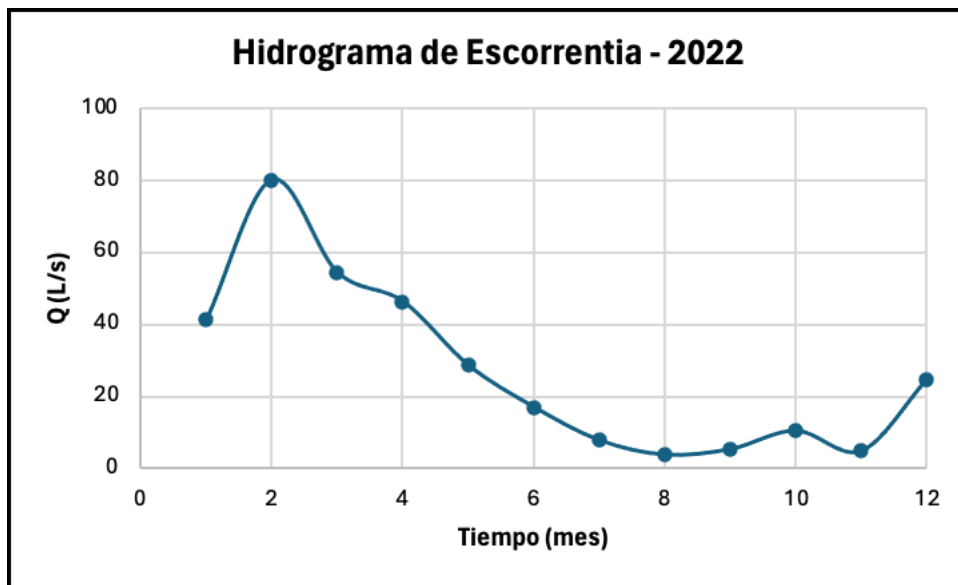


Ilustración 27 - Hidrograma de escorrentía 2022

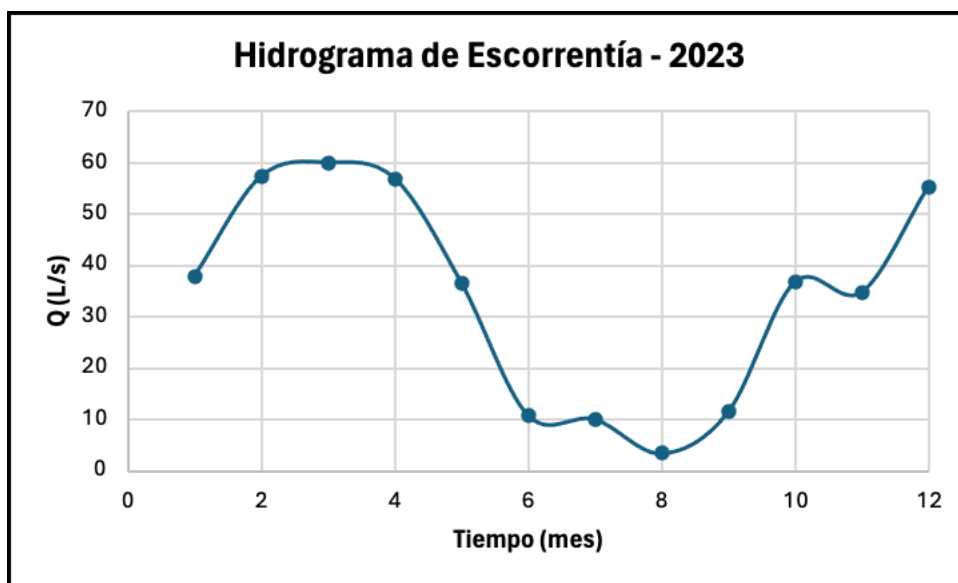


Ilustración 28 - Hidrograma de escorrentía 2023

Con esto, se obtiene la curva de duración de caudales de cada año en escala semilogarítmica y el Q95% o caudal de oferta hídrica de cada gráfica como se muestra a continuación:

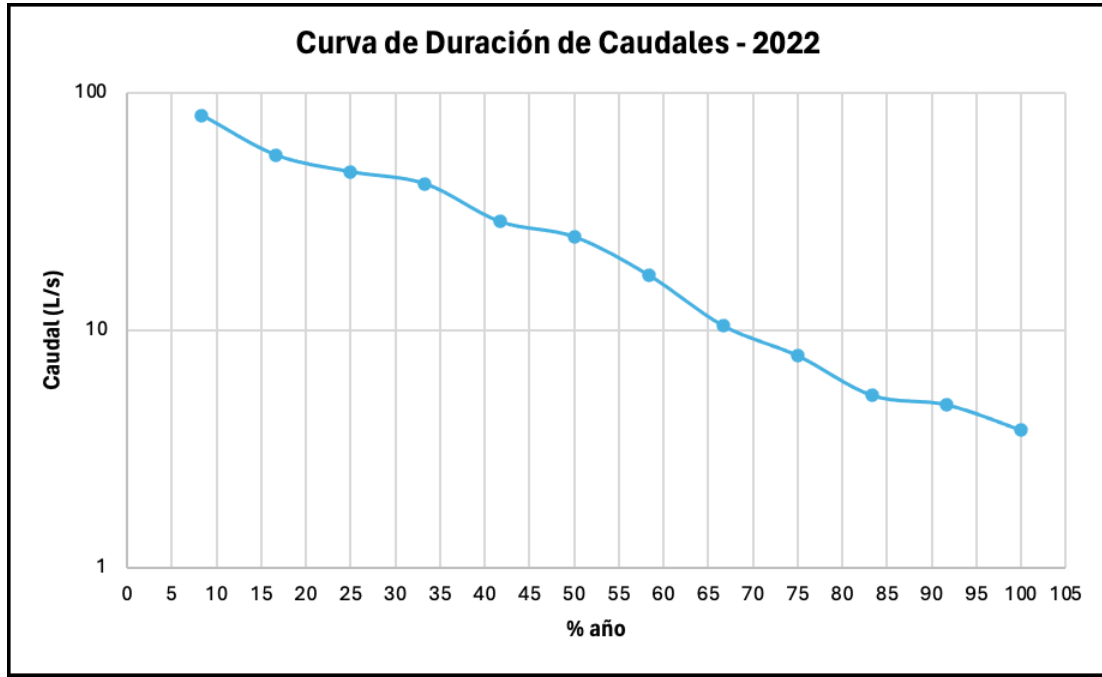


Ilustración 29 - Curva de duración 2022

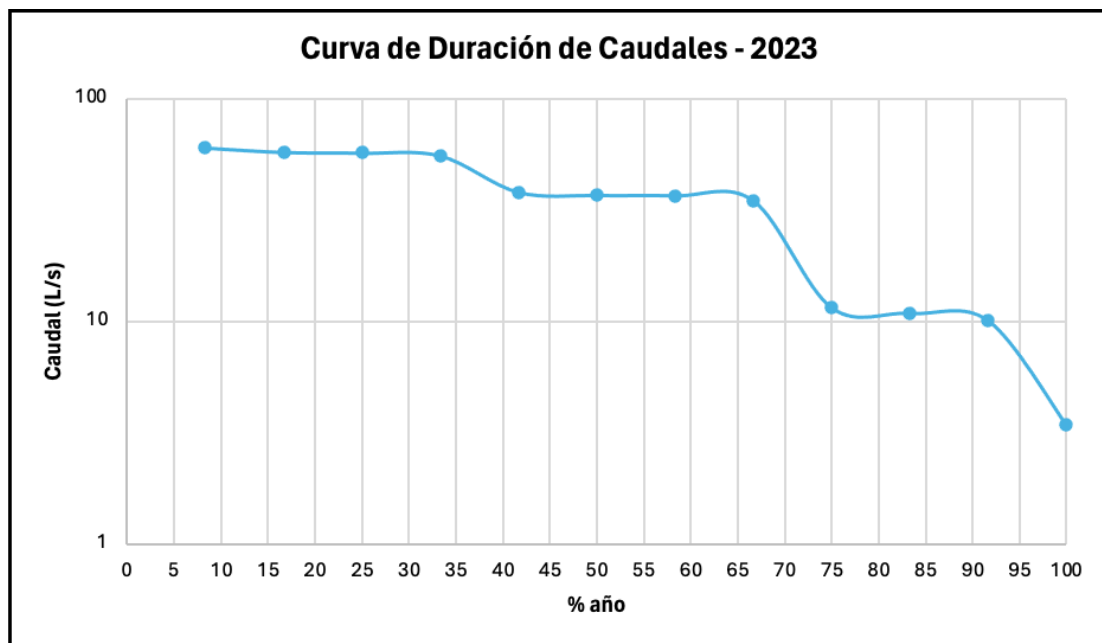


Ilustración 30 - Curva de duración 2023

Por lo tanto, los valores de caudales de oferta hídrica se resumen a continuación:

Año	Q95%	
	L/s	m³/día
2022	4.47	386.21
2023	7.12	615.17
Promedio	5.80	500.69

Tabla 16 - Caudal de agua niebla

Por lo tanto, la oferta hídrica Q95% tiene un valor de:

$$Q95 \% = 500.69 \text{ m}^3/\text{día}$$

4.4 Agua subterránea

La captación de agua subterránea es el proceso de extracción de agua que se encuentra almacenada debajo de la superficie terrestre en acuíferos y otros depósitos subterráneos.

Consiste en la perforación de pozos o galerías que permiten acceder a estas reservas de agua y extraerla para su posterior. Sin embargo, en el contexto de este proyecto de investigación, no fue posible realizar un análisis de la oferta hídrica a través del agua subterránea para evaluar el potencial de esta fuente de agua. Esto se debe a la ausencia de datos relevantes sobre los niveles de agua, la calidad del agua y otros parámetros hidrogeológicos necesarios.

Para futuras investigaciones, se recomienda la instalación de pozos de observación en el área de estudio. Estos pozos servirían para monitorear los niveles de agua subterránea y obtener información sobre la estructura y comportamiento del acuífero. Con la instalación de esta infraestructura y la recopilación de datos a lo largo del tiempo, se facilitaría la realización de un análisis más preciso de la oferta hídrica por agua subterránea y se proporcionaría una base sólida para la gestión sostenible de los recursos hídricos en la región.

VIABILIDAD TÉCNICA Y AMBIENTAL

5.1 Captación de agua lluvia

La alternativa que se propone con respecto a la captación mediante agua lluvia es utilizar una malla de agua niebla, específicamente la CloudFisher Pro de 54 m² de área, el tanque de retención pluvial y el sistema de canaletas.

Esto da un caudal total mediante agua lluvia de:

Alternativa	Caudal (m³/día)
CloudFisher Pro	0.54
Tanque	0.71
Sistema de canaletas	1.51
TOTAL	2.12

Tabla 17 - Detalle opción agua lluvia

Con respecto a esta opción, se puede evidenciar que el caudal de 2.12 m³/día no es suficiente para satisfacer la demanda hídrica futura de 7.10 m³/día pues aun se requeriría un caudal de 4.98 m³/día. Sin embargo, podría solventar a corto plazo el consumo actual pues la demanda hídrica actual es de 1.18 m³/día. De igual manera, se puede determinar que el impacto ambiental de estas opciones es mínimo; para el tanque de retención pluvial únicamente habría una perturbación con respecto al espacio, pues se debería remover material del suelo para la excavación e implementación del mismo. Para el sistema de canaletas, el riesgo sería la acumulación de materia orgánica debido a las hojas que caen en el sistema y que su descomposición afecte la potabilidad del agua recolectada. Finalmente, para la recolección del agua niebla, el impacto sería visual, debido a que se tendría que instalar 54 m² de manera vertical, lo que podría afectar a las especies de aves de la zona.

5.2 Captación de agua del riachuelo

Dado que la anterior alternativa no logra satisfacer la demanda hídrica futura, se plantea una segunda opción que consiste en la captación del agua superficial, es decir, del riachuelo.

Se sabe que su caudal de oferta hídrica tiene un valor de 500.69 m³/día. Por lo tanto, se someterá a la evaluación de factibilidad para determinar si cumple con lo necesario:

$$Q_{95\%} \geq 2 Q_D$$

$$500.69 \geq 2 (7.10)$$

$$500.69 \geq 14.20 \text{ [m}^3\text{/día]}$$

De esto se evidencia que el caudal del río puede satisfacer el caudal de diseño, ya que la oferta es capaz de cubrir el doble de la demanda de manera adecuada. En la evaluación de factibilidad, este factor de seguridad de 2 se considera debido a la variabilidad climática en precipitaciones y caudales. De hecho, solo se requiere el 1.42% del flujo del río para cubrir la demanda futura.

En definitiva, se recomienda realizar la captación de esta fuente hídrica, ya que solo con esta alternativa se logra cubrir totalmente la demanda requerida de la estación científica para una capacidad futura de 80 personas.

Es más, con respecto a su impacto ambiental, este sería mínimo pues no existe una alteración significativa al flujo del riachuelo, lo que no causaría una perturbación a la biodiversidad marina. Para su instalación se debería implementar una bomba de ariete, debido a la falta de servicio eléctrico, esto ocasionaría un impacto mínimo sonoro, que sería casi despreciable.

ALTERNATIVAS DEL SISTEMA DE SANAMIENTO

6.1 Tratamiento de agua para consumo

La desinfección del agua es de vital importancia para garantizar la calidad del agua para consumo humano. Dado que la cisterna es el principal punto de almacenamiento, es crucial mantenerla libre de contaminantes que puedan comprometer la salud de los visitantes. La desinfección regular elimina patógenos como bacterias, virus y parásitos, previniendo enfermedades transmitidas por el agua. Además, mantener la cisterna limpia y desinfectada asegura que el agua almacenada cumpla con los estándares de calidad establecidos por las normativas sanitarias, proporcionando un suministro de agua seguro y confiable.

6.1.1 Desinfección mediante cloración

La desinfección mediante cloración es un método ampliamente utilizado en sistemas de tratamiento de agua a nivel mundial debido a su eficacia, bajo costo y facilidad de implementación. Es un proceso que consiste en agregar hipoclorito de sodio con el fin de eliminar o inactivar microorganismos patógenos, como bacterias, virus y parásitos, presentes en el agua. Se realiza típicamente mediante la adición controlada de cloro en forma de gas, líquido o sólido al agua a tratar. Cada producto debería tener instrucciones para la correcta dosificación y establecimiento del tiempo de contacto. De esa manera, se mantiene un control riguroso sobre su uso para garantizar la seguridad del agua tratada y evitar subproductos de desinfección (DBP) que son potencialmente dañinos a la salud si se consume en exceso o se encuentra en condiciones inadecuadas (CAWST, 2011). El cloro se disuelve en el agua y forma ácido hipocloroso que reacciona con los microorganismos presentes, desinfectándola y haciéndola segura para el consumo humano. También es usual el uso de pastillas de NaDCC

(dicloroisocianurato de sodio), el cual es una forma de cloro que al añadirse al agua genera igualmente ácido hipocloroso. La efectividad del cloro puede ser influenciada por varios factores, como la turbidez del agua, la presencia de materia orgánica, el amoníaco, la temperatura y el pH del agua. Es recomendable permitir que el agua se asiente o se filtre antes de aplicar el cloro.

6.1.2 Desinfección solar del agua

También conocido como método SODIS (por sus siglas en inglés) es un tratamiento sencillo que consiste en “utilizar la radiación solar (rayos UV) y el incremento de temperatura de agua generado por el sol, para inactivar y destruir los microorganismo patógenos presentes en el agua, desinfectándola” (INCAP, 2006). Para esto, se deberá llenar botellas plásticas transparentes con el agua contaminada y exponerlas al sol directo. La desinfección se produce cuando el agua supera los 50°C. Para su correcto funcionamiento, es necesario la exposición de seis horas bajo una radiación solar de al menos 500 W/m². Es importante mencionar que en días nublados, se recomienda dos días consecutivos bajo exposición solar. La eficacia del método puede incrementar si las botellas de plástico están expuestas sobre superficies que reflejan la luz solar, como láminas de aluminio o de hierro corrugado

La radiación ultravioleta A (UVA) daña el ADN y mata las células vivas; mientras que la radiación infrarroja calienta el agua hasta el punto de pasteurizarla. La combinación de ambos procesos, destruye la mayoría de microorganismos patógenos y mejora la calidad microbiológica del agua para consumo humano; no obstante, no mejora la calidad química (INCAP, 2006). Esta opción no es adecuada para tratar grandes cantidades de agua, sino pequeños volúmenes. Tiene una capacidad de producción de aproximadamente de 1 a 3 litros

de agua por persona por día. Además, se requiere de agua relativamente clara (con una turbiedad preferiblemente menor a 30 UTN).

6.2 Tratamiento de aguas residuales

6.2.1 Biotanque séptico integrado

Consiste en un sistema compacto de tratamiento primario de aguas residuales domésticas con “capacidad de alcanzar un 95% de tratamiento del agua contaminada, a través de tres etapas, cumpliendo así con la normativa nacional vigente para poder hacer la descarga directa al río” (El Oficial, 2021). Es una solución muy práctica en zonas rurales en donde no existe un sistema de alcantarillado. Para realizar el tratamiento de las aguas residuales, esta opción atraviesa por tres etapas: la sedimentación, filtrado con flujo ascendente y depuración final. El biotanque séptico además de ser una innovación de talento ecuatoriano creado por Plastigama Wavin, promueve buenas prácticas de manejo de residuos, cuidado del planeta y de los recursos hídricos para que se viertan ya tratadas las aguas residuales hacia los ríos.

6.2.2 Humedales artificiales

También conocido como biofiltro, es un sistema que puede usarse como tratamiento secundario de aguas residuales, por lo que es usual instalarlo de forma complementaria con el tanque séptico. Estos permiten depurar el agua filtrando los desechos en un espacio reducido y controlado. Son sembrados con plantas acuáticas (carrizo, papiro, junco, totora, achira, etc.) en la superficie del lecho filtrante, por donde las aguas residuales previamente tratadas fluyen de manera horizontal o vertical. “El agua residual es depurada por la acción de microorganismos que se adhieren a la superficie del lecho y por otros procesos físicos tales

como la filtración y la sedimentación” (Carrión, 2013). Se basa en los principios de eliminación de materia orgánica por sedimentación y filtración, eliminación de sólidos en suspensión, eliminación de organismos patógenos y eliminación de nitrógeno y fósforo. Esta técnica es fácilmente aplicable a la estación científica de la universidad, pues requiere de un bajo costo de construcción, operación y mantenimiento. Además, es un sistema que tiene un eficiencia de tratamiento promedio de 85% (97% en coliformes fecales) en la remoción de contaminantes de los vertidos de aguas residuales.

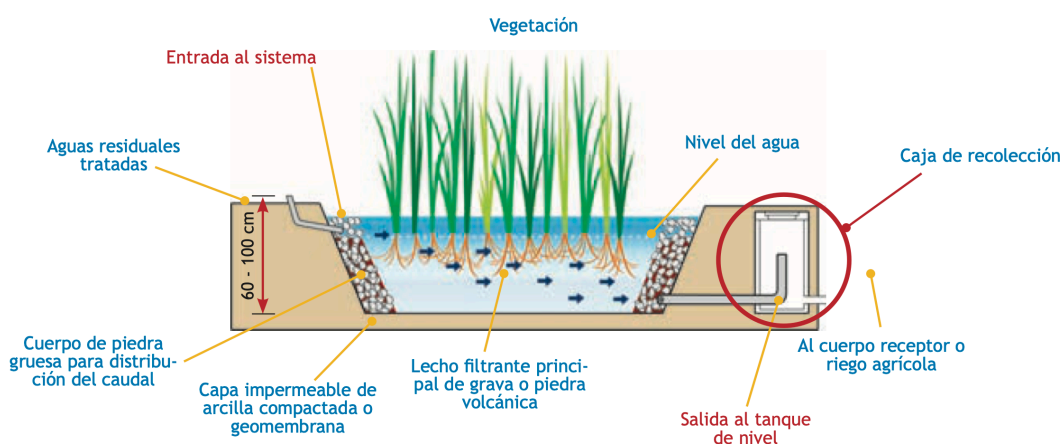


Ilustración 31 - Humedal artificial de flujo horizontal

Fuente: (Carrión, 2013)

6.2.3 Vermicompostaje

Es un proceso biotecnológico que permite biodegradar residuos orgánicos mediante la acción combinada de lombrices y microorganismos, del que se obtiene un producto final estabilizado. Esta es una opción eficiente y de bajo costo para el tratamiento de lodos residuales, mitigando el impacto ambiental que generan estos desechos. El producto final obtenido también conocido como vermicompost se puede comercializar o aplicar como abono orgánico químico de buena calidad. Es una tecnología limpia que intensifica la descomposición de materia orgánica, no tiene impacto ambiental y presenta costos de inversión, energéticos y de mantenimiento relativamente bajos.

CONCLUSIONES

Tras un minucioso análisis del sistema de abastecimiento de agua en la Estación Científica USFQ de Tandayapa, se han identificado varias deficiencias que requieren una intervención inmediata. En particular, el sistema de abastecimiento de agua muestra una gran dependencia de proveedores externos, lo que resulta en un costo mensual de \$420 para cubrir las necesidades de agua para consumo humano del lugar. Esta situación no solo implica un gasto significativo, sino que también pone en riesgo la sostenibilidad de la estación.

En resumen, el caudal de consumo actual es equivalente a 1.43 m³/día, teniendo una dotación de 35 L/hab/día y una capacidad de 35 personas. Por otra parte, el caudal de consumo futuro que se determinó es de 7.10 m³/día, pues se prevé una capacidad máxima de 80 personas a mediano y largo plazo y se calculó una dotación de 80.70 L/hab/día.

Asimismo, durante el proceso de diagnóstico llevado a cabo en este proyecto, se consideraron dos alternativas para mejorar el suministro de agua: la captación de agua lluvia y la captación de agua del riachuelo. Para la primera opción que abarca la recolección de agua niebla, el tanque de retención pluvial y el sistema de canaletas, se tiene un caudal de 2.12 m³/día; mientras que para la segunda opción de captación de agua superficial se obtuvo un caudal de oferta hídrica del riachuelo 500.69 m³/día. De igual manera, se concluye que ambas alternativas tienen un impacto ambiental mínimo. En cuanto a la captación de agua de lluvia, las perturbaciones consideradas incluyen la visibilidad, el sonido y la ocupación de superficie de terreno. Sin embargo, estas alteraciones serían prácticamente imperceptibles, asegurando que el entorno natural permanezca en gran medida intacto. Por otra parte, en lo que respecta a la captación de agua superficial, el impacto también sería mínimo, ya que se determinó que solo se requiere el 1.42% del flujo del río para cubrir la demanda hídrica

futura. Esta proporción tan baja garantiza que no habrá cambios significativos ni perturbaciones mayores hacia la biodiversidad de la zona.

Tras comparar ambas opciones, se concluye que la captación de agua del riachuelo es la mejor solución, ya que logra satisfacer por completo la demanda hídrica futura de manera sostenible, proporcionando un suministro constante y sin la necesidad de recurrir a otras alternativas. No obstante, la alternativa de captación de agua lluvia puede solventar la demanda hídrica actual hasta que se realice la construcción de los lugares de alojamiento al estilo de “glampings” que se tiene planeado en la estación científica.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar un análisis de costo-beneficio de las alternativas propuestas para el abastecimiento de agua. Este análisis permitirá entender cómo cada opción se ajusta al presupuesto disponible y proporcionará pautas más claras para la toma de decisiones en la gestión hídrica. Evaluar tanto los costos iniciales como los beneficios a largo plazo de cada alternativa es crucial para seleccionar la opción más eficiente y sostenible para la estación.

De igual manera, se sugiere realizar el diseño de la bomba de ariete que se debe instalar en la captación de agua superficial. Este sistema permitiría bombear agua sin necesidad de electricidad, lo cual es especialmente relevante dado que la estación no cuenta con servicio eléctrico. La implementación de esta tecnología podría reducir significativamente los costos operativos y aumentar la autonomía del sistema de abastecimiento de agua.

Asimismo, es recomendable llevar a cabo un estudio exhaustivo de la fuente hídrica correspondiente al agua subterránea. Para ello, se deben implementar pozos de observación que permitan determinar la oferta hídrica disponible y evaluar si esta opción es viable como alternativa para cubrir la demanda hídrica futura. Este estudio proporcionará datos críticos sobre la capacidad de los acuíferos locales.

También se recomienda realizar un levantamiento topográfico detallado del área de la cuenca de drenaje del riachuelo. Esto permitirá establecer con mayor precisión los parámetros de la oferta hídrica de esta fuente y minimizar los errores en las determinaciones del caudal.

Adicionalmente, se aconseja llevar a cabo campañas de concientización sobre el uso sostenible y consciente del agua en la estación. Estas campañas deben educar a los visitantes sobre prácticas que contribuyan a la conservación del agua. Fomentar una cultura de uso responsable del agua puede tener un impacto significativo en la reducción del consumo y en la sostenibilidad a largo plazo del recurso hídrico en la estación.

Finalmente, se recomienda implementar un programa de monitoreo y mantenimiento regular de los sistemas de abastecimiento y saneamiento de agua. Se deberán realizar inspecciones periódicas de las instalaciones, la limpieza de las cisternas y tanques, y la verificación del buen funcionamiento de las bombas y tuberías. Un mantenimiento adecuado es esencial para asegurar la eficiencia operativa y prolongar la vida útil de los sistemas instalados.

REFERENCIAS

- Banco Mundial. (2022). *Village Water Supply* (Informe No. 178039). World Bank. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/099101511252240697/pdf/IDU0a729be8002aa804c810934c0e1f62a73acb4.pdf>
- Barreto, L. (2023). *¿Sabes qué son los sistemas de abastecimiento de agua?* Recuperado de <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/acerca-de-esta-herramienta/%C2%BFsabes-qu%C3%A9-son-los-sistemas-de-abastecimiento-de-agua%3F>
- Carrión, G. (2013). *Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales para Albergues en Zonas Rurales*. Recuperado de <https://blogdelagua.com/wp-content/uploads/2013/01/aguas-servidas-ctp.pdf>
- CAWST - Centre for Affordable Water and Sanitation Technology. (2011). *Introducción al tratamiento del agua a nivel domiciliario y su almacenamiento seguro*. Recuperado de https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/CAWST%202011.%20Introducci%C3%B3n%20al%20tratamiento%20%20agua%20a%20nivel%20domiciliario.pdf
- CEPF - Critical Ecosystem Partnership Fund. (2023). *Hotspot de Biodiversidad Andes Tropicales*. Recuperado de <https://andestropicales.net/biodiversidad/>
- El Oficial. (2021). *Biotanque séptico integrado desarrollo e innovación de talento ecuatoriano*. Recuperado de <https://www.eloficial.ec/biotanque-septico-integrado-desarrollo-e-innovacion-de-talento-ecuatoriano/>
- FONAG - Fondo para la Protección del Agua. (2024). *Sistema de Estandarización de Datos Hidroclimáticos Crudos*. Recuperado de <https://sedc.fonag.org.ec/>
- Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural Nanegalito. (2024). *Ubicación Geográfica*. Recuperado de <https://nanegalito.gob.ec/ubicacion-geografica/>

Google Maps. (s.f.). [Tandayapa Cloud Forest Station]. Recuperado el 1 de abril de 2024 de

<https://maps.app.goo.gl/4nVqvnwyWEp7rEJfA>

Glynn, H., & Heinke, H. (1999). *Ingeniería Ambiental*. (2ª ed.). Prentice Hall.

Herrera, J., Jaramillo, J., Jiménez, M., & Valenzuela, C. (2024). *Monitoreo y Calidad de Agua*

– Análisis de calidad y evaluación de resultados del agua almacenada en cisterna de la Estación Científica Tandayapa (USFQ).

IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2023). Recuperado

de <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/monitoreo-y-seguimiento-de-la-lluvia-acida-la-vigilancia-atmosferica>

INCAP - Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá. (2006). *Método SODIS para purificación del agua*. Serie III: Fichas Tecnológicas. (MDE/155).

Instituto de Capacitación del Oriente. (2017). *Captura de agua niebla, para consumo*

familiar. Recuperado de <https://ico-bo.org/wp-content/uploads/2017/08/ATRAPANIEBLA-FINAL-ICO1-1.pdf>

López, R. (2003). *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados*. (2ª ed.). Escuela Colombiana de Ingeniería.

Ministerio del Ambiente. (2015). *Anexo i del Libro VI del texto Unificado de Legislación*

Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua. Quito.

NEC - Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2011). *Norma Hidrosanitaria NHE Agua*.

Recuperado de <https://inmobiliariadja.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/09/nec2011-cap-16-norma-hidrosanitaria-nhe-agua-021412.pdf>

Secretaría del Agua. (2016). *NORMA CO 10.7 - 602 - REVISIÓN*. Recuperado de <https://inmobiliariadja.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/09/norma-co-10-7-602-area-rural.pdf>

Secretaría de Territorio, Hábitat y Vivienda. (2024). *Consulta de predios - IRM*. Recuperado de https://pam.quito.gob.ec/mdmq_web_irm/irm/buscarPredio.jsf