

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**DISEÑO DE UNA RED HIDROSANITARIA SUSTENTABLE PARA
EL EDIFICIO ENGADÍ
EVALUACIÓN DE CAUDALES**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL**

CAMILA JUDITH SÁNCHEZ GUERRERO

camila.sanchez668@gmail.com

DIRECTORA: MARÍA CRISTINA TORRES GUERRÓN

maria.torresg@epn.edu.ec

DMQ, marzo 2024

CERTIFICACIONES

Yo, CAMILA JUDITH SÁNCHEZ GUERRERO declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

CAMILA JUDITH SÁNCHEZ GUERRERO

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por CAMILA JUDITH SÁNCHEZ GUERRERO, bajo mi supervisión.

MARÍA CRISTINA TORRES GUERRÓN
DIRECTORA

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

CAMILA JUDITH SÁNCHEZ GUERRERO

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de integración curricular a Dios, a mi madre y a mí, este logro no es solo mío, es nuestro.

AGRADECIMIENTO

A mis padres Jaime y Carmen por el amor y la educación recibida durante toda mi vida, en especial a mi madre, mi compañera, mi fuente inagotable de apoyo, gracias por enseñarme que la vida sigue a pesar de cualquier adversidad.

A mis abuelitos, mi papi Wilo por apoyarme con sus consejos y sabiduría, a mi mami Judith por ser mi ángel guardián, cuidarme desde el cielo y ser mi guía espiritual. A toda mi familia que en muchas ocasiones me animaron con sus palabras de aliento, principalmente a mi tía Flor María, gracias por estar siempre para nosotros.

A mis hermanos, Francisco y Joaquín, quienes con su amor fraternal y su compañía han sido un apoyo constante, gracias por cuidarme y ser el escape que necesito en momentos de estrés.

No puedo olvidarme de agradecer a mi cachorrito Max, por ser mi hijo adoptivo tan especial y leal, por darme su amor incondicional, y ser mi compañía de estudio hasta altas horas de la noche.

A Nico, quien con su continuo respaldo, entrega y compromiso ha sido un pilar muy importante en mi vida y en mi carrera; no tengo palabras para expresar todo su apoyo.

A los mejores amigos que la universidad me regaló, George y Jaimito, por su completa disposición para ayudarme y escucharme cada que lo necesito, gracias por su tiempo y compañía.

A Alexander, mi segundo ángel guardián quien me enseñó que el dolor únicamente nos vuelve más fuertes y con su recuerdo me acompaña.

A mi tutora de TIC, la Ing. María Cristina Torres, por asumir el tema presentado, por su constante guía en el desarrollo de este trabajo.

Mi más sincero agradecimiento a los ingenieros Pablo Pinto, Patricio Ortega, Sebastián Páez por su orientación en momentos de dificultad e incertidumbre. A la ingeniera María Belén Correa, por enseñarnos con tanto ímpetu las materias.

Agradezco al ingeniero Flavio Sánchez por permitirnos realizar el Trabajo de Integración Curricular en su edificio, al ingeniero Jefferson Yugcha por guiarnos durante las prácticas realizadas en el lugar, por su ayuda durante el desarrollo de este proyecto.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	II
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
RESUMEN.....	XI
ABSTRACT.....	XII
DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO	1
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo general.....	2
1.2 Objetivos específicos	2
1.3 Alcance	2
1.4 Marco teórico	3
1.4.1 Construcción sustentable.....	3
1.4.2 Gestión de recursos hídricos.....	3
1.4.3 Disponibilidad de agua en el planeta	3
1.4.4 Fuentes de agua	4
1.4.3 Provisión de agua.....	5
1.4.4 Calidad del agua.....	6
1.5 Marco Normativo.....	8
2 METODOLOGÍA.....	9
2.1 Localización del Proyecto.....	10
2.1.1 Clima.....	10
2.1.2 Situación freática de la zona de estudio	10
2.1.3 Descripción arquitectónica	13
2.2 Estimación de demanda requerida por Engadí.....	14
2.2.1 Determinación de dotación por habitante a futuro en Engadí.....	15
2.3 Determinación de la oferta de agua	17
2.3.1 Caudal pluvial mensual.....	17
2.3.2 Caudal freático	27
2.4 Análisis de calidad de agua	31
2.3.4 Comparación de oferta versus demanda requerida.....	38
2.5 Alternativas de aprovisionamiento de agua	38

3	RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	38
3.1	Resultados	38
3.1.1	Demanda requerida por el edificio Engadí.....	38
3.1.2	Determinación de la oferta de agua	39
3.1.3	Comparación de oferta versus demanda requerida	55
3.2	Conclusiones	58
3.3	Recomendaciones	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Esquema de marco metodológico.....	9
Figura 2.	Ubicación del edificio Engadí	10
Figura 3.	Nivel freático alto en la cimentación de Engadí	11
Figura 4.	Colocación de tuberías de subdrenaje en el subsuelo 4 de Engadí ..	12
Figura 5.	Conexión externa de tubería geosintética	12
Figura 6.	Conexión de tubería externa con pozos.....	13
Figura 7.	Red de estaciones pluviométricas.....	18
Figura 8.	Esquema del Diagrama de cajas y bigotes	24
Figura 9.	Ubicación de pozos en el subsuelo 4.....	27
Figura 10.	Esquema de pozo tipo	28
Figura 11.	Aplomada	28
Figura 12.	Sistema de medición	29
Figura 13.	Envases proporcionados por el CICAM	31
Figura 14.	Tinas para recolección de agua pluvial	32
Figura 15.	Envases llenos	33
Figura 16.	Sistema para recoger agua freática en el pozo 4	36
Figura 17.	Agua freática en época seca.....	36
Figura 18.	Recolección de agua freática en envases.....	37
Figura 19.	Envases llenos entregados en el CICAM.....	37
Figura 20.	Correlación de precipitaciones- año 2001	41
Figura 21.	Diagrama de Caja y Bigotes de precipitación.....	46
Figura 22.	Proceso de tratamiento sugerido	55
Figura 23.	Caudal pluvial disponible	56
Figura 24.	Caudal freático disponible.....	56
Figura 25.	Oferta vs Demanda.....	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Términos de recolección de nivel freático	4
Tabla 2.	Términos relacionados a la precipitación	5
Tabla 3.	Parámetros físicos	6
Tabla 4.	Parámetros químicos	7
Tabla 5.	Parámetros biológicos	7
Tabla 6.	Normativas utilizadas	8
Tabla 7.	Plan maestro.....	8
Tabla 8.	Distribución de las plantas por nivel	14
Tabla 9.	Distribución de terrazas	14
Tabla 10.	Dotación por habitante por día.....	15
Tabla 11.	Dotaciones para edificaciones de uso específico.....	15
Tabla 12.	Dotaciones para edificaciones de uso específico.....	16
Tabla 13.	Estaciones pluviométricas utilizadas.....	17
Tabla 14.	Escurrimiento Superficial Directo	18
Tabla 15.	Datos pluviométricos de la Estación P09	20
Tabla 16.	Datos pluviométricos de la estación M024	21
Tabla 17.	Comparación entre estaciones	22
Tabla 18.	Resumen para la elaboración del Diagrama de Cajas y Bigotes	24
Tabla 19.	Área de aportación de agua pluvial en Engadí.....	25
Tabla 20.	Resumen de Coeficiente de escurrimiento según la cobertura de Engadí	26
Tabla 21.	Tiempo de acción de la bomba y llenado del pozo.....	30
Tabla 22.	Registro de muestras en época seca.....	30
Tabla 23.	Criterios de Calidad de Fuentes de Agua para Consumo Humano y Doméstico.....	34
Tabla 24.	Requisitos físicos y químicos del agua para consumo humano.....	35
Tabla 25.	Requisitos microbiológicos del agua para consumo humano	35
Tabla 26.	Fechas de muestreo	37
Tabla 27.	Demanda requerida de cada servicio.....	38
Tabla 28.	Cantidad de habitantes y áreas	39
Tabla 29.	Caudal por habitante por día.....	39
Tabla 30.	Comparación entre estaciones	40
Tabla 31.	Media de variables.....	40

Tabla 32.	Desviación y Covarianza	41
Tabla 33.	Coeficientes de regresión	42
Tabla 34.	Estación principal completa para el 2001	42
Tabla 35.	Estación principal completa	44
Tabla 36.	Valores del diagrama de Caja y Bigote	45
Tabla 37.	Área de aportación para agua pluvial.....	47
Tabla 38.	Coeficiente de escorrentía ponderado	48
Tabla 39.	Coeficiente de escorrentía ponderado	48
Tabla 40.	Aplicación del método racional de enero	49
Tabla 41.	Volumen pluvial mensual promedio	50
Tabla 42.	Datos tomados in situ-época seca	50
Tabla 43.	Datos tomados in situ-época lluviosa.....	51
Tabla 44.	Toma de muestras	51
Tabla 45.	Resultados del laboratorio CICAM.....	52
Tabla 46.	Caudales disponibles.....	57

RESUMEN

En la actualidad, el planeta atraviesa un estrés hídrico que ha impulsado la necesidad de adoptar enfoques sostenibles en la gestión del agua, especialmente en el sector de la construcción. Bajo este contexto, el trabajo de integración curricular se centra en analizar la disponibilidad de caudales freáticos y pluviales para el Edificio Engadí, ubicado en La Carolina.

Se comenzó con la determinación de la dotación neta según las normativas ecuatorianas para satisfacer las necesidades básicas de los habitantes. Luego, se cuantificó la oferta de agua en épocas seca (para agua freática), y lluviosa (freática y pluvial), permitiendo cubrir con la demanda mínima del edificio. Para este propósito, se analizan datos de precipitación de los últimos 20 años de una estación cercana para comprender la variabilidad y su impacto en el proyecto actual. Posteriormente, se realizó un análisis de calidad del agua de ambas fuentes para conocer su estado y verificar que cumpla con los parámetros de consumo establecidos por las normas TULSMA e INEN 1108. De esta manera, se pudo definir que el proceso de potabilización requerido es uno básico.

Finalmente, se determinó que el caudal promedio disponible (compuesto en un 96.53% de freática y un 3.47% de pluvial) en el área de estudio en invierno y verano es 166.80 m³/día y 83.71 m³/día respectivamente, lo cual permitió proponer alternativas sustentables que aprovechen el uso de los recursos hídricos.

PALABRAS CLAVE: sustentable, dotación, caudal freático, caudal pluvial, calidad del agua, potabilización.

ABSTRACT

Currently, the planet is undergoing water stress that has driven the need to adopt sustainable approaches to water management, especially in the construction sector. In this context, the curricular integration work is focused on analyzing the availability of phreatic and pluvial flows for the Engadí Building, located in La Carolina.

The first step was to determine the net endowment according to Ecuadorian regulations to meet the basic needs of the inhabitants. Then, the water supply was quantified in the dry season (for groundwater) and rainy season (groundwater and rainwater), allowing to meet the minimum demand of the building. For this purpose, precipitation data for the last 20 years from a nearby station was analyzed to understand the variability and its impact on the current project. Subsequently, an analysis of the water quality of both sources was carried out to determine its condition and verify that it complies with the consumption parameters established by the TULSMA and INEN 1108 standards. In this way, it was possible to define that the required potabilization process is a basic one.

Finally, it was determined that the average available flow (96.53% phreatic and 3.47% rainwater) in the study area in winter and summer is 166.80 m³/day and 83.71 m³/day, respectively, which allowed proposing sustainable alternatives that take advantage of the use of water resources.

KEYWORDS: sustainable, endowment, phreatic flow, pluvial flow, water quality, potabilization.

DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

1 INTRODUCCIÓN

El agua es el principal recurso que tiene el ser humano para vivir, también es uno de los más desperdiciados en el planeta (Nova, 2021). Actualmente, el país está apoyando la iniciativa de realizar proyectos ecoeficientes que ayuden a conservar y recuperar recursos naturales, además se considera que la industria de la construcción no está exenta del gran impacto que tiene sobre el ambiente, así como el 50% de residuos causados por el sector (Arenas, 2008). Se requiere crear un equilibrio entre el ambiente y la construcción, por lo que es indispensable que los constructores se responsabilicen y creen conciencia sobre cómo se puede reducir el desperdicio de recursos naturales, en especial del agua (Acevedo et al, 2012).

Las nuevas generaciones de constructores tienen la obligación de buscar alternativas sustentables que beneficien al ambiente, para ello se debe plantear tecnologías de innovación en donde se realicen diseños ecoeficientes. “Latinoamérica desarrolla técnicas sostenibles que integren al sol, aire, lluvia para sistemas en edificios, de esta manera puede abastecer de energía y agua al sistema diseñado” (Aguilar, 2016. pp1).

En la ciudad de Quito, en el sector Parque La Carolina, donde está ubicado el edificio Engadí, un proyecto privado habitacional y comercial, se encuentra el acuífero Centro-Norte que se extiende desde El Panecillo hasta San Antonio de Pichincha (Moreno & Duque, 2015). En la zona se encontraba la Laguna Añaquito, se conoce según la historia geológica del sitio el nivel de agua superficial disminuyó debido a deslaves y sedimentos volcánicos que fueron descendiendo hasta llegar al sector (International Atomic Energy Agency, 2009). Por tal razón, en el lugar existe un nivel freático alto, que es visto como una problemática para los edificios con grandes subsuelos por la afectación que las cimentaciones pueden llegar a tener debido al contacto con el agua subterránea (Sánchez, 2018). Desde otra perspectiva, este remanente de agua no solo debe ser bombeado y desechado al alcantarillado, tiene ser aprovechado por los edificios del sector para diferentes usos, en los que se deben tomar en cuenta la calidad de agua y tratamientos previos para su uso (Moreno & Duque, 2015).

De igual manera, el caudal dado por las precipitaciones en la ciudad de Quito puede ser aplicado dentro de un sistema hidrosanitario sustentable para disminuir el consumo de aguas suministradas por el municipio, en donde es necesario revisar la disponibilidad de

este según el mes, distribución y condiciones meteorológicas de la zona para garantizar la vida útil de la red hidrosanitaria (Borja, 2018). Por lo tanto, se debe analizar los distintos escenarios en los cuales se puedan aprovechar los usos de esta agua, verificando que, por contaminación ambiental, su consumo no afecte a la salud (Palacios, 2019).

Esta investigación busca analizar la posibilidad de captar y aprovechar al máximo tanto el caudal freático como pluvial para el diseño de las instalaciones hidrosanitarias del Edificio Engadí, en donde principalmente se aplicará la normativa TULSMA (Ministerio del Ambiente, 2017) e INEN 1108 (INEN, 2020) para determinar la viabilidad y requisitos mínimos de consumo humano. Se cuantificará la demanda del Edificio y se analizará si los caudales captados son los suficientes para el óptimo funcionamiento de los usos del edificio.

1.1 Objetivo general

Analizar la disponibilidad de caudal freático y pluvial en el Edificio Engadí a través de la recopilación de información del agua subterránea y pluviométrica de la zona para futuras aplicaciones en instalaciones hidrosanitarias

1.2 Objetivos específicos

1. Determinar la dotación promedio del sector La Carolina mediante la información disponible en la EPMAPS para obtener la demanda requerida para el Edificio Engadí.
2. Calcular la oferta de los caudales freático y pluvial captados mediante las cisternas y pozos del edificio Engadí para comparar con la demanda requerida.
3. Aprovechar el uso del agua captada a través del planteamiento de alternativas sustentables para disminuir el consumo de agua potable.

1.3 Alcance

En la investigación se llevarán a cabo tres fases con el fin de proponer alternativas sustentables para el aprovechamiento de los caudales freáticos y pluviales en el área del edificio Engadí, situado en la zona de La Carolina. En la primera fase, se determinará la demanda necesaria que el edificio tenga para un funcionamiento óptimo por parte de sus ocupantes. En la segunda fase se realizará una evaluación de disponibilidad y variabilidad de los recursos hídricos disponibles en la zona, analizando tanto los caudales subterráneos como los provenientes de las precipitaciones. Para terminar, en la tercera fase se realizarán tres muestreos puntuales: uno en época seca y dos en lluviosa. Estos análisis, se llevarán

a cabo en un laboratorio certificado que buscará determinar la presencia de contaminantes potenciales y los tratamientos necesarios para asegurar que el consumo humano u otras actividades sean aptas según el escenario que se planteará. Con este proyecto se busca incentivar prácticas responsables y eficientes en la gestión del agua, especialmente en el edificio Engadí y su entorno cercano.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Construcción sustentable

Sustentable se refiere a un modelo social y económico que busca satisfacer las necesidades humanas aprovechando los recursos naturales a largo plazo (Sánchez, 2019). Así mismo, la construcción sustentable implica considerar las limitaciones del ambiente para desarrollar los proyectos. En los últimos años, se ha convertido en una necesidad imperante para reducir la destrucción y la contaminación del planeta (Remache, 2021).

1.4.2 Gestión de recursos hídricos

Proceso en el cual se busca optimizar el aprovechamiento del agua a través de la planificación y administración, sin comprometer el equilibrio natural y promoviendo el bienestar social (Valdés & Villalejo, 2018).

1.4.2.1 Ahorro de agua

El ahorro o eficiencia del agua comienza con la conciencia que tiene el ser humano sobre la cantidad necesaria de agua para vivir, es decir, las características culturales que influyen en el uso del agua (Sarmiento & Trujillo, 2012). Con este contexto, la eficiencia del agua debe abordar dos aspectos principales: el aumento de la oferta y la disminución de la demanda (Green, 2003).

1.4.2.2 Uso de agua en edificios residenciales

El uso que el ser humano hace del agua debe abarcar sus necesidades básicas, tanto para la higiene como para el consumo; un 96% se destina al consumo indirecto, es decir, al contenido de agua necesario para las actividades diarias, como cocinar, lavar ropa, riego de espacios verdes, entre otros (Padilla, 2022).

1.4.3 Disponibilidad de agua en el planeta

El tema de la disponibilidad del agua es de suma importancia, ya que la mayor parte del agua en el planeta es salada, representando el 97.5% (UNESCO, 1997). El restante 2.5% es agua dulce, pero gran parte de ella se encuentra congelada en los polos, lo que reduce

aún más la reserva (UNESCO, 1997). Solo un pequeño porcentaje, el 0.26%, es accesible para el consumo humano (UNESCO, 1997).

1.4.4 Fuentes de agua

Se define como el proceso de tomar agua de una fuente natural para uso humano. En el planeta, existen dos tipos de fuentes de agua: superficiales y subterráneas (Samano, 2013).

1.4.4.1 Aprovechamiento freático

El agua subterránea es agua dulce acumulada bajo la superficie terrestre, se enfoca en destinarla hacia aquellas actividades en las cuales el agua potable no sea dispensable (Camacho & Astudillo, 2020). Identificar las zonas propicias y utilizar pozos para la captación son pasos clave en este proceso, permitiendo el almacenamiento y la utilización eficiente del agua subterránea (Bonells, 2016). En países como Alemania, el mayor sustento de agua potable proviene de aguas subterráneas (Breuer, 2009).

Tabla 1. Términos de recolección de nivel freático

Término	Definición
<i>Tubería geosintética</i>	Consiste en un tubo con pequeñas perforaciones rectangulares a lo largo de su longitud, estas perforaciones tienen la función de permitir que el agua se filtre o drene desde las paredes a través de la tubería (GEOSYNTHETICS, 2014).
<i>Sistema de subdrenaje horizontal</i>	Son tuberías perforadas que cuando el nivel freático aumenta, la mampostería absorbe la humedad y la canaliza hacia tuberías geosintéticas, luego se conecta a los pozos y finalmente al cárcamo para bombear al agua hacia el alcantarillado (Corba, 2017).
<i>Pozos de agua</i>	Es un conducto vertical, de forma circular, que tiene una altura necesaria para alcanzar agua subterránea (Ordoñez, 2012).

Fuente: Elaboración propia

1.4.4.2 Aprovechamiento pluvial

La captación y almacenamiento de agua pluvial se presenta como una valiosa estrategia para reducir la dependencia de agua potable; implica la recolección durante eventos de lluvia, seguido del almacenamiento para su uso posterior (Bustamante & Bárcenas, 2014).

Tabla 2. Términos relacionados a la precipitación

Término	Definición
<i>Caudal pluvial</i>	Volumen de agua por tiempo, es decir, es la cantidad de agua que cae durante el período de un evento meteorológico (SIAPA, 2014).
<i>Intensidad de lluvia</i>	Es un índice que establece la relación entre la cantidad de agua que cae en un punto y un determinado periodo (Blanco, 2021).
<i>Estación pluviométrica</i>	La estación está equipada con un pluviómetro que realiza de forma automática el registro de datos sobre la precipitación, incluyendo la duración, cantidad e intensidad de la lluvia, establece patrones climáticos para comprender la variabilidad de la lluvia a lo largo del tiempo (IDEAM, 2019).
<i>Área de aportación</i>	Se entiende como la superficie que entra en contacto directo con la lluvia o cualquier líquido, y que posteriormente drena hacia un punto específico para su conducción (RAS, 2000).
<i>Coefficiente de escorrentía</i>	Es la relación entre la cantidad de escorrentía y la cantidad de agua pluvial, este coeficiente está condicionado por el tipo de suelo en la zona de estudio y por la precipitación (Carrera & Rodríguez, 2017).
<i>Coefficiente de Pearson</i>	Es un parámetro probabilístico que se utiliza en la hidrología y establece el nivel de relación entre dos variables, generando valores que oscilan entre 1 y -1. Antes de aplicar este coeficiente, se verifica que exista una tendencia lineal entre los datos analizados (Lalinde, 2018).

Fuente: Elaboración propia

1.4.3 Provisión de agua

Para establecer la provisión de agua, se consideran parámetros fundamentales como la dotación y la dotación neta.

1.4.3.1 Dotación

Es la cantidad de agua potable en litros necesaria para satisfacer las necesidades diarias de una persona (EMAAP, 2008).

A pesar de que Quito ostenta una de las dotaciones más elevadas por habitante en comparación con otras ciudades latinas, hay la posibilidad de que este recurso no se utilice de manera eficiente y, en su lugar, se malgaste (Alarcón, 2018). Según datos recientes, la demanda promedio de agua por persona en Quito ha disminuido y se sitúa en 176 litros diarios (El Comercio, 2023).

1.4.3.2 Dotación neta

Se refiere al volumen por habitante necesario de agua potable, sin tener en cuenta las pérdidas de energía durante el contacto con el sistema de distribución (EMAAP, 2008).

1.4.4 Calidad del agua

Son condiciones físicas, químicas y biológicas del agua se comparan con los rangos de parámetros normados, cuya interpretación de resultados se realiza según el uso del agua, con el objetivo de garantizar que el tratamiento aplicado sea el adecuado para la utilización del agua (Mejía, 2010).

La calidad del agua depende tanto del entorno natural como de la manipulación humana; generalmente se verifica la calidad con estándares normativos que establecen un consumo digno y saludable para la población (Frías & Montilla, 2016).

1.4.4.1 Parámetros físicos

Los parámetros físicos son aquellos que se pueden percibir a través de los sentidos (Sánchez, 2019). En la Tabla 3 se indican los más representativos.

Tabla 3. Parámetros físicos

Parámetro	Definición
<i>Turbiedad</i>	Se refiere a la opacidad del agua debido a la presencia de sólidos suspendidos, es decir, cuanta mayor cantidad de sólidos en suspensión haya, mayor será la apariencia de suciedad del agua (Equipos y Laboratorio, 2013).
<i>Color aparente</i>	Es la coloración debido a las partículas disueltas y los sólidos suspendidos presentes en el agua, y se determina sin filtrar la muestra (ASSAL, 2008).

Fuente: Elaboración propia

1.4.4.2 Parámetros químicos

Se verifican estos parámetros debido a la contaminación humana e industrial del agua, que puede incluir fertilizantes y metales pesados como arsénico, nitritos, nitratos; estos factores afectan directamente a la salud y deben ser controlados y tratados antes de que el agua sea apta para el consumo (Frías & Montilla, 2016). En la Tabla 4 se encuentran los más característicos (INEN, 2020).

Tabla 4. *Parámetros químicos*

Parámetro	Definición
<i>Cobre</i>	Es un metal pesado, es uno de los elementos necesarios para los seres humanos, pero es crucial controlar las cantidades de ingesta y exposición, ya que niveles fuera de rango pueden ocasionar problemas gastrointestinales y manchas en aparatos sanitarios y ropa (Sancha & Lira, 2002).
<i>Demanda biológica de oxígeno (DBO)</i>	Indica el nivel de contaminación orgánica del agua y representa la cantidad de oxígeno que los microorganismos necesitan para deshacerse de partículas orgánicas (Fabregas, 2023).
<i>Demanda química de oxígeno (DQO)</i>	Es la cantidad de oxígeno mínima para que las partículas orgánicas se oxiden en una determinada cantidad de agua (IDEAM, 2007).
<i>Dureza</i>	Es la concentración de minerales, como magnesio y calcio, en un volumen específico de agua (FACSA, 2017).
<i>Mercurio</i>	Es un metal pesado presente en el agua debido a su ciclo natural, pero en la actualidad, los niveles de mercurio en el agua son significativamente elevados. El consumo de agua con concentraciones altas de mercurio puede ocasionar daños, especialmente en mujeres embarazadas y niños (aconsa, 2021).

Fuente: Elaboración propia

1.4.4.3 **Parámetros biológicos**

Estos parámetros están relacionados con la contaminación fecal de origen humano y animal, siendo una fuente potencial de enfermedades infecciosas causadas por bacterias, virus y parásitos (Frías & Montilla, 2016).

Tabla 5. *Parámetros biológicos*

Parámetro	Definición
<i>Coliformes fecales</i>	Muestra la contaminación fecal debido a la descarga directa del alcantarillado hacia el río sin ningún tratamiento que pueda asegurar la calidad aguas abajo para el consumo humano (Frías & Montilla, 2016).
<i>Coliformes totales</i>	Este tipo de bacterias es un indicador de la calidad del agua, no indica contaminación fecal; más bien, produce gas y ácido por su capacidad de fermentar lactosa (Brito. Lucrecia, 2010).

Fuente: Elaboración propia

1.5 Marco Normativo

El desarrollo de este trabajo de integración curricular se basó en criterios específicos, siguiendo las normativas señaladas en la Tabla 6 como guía.

Tabla 6. Normativas utilizadas

Norma	Detalle
<i>NEC-16-Capítulo 16</i>	Establece los parámetros mínimos esenciales para el diseño de instalaciones hidrosanitarias, asegurando que su funcionamiento sea adecuado tanto en términos de cantidad como de calidad (NEC-15, 2015).
<i>Norma TULSMA-Libro VI Anexo I</i>	Norma técnica ambiental que establece límites permisibles y prohibiciones para la descarga de agua, además de definir criterios de calidad de agua para diversos usos (Ministerio del Ambiente, 2017).
<i>NTE INEN 1108</i>	Establece los parámetros esenciales que el agua potable debe cumplir para garantizar el consumo humano (INEN, 2020).
<i>Normas de Arquitectura y Urbanismo</i>	Define los criterios mínimos para asegurar el diseño arquitectónico y la distribución eficiente de todos los espacios, asegurando así la funcionalidad del edificio (Ordenanza No. 3445 Que Contiene Las Normas de Arquitectura y Urbanismo, 2003).

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, se consideraron algunas dotaciones por persona por día según el Plan Maestro presentado en 2011. Los detalles de este resumen ejecutivo se encuentran en la Tabla 7.

Tabla 7. Plan maestro

Norma	Detalle
<i>Resumen Ejecutivo Plan Maestro de Agua Potable</i>	Proporciona una mayor confiabilidad en cuanto a los datos sobre la demanda de agua para proyectos a corto y largo plazo, tiene un monitoreo y actualización constantes, ya que considera el aprovechamiento del recurso hídrico para el futuro (EPMAPS, 2011).

Fuente: Elaboración propia

2 METODOLOGÍA

La Figura 1 esquematiza las acciones emprendidas para cumplir los objetivos de este TIC.

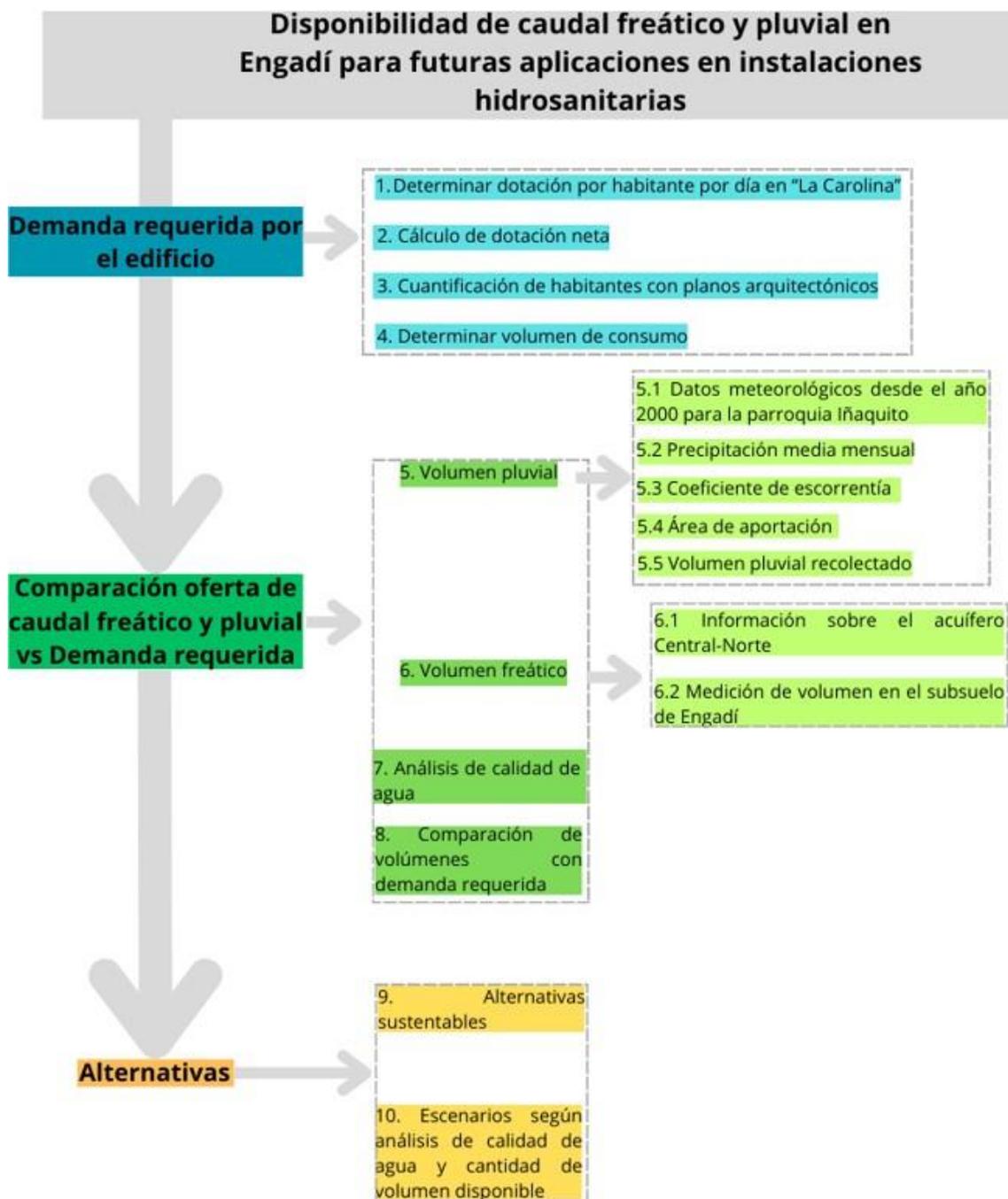


Figura 1. Esquema de marco metodológico

Fuente: Elaboración propia

2.1 Localización del Proyecto

El Edificio Engadí es una obra residencial situada en el Norte de Quito, sector La Carolina. Específicamente, la dirección del inmueble se muestra en la Figura 2.

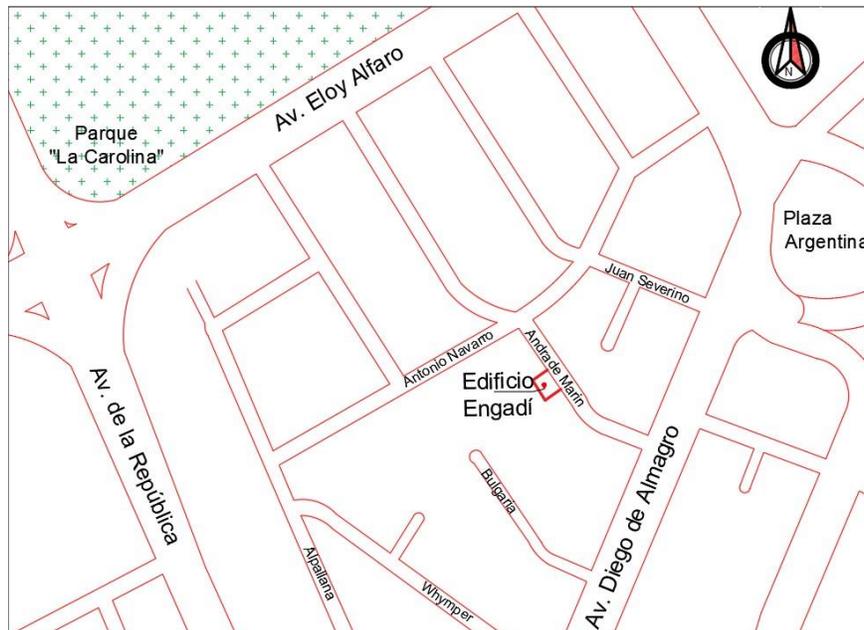


Figura 2. Ubicación del edificio Engadí

Fuente: Elaboración Propia

2.1.1 Clima

El clima de esta zona tiene principalmente dos épocas: la seca, que abarca los meses de junio, julio, agosto y septiembre, y la lluviosa, que incluye octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo, abril y mayo (Aguilar, 2016).

2.1.2 Situación freática de la zona de estudio

Quito tiene una geología particular, en la cual la presencia de sedimentos facilita el almacenamiento de agua mediante el proceso de infiltración (International Atomic Energy Agency, 2009). La ciudad cuenta con dos acuíferos notables, situados en el Centro-Norte y en el Sur; el área de estudio considerada está asentada sobre el acuífero Central-Norte, que se extiende desde El Panecillo hasta la quebrada de Pusuquí (International Atomic Energy Agency, 2009).

Históricamente, se sabe que, en el sector de La Carolina, existió la laguna Añaquito, la cual, con el tiempo, disminuyó gradualmente debido al depósito de sedimentos provenientes de las montañas cercanas, hasta su desaparición superficial (Jiménez, 2017). En la actualidad,

los edificios de la zona reportan grandes cantidades de agua en los subsuelos, lo que plantea preocupación por el posible daño de cimientos e integridad estructural (Instituto Geográfico Militar (Ecuador) et al, 1992).

La Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS) informa que desde 1991 suspendió la extracción de agua de los pozos localizados en el área de estudio (International Atomic Energy Agency, 2009). Como consecuencia a esta decisión, se acumuló una mayor cantidad de agua subterránea, siendo esta una de las razones fundamentales para los niveles altos de agua freática en el sitio (International Atomic Energy Agency, 2009).

Con base en esta información previa, durante la fase de construcción de Engadí se pudo constatar que los niveles freáticos eran elevados tal como indica la Figura 3. Este evento requirió la implementación de bombeo de agua subterránea para facilitar el progreso de la obra. Posteriormente, se instalaron pozos de bombeo para extraer el agua freática proveniente de todos los niveles subterráneos, con el objetivo de salvar la integridad de la infraestructura.



Figura 3. Nivel freático alto en la cimentación de Engadí

Fuente: Residente de Obra de Engadí

En la Figura 4 se señalan las líneas rojas que rodean la tubería de subdrenaje y el círculo indica la conexión que se extiende fuera de la pared. Como se puede ver, la tubería

geosintética está estratégicamente colocada alrededor del muro perimetral de los subsuelos.



Figura 4. Colocación de tuberías de subdrenaje en el subsuelo 4 de Engadí

Fuente: Residente de Obra de Engadí

La Figura 5 muestra como se ve por fuera de la mampostería la conexión de la tubería de subdrenaje con una tubería de PVC que se dirige hacia el suelo. Además, la tubería vertical y horizontal constituye un sistema de recolección de la humedad absorbida por los subsuelos superiores.

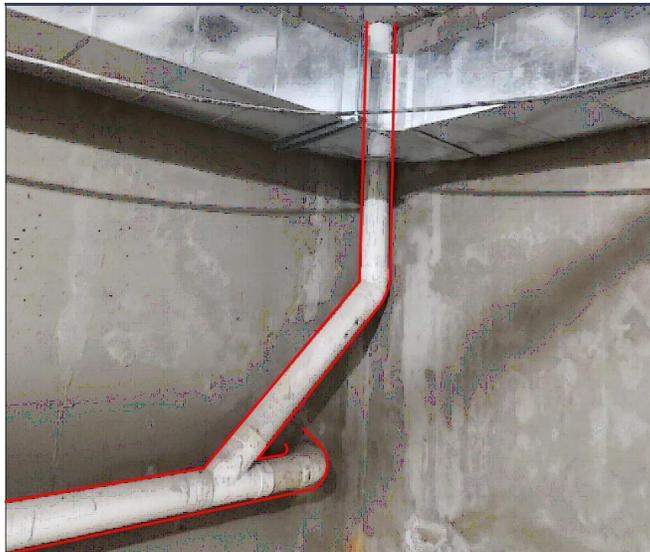


Figura 5. Conexión externa de tubería geosintética

Fuente: Residente de Obra de Engadí

Después de recoger el agua que el muro ha absorbido, se canaliza hacia el pozo más cercano. Es importante indicar que esta disposición (Figura 6) de tuberías se encuentra en

cada esquina del subsuelo 4. Este diseño redirige el agua acumulada de manera controlada hacia los pozos esquineros. Esta configuración garantiza un drenaje efectivo para cada zona del proyecto.



Figura 6. Conexión de tubería externa con pozos

Fuente: Elaboración Propia

2.1.3 Descripción arquitectónica

Engadí es una edificación destinada para vivienda, tiene un área total de 5,003.45 m², con una altura de 63.44 m distribuidos en 16 niveles. La distribución, desde la parte superior hasta la base, tiene un cuarto de máquinas, dos terrazas comunales, a continuación, hay diez pisos de uso residencial. En estos diez niveles, existen tres plantas tipo. Finalmente, en la parte inferior hay cuatro subsuelos con bodegas para almacenamiento y, cisternas que hacen posible el funcionamiento y distribución hídrica para la estructura.

Tal como se indica en el Anexo I, en la parte frontal de la planta baja de Engadí, se encuentran tres locales comerciales. Asimismo, este nivel contiene dos suites y dos departamentos de dos dormitorios. Es el único piso que cuenta con patios posteriores y cuarto de máquinas al aire libre para sus propietarios.

Para comprender la configuración de las plantas tipo se presenta la planta tipo 1 de Engadí que incluye un departamento de tres dormitorios, tres departamentos de dos dormitorios y cuatro suites. Por otra parte, la planta tipo 2 tiene cinco departamentos de dos dormitorios y tres suites. En la Tabla 8 se observa la distribución de las plantas tipo.

Tabla 8. Distribución de las plantas por nivel

Planta tipo	Piso	Nivel	Cantidad	
PB	Planta Baja	$N + 0.10$	1	Guardianía
			3	Locales
			2	Suites
			2	Departamentos-2 dormitorios
Tipo 2	Segundo Piso	$N + 3.52$	3	Suites
	Tercer Piso	$N + 6.94$		
	Cuarto Piso	$N + 10.36$	5	Departamentos-2 dormitorios
	Séptimo Piso	$N + 20.62$		
Tipo 1	Quinto Piso	$N + 13.78$	4	Suites
	Sexto Piso	$N + 17.20$		
	Octavo Piso	$N + 24.04$	3	Departamentos-2 dormitorios
	Noveno Piso	$N + 27.46$		
	Décimo Piso	$N + 30.88$		

Fuente: Elaboración Propia

Igualmente, en la Tabla 9 se detalla la distribución de las terrazas del edificio.

Tabla 9. Distribución de terrazas

Zonas comunales	Piso	Nivel	Detalle
Terraza 1	Onceavo Piso	$N + 34.30$	Juegos para niños
			Salón Comunal
			Área BBQ
			Áreas verdes
Terraza 2	Doceavo Piso	$N + 37.72$	Hidromasaje
			Solárium
			Turco
			Salón de Yoga
			Gimnasio
			Zona de mascotas

Fuente: Elaboración Propia

2.2 Estimación de demanda requerida por Engadí

En este apartado se obtuvo el volumen diario necesario que requiere Engadí para su funcionamiento.

2.2.1 Determinación de dotación por habitante a futuro en Engadí

La dotación de agua por habitante por día se tomó del plan maestro (Tabla 10), se seleccionó el año más cercano para determinar el volumen necesario para cubrir las necesidades de los ocupantes. Es importante señalar que, para otras actividades dentro del edificio, como el riego de áreas verdes, la vigilancia y los locales, se consideró el valor mínimo propuesto por la norma NEC (Tablas 11 y 12).

Tabla 10. Dotación por habitante por día

Sector	Parámetro	2010	2020	2030	2040
Distrito Urbano de Quito DUQ y Parroquias Urbanas	Dotación Neta (lpcpd)	183	179	174	170
	Dotación Bruta (lpcpd)	244	235	223	212
	IANC	25%	24%	22%	20%
	Cobertura	99%	99%	99%	99%
Parroquias Rurales	Dotación Neta (lpcpd)	160	160	160	160
	Dotación Bruta (lpcpd)	308	291	246	213
	IANC	48%	45%	35%	25%
	Cobertura	98%	98%	98%	98%

Fuente: (EPMAPS, 2011)

Tabla 11. Dotaciones para edificaciones de uso específico

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	L/ocupante/día	350 a 800

Fuente:(NEC-15, 2015)

Tabla 12. Dotaciones para edificaciones de uso específico

Tipo de edificación	Unidad	Dotación
adelante		
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

Fuente:(NEC-15, 2015)

Del mismo modo, al calcular la demanda necesaria para el edificio Engadí, se optó por el escenario de población de saturación, en el cual se consideró el artículo 92 de las Normas de Arquitectura y Urbanismo que indica que cada dormitorio tuvo a dos personas, y que la guardianía funcionó en tres turnos a lo largo del día, lo que equivale a tres guardias (Ordenanza No. 3445 Normas de Arquitectura y Urbanismo, 2003). En cuanto a la cantidad de personas en los locales, se estableció que hubo una persona por cada 10 m²(Ordenanza No. 3445 Normas de Arquitectura y Urbanismo, 2003). Es relevante señalar que los jardines, al no tener habitantes, se cuantificó sumando todas las áreas que requieren riego.

Posteriormente, se determinó el caudal necesario en función de la dotación para cada ámbito:

- Para Guardianía, suites, departamentos, locales

$$\text{Caudal } \left(\frac{l}{\text{día}} \right) = \text{Habitantes (hab)} * \text{Dotación neta escogida } \left(\frac{l}{\text{hab}} \right)$$

Ecuación 1. Dotación requerida en función de habitantes

- Áreas comunales

$$\text{Caudal} \left(\frac{l}{\text{día}} \right) = \text{Área (área)} * \text{Dotación neta escogida} \left(\frac{l}{\text{área día}} \right)$$

Ecuación 2. Dotación requerida en función de áreas

Finalmente, se sumaron los caudales obtenidos con las Ecuaciones 1 y 2.

$$\text{Demanda requerida} \left(\frac{l}{\text{día}} \right) = \text{Caudal}_{\text{Habitantes}} \left(\frac{l}{\text{día}} \right) + \text{Caudal}_{\text{Área}} \left(\frac{l}{\text{día}} \right)$$

Ecuación 3. Demanda requerida

2.3 Determinación de la oferta de agua

2.3.1 Caudal pluvial mensual

Para establecer la disponibilidad del caudal pluvial se siguieron los siguientes pasos:

1. Se solicitó a la EPMAPS los datos de precipitación mensual correspondientes a un período de 20 años con el propósito de comprender el comportamiento promedio de las lluvias en la zona de estudio durante las estaciones secas y lluviosas. Para llevar a cabo este análisis, se seleccionó la estación P09-Iñaquito de la EPMAPS como la estación principal para el análisis del Proyecto Engadí, y se utilizó dos estaciones adicionales para completar los datos faltantes. En la Tabla 13 se presentan las estaciones pluviométricas utilizadas en el estudio. Además, en la Figura 7 se indica la ubicación de la estación principal.

Tabla 13. Estaciones pluviométricas utilizadas

Estación pluviométrica								
Código	Nombre	Provincia	Cantón	Parroquia	Latitud	Longitud	Altura	Entidad
					(UTM)	(UTM)	(msnm)	
P09	Iñaquito	Pichincha	Quito	Iñaquito	9980267	779647	2804	EPMAPS
M024	Iñaquito INAMHI							INAMHI
-	Iñaquito							Ministerio de Agricultura y Ganadería.

Fuente: Elaboración Propia

**RED DE MONITOREO
PLUVIOMÉTRICA
EPMAPS - FONAG**

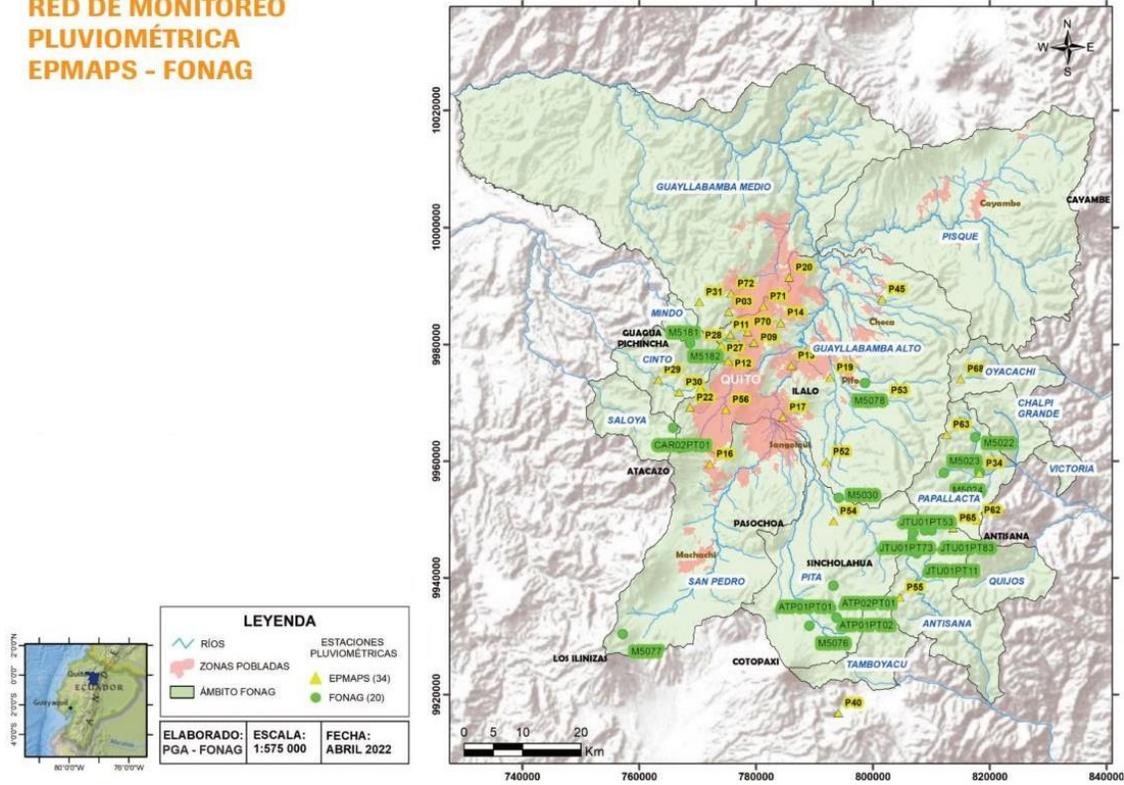


Figura 7. Red de estaciones pluviométricas

Fuente: Anuario meteorológico (EPMAPS-FONAG, 2023)

Para determinar el caudal de escurrimiento superficial directo en Engadí, se optó por el método racional. Tal como muestra la Tabla 14, se escogió el método racional por tener un área menor a 100 ha.

Tabla 14. Escurrimiento Superficial Directo

Escurrimiento Superficial Directo	
Método	Área de cuencas tributarias
<i>Racional</i>	<100 ha
<i>Hidrograma unitario sintético</i>	>100 ha
<i>análisis estadístico</i>	> 25 km ²

Fuente: (Normas IEOS, 1992)

Este método proporciona una aproximación en el cálculo del caudal de lluvia, los factores que involucran este método son en función de la intensidad de la lluvia, área de aportación y la capacidad de infiltración del suelo.

2.3.1.1 Método racional para obtener el volumen de agua lluvia

El método racional se centra en el caudal de lluvia para un momento específico, mientras que el método de (Niño & Castro, 2016) se enfoca en la proporción de agua captada durante un evento de lluvia en un área determinada.

$$V = A * C * P$$

Ecuación 4. Volumen captado por precipitación

En donde los términos de la expresión son:

V: Volumen captado (m³)

A: Área de recolección pluvial superficial (m²)

P: Precipitación (mm/m²/año)

C: Coeficiente de escorrentía

Para resolver la Ecuación 3, se siguió el procedimiento descrito a continuación:

- Cálculo de Coeficiente de Pearson
- Realización del Diagrama de caja y bigote
- Cuantificación de Áreas de aportación
- Selección de Coeficiente de Escorrentía
- Representación de Curva de masas

Los datos dados por la EPMAPS (Tabla 15), no estaban completos por lo que se buscó un método que sirva para poder rellenar estos vacíos. Para abordar esta situación, se utilizaron valores de la estación pluviométrica de la EPMAPS y la estación del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), ambas ubicadas en el mismo sitio geográfico en Pichincha-Quito-Iñaquito.

Esta estrategia de combinar datos de diferentes estaciones ayuda a completar la información faltante, y proporciona una serie temporal más precisa para el análisis de precipitación. Cuando se utilizan múltiples fuentes, se mejoran la confiabilidad de los datos, igualmente se caracteriza mejor la lluvia en la región (Soberón & Acosta, 2008).

Se solicitó información adicional al INAMHI (Tabla 16), y aunque también había datos faltantes en esta estación secundaria, se dio prioridad a los valores proporcionados por la EPMAPS, considerándolos como los principales.

Tabla 15. Datos pluviométricos de la Estación P09

Estación P09 Iñaquito INAMHI												
	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
2001	77	59.6	166.6	55.8	84.2	7.6	30	0.4	78.6		99.1	95.4
2002	29.2	47.2	99.6	194.6	105.2	27.5	6.9	7.9	13.7	101.4	68.7	126.5
2003												
2004			60	122.9		9.3	5			57.2	91.1	78
2005	28.3	108	105.2	61.8	29.8	25	8.8	21.7	27	91.6	44.7	89.2
2006	37.6	80.9	126.1	171.9	95	36.6	2	2.1	25.9	77.4	129.4	136.2
2007	47.8	48.6	125.3	135.7	64.8	18.7	8.2	22.2	2	109.2	134.8	
2008	105.7	143	134.4	129.1	138	38.7	9.9	36.42			78	
2009					31.92						124.08	
2010		39.2	16.9	124.3	123.3	36.4	93.4	54.7	79.3	46.5	145.8	
2011		154.9	136.7		31.9	26.4	39.7	46.9	66.4	48.1	61.1	98.1
2012	141.8	87	161.3	174.5	34.1	5.3	2.6	2.4	11.7	124.6	155.5	55.1
2013	40	159.5	79.5	100.3	103.2	0.1	0.4	14	28.3	54.5		
2014	134.9	34.5	175.8	49.9	229.4	16.7	0.2	2.9	58.5	110.9	59.7	
2015	48.1	84.7	130.2			1.9	35.2	1.5	5	69	80.4	21.7
2016	88	13.5	74.4	228.2	54	28.5	0.4	12.8	57.8	72.5	38.3	67.3
2017	167.2	128.7	280.1	152.1	208.7	9.8	2	41.9	16.7	165	61.3	121.1
2018	117.3	131.7	78.1	132.9	164.2	12.6	27.5	16.4	27.4	4	146.2	5.3
2019	78.6	179.7	191.9	156.5	34.2	16.7	10.8	0	49.9	59.3	120.1	69.7
2020	85.7	46.6			85.4	83.7	54.1	47.7	76	83.8	155.7	143.7
2021	95.8	146.9	337.4	163.2	117.8	104.2	15.7	47.6	73.7	205.9		130.9
2022	161	126.6	140.9	120.7	70.4	74.8	39.8	28.2	22.9	81.1	85.6	54.8

Fuente: (EPMAPS, 2001) Precipitación mensual (mm)

Tabla 16. Datos pluviométricos de la estación M024

Estación M024 Iñaquito INAMHI												
	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
2001	84.1	63.9	186.4	63.1	88.8	8.5	35	0	94.6	9.3	113.6	118.1
2002	36.6	59.1	123.1	256.6	133.1	37.3	8.2	9.8	19.2	144.6	95	152.9
2003	25.4	79.1	100.9	244.6	28.7	54.1	15.7		67.8	117.7	159.4	103.2
2004	56	34.4	75.2	156.3	113.8	11	6.7	0.6	97.6	98.8	125.5	94.8
2005	37.9	150.6	134.3	84.2	37.7	31.8	53.4	26.8	35.6	116	58.4	115.1
2006	52.3	105.2	202.5	209.5	113.6	50.2	3.1	3.5	35.6	109.5	182.4	183
2007	66.2	67.5	177.2	188.1	101	22.2	12.5	33.4	3	160.1	194.7	
2008	156.5	217.9	188.8	203.8	171.3	56.5	12.3	37	58.7	235.3	72.4	121.2
2009	165.8	141.5	173.8	161.3	62.7	35	2.6	1	7.4	69.4	71.3	120
2010	4.6	46	26.5	220.4		34.5	93.6	59.4	87.8	51.8	167.6	181.7
2011	82.4	182.5	145.8	372.9	55.2	28.5	117.2	48.9	73.3	54.8	65.7	107
2012	158.9	125.3	143.8	203.4	40.2	21.4	1.8	2.6	12.5	133.8	177	60.8
2013	43	196.4	83.1	111	115.4	0.3	0.1	18.2	31.8	141.7	48	46.6

Fuente:(INAMHI, 2001) Precipitación mensual (mm)

Coeficiente de Pearson

Para establecer el grado de relación entre dos variables año a año se utilizó la Correlación de Pearson, que fue fundamental para estimar datos faltantes con la información disponible. Se aprovechó la dependencia entre los datos de la estación principal y la estación secundaria (INAMHI) para rellenar los vacíos y crear una serie temporal más completa. Se realizó el siguiente proceso para cada año con el fin de determinar el Coeficiente de Pearson.

1. En la Tabla 17 se indica la disposición de los términos para realizar la comparación entre estaciones. Se colocó el mes, estación P09 IÑAQUITO que toma el nombre de “x”, estación M024 IÑAQUITO es la variable “y”.
2. Se elevó al cuadrado las variables “x” y “y”, se multiplicó las dos variables (x*y).

Tabla 17. Comparación entre estaciones

		año				
Meses		Estación P09 Iñaquito INAMHI	Estación M024 Iñaquito INAMHI			
n		x	y	x ²	y ²	x*y

Fuente: Elaboración Propia

3. Se realizó la sumatoria de todas las columnas.
4. Se calculó la media para ambas variables.

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

Ecuación 5. Media para la variable x

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{n}$$

Ecuación 6. Media para la variable y

Donde n es la cantidad de datos, dado que se trabaja con datos mensuales, n será igual a 12.

5. Se realizó un gráfico para visualizar la dispersión de los datos, en el eje “x” irán los datos de la estación P09 y en el eje “y” irán los valores de la estación M024.
6. Se determinó la desviación tanto para x como para y.

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum x^2}{n} - \bar{x}^2}$$

Ecuación 7. Desviación para la variable x

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum y^2}{n} - \bar{y}^2}$$

Ecuación 8. Desviación para la variable y

7. Posteriormente, se obtuvo la covarianza que es la relación entre ambas variables.

$$\sigma_{xy} = \frac{\sum xy}{n} - \bar{x}\bar{y}$$

Ecuación 9. Covarianza

8. Como se mencionó con anterioridad, la evaluación de Pearson proporciona un indicador de la relación lineal entre las variables, en este caso, entre los datos de las dos estaciones meteorológicas. Un valor mayor a 0.7 indica una evaluación fuerte, lo que respaldaría el uso de la regresión lineal como método para llenar los datos faltantes en la serie principal.

$$\sigma = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}$$

Ecuación 10. Correlación de Pearson

9. Los datos faltantes fueron determinados con la regresión lineal, se buscó la ecuación lineal de la línea de tendencia.

$$x^* = a + by$$

Ecuación 11. Ecuación lineal de la línea de tendencia

Donde y es la variable independiente y x es el nuevo valor que se necesitó para rellenar la serie principal.

10. El valor de b tomó como nombre el coeficiente de regresión y a que depende de b.

$$b = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_y^2}$$

Ecuación 12. Coeficiente de regresión

$$a = \bar{x} - b\bar{y}$$

Ecuación 13. Coeficiente a

11. Se utilizó la Ecuación 11 para completar el dato faltante de la estación principal.

Diagrama de caja y bigote

Para obtener la distribución de la precipitación por mes durante las dos décadas de estudio se realizó el diagrama de caja y bigote. Este análisis es con el fin de tener un rango de error en donde se presentó valores más propicios o desfavorables en términos de precipitación.

Para la elaboración de este diagrama, se organizaron los datos y se calcularon los valores estadísticos necesarios para cada mes. Esto implica determinar los valores mínimos, máximos y cuantiles que fueron utilizados para construir las cajas y los bigotes. A continuación, se presenta la Figura 8 para comprender la metodología de la construcción del esquema.

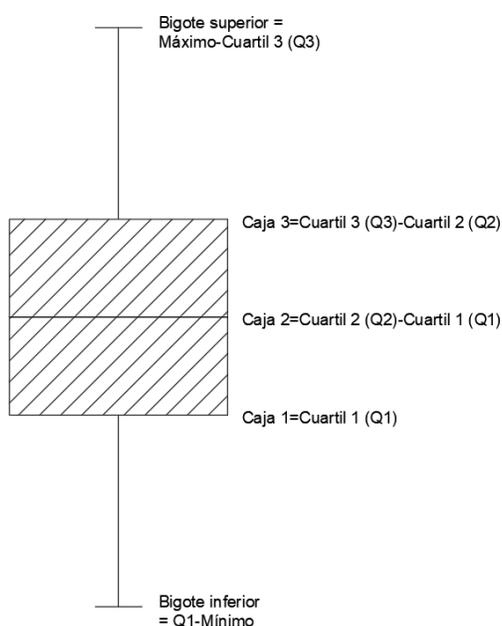


Figura 8. Esquema del Diagrama de cajas y bigotes

Fuente: Elaboración Propia

Para organizar de manera clara los datos obtenidos para cada mes de cada año, se utilizó la Tabla 18.

Tabla 18. Resumen para la elaboración del Diagrama de Cajas y Bigotes

Meses	Valor mínimo	Valor máximo	Cuartil 1 (Q1)	Cuartil 2 (Q2)	Cuartil 3 (Q3)	Mediana	Caja 1	Caja 2	Caja 3	Bigote Superior	Bigote inferior
-------	--------------	--------------	----------------	----------------	----------------	---------	--------	--------	--------	-----------------	-----------------

Fuente: Elaboración Propia

Área de aportación

Para determinar el área de aportación de agua lluvia, se revisó detalladamente los planos para identificar todas las superficies impermeables, como techos, balcones, patios y terrazas, áreas verticales que contribuyen al escurrimiento de agua pluvial. El área de aportación se calcula con la Ecuación 14.

$$A_{aportante} = A_{horizontal} + A_{vertical} \cdot \sin(30^\circ)$$

Ecuación 14. Área aportante (Silva, 2002)

La Tabla 19 muestra los pisos con su respectivo detalle de área, al sumar todas se obtuvo el total de áreas de aportación.

Tabla 19. Área de aportación de agua pluvial en Engadí

Piso	Detalle
<i>Cuarto de Máquinas</i>	Terraza inaccesible
<i>Terraza comunal 2</i>	Terraza inaccesible
<i>Terraza comunal 1</i>	Circulación peatonal exterior
<i>Piso 10</i>	Balcones
<i>Piso 9</i>	Balcones
<i>Piso 8</i>	Balcones
<i>Piso 7</i>	Balcones
<i>Piso 6</i>	Balcones
<i>Piso 5</i>	Balcones
<i>Piso 4</i>	Balcones
<i>Piso 3</i>	Balcones
<i>Piso 2</i>	Balcones
<i>Planta Baja</i>	Patios de servicio
	Plazas de locales
	Rampa vehicular

Fuente: Elaboración Propia

Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía se seleccionó según el tipo de cobertura de suelo. En este contexto, Engadí presenta diversas coberturas de suelo que varían según el nivel considerado, clasificadas en seis categorías principales: balcones, terrazas inaccesibles, áreas de circulación peatonal exterior, patios de servicio, plazas de locales y la rampa vehicular, nótese que la cobertura para algunas de las categorías mencionadas es igual. Los valores de la Tabla 20 se escogieron de acuerdo con la norma IEOS (IEOS, 1992).

Tabla 20. Resumen de Coeficiente de escurrimiento según la cobertura de Engadí

Coeficiente de escurrimiento			
Piso	Detalle	Cobertura	C
<i>Cuarto de Máquinas</i>	Terraza inaccesible	<i>Hormigón</i>	0.9
<i>Terraza comunal 2</i>	Terraza inaccesible	<i>Cubierta metálica</i>	0.95
<i>Terraza comunal 1</i>	Circulación peatonal exterior	<i>Hormigón</i>	0.9
<i>Piso 10</i>	Balcones	<i>Hormigón</i>	0.9
<i>Piso 9</i>	Balcones	<i>Hormigón</i>	0.9
<i>Piso 8</i>	Balcones	<i>Hormigón</i>	0.9
<i>Piso 7</i>	Balcones	<i>Hormigón</i>	0.9
<i>Piso 6</i>	Balcones	<i>Hormigón</i>	0.9
<i>Piso 5</i>	Balcones	<i>Hormigón</i>	0.9
<i>Piso 4</i>	Balcones	<i>Hormigón</i>	0.9
<i>Piso 3</i>	Balcones	<i>Hormigón</i>	0.9
<i>Piso 2</i>	Balcones	<i>Hormigón</i>	0.9
<i>Planta Baja</i>	Patios de servicio	<i>Hormigón</i>	0.9
	Plazas de locales	<i>Aceras calzadas</i>	0.9
	Rampa vehicular	<i>Pavimentos en espacios públicos</i>	0.9

Fuente: Elaboración Propia

Posteriormente, se determinó el coeficiente de escurrimiento ponderado con el fin de homogeneizar los coeficientes elegidos, de esta forma se facilitó la determinación del volumen pluvial por mes. Se aplicó la ecuación 15, planteada por (Chiarito et al, 2018)

$$C_p = \frac{\sum C * A}{A_T}$$

Ecuación 15. Coeficiente de Escurrimiento Ponderado

Para cada mes, se aplicó el método racional indicado en la Ecuación 4. Finalmente, se realizó el diagrama de caja y bigotes que permitió determinar la dispersión del volumen obtenido en cada mes, brindando así información crucial para identificar el valor más crítico y llevar a cabo el diseño correspondiente.

2.3.2 Caudal freático

Para determinar el caudal freático disponible, se midió la cantidad de agua de los pozos en intervalos regulares, y es importante destacar que este proceso se llevó a cabo tanto en períodos lluviosos como en secos. En el subsuelo 4, específicamente, se instalaron cuatro pozos que están distribuidos de manera uniforme tal como indica la Figura 9, ubicándose uno cerca a cada esquina. Estos pozos captan el agua que proviene de las paredes a través de sistemas de drenaje; este sistema permite un control del nivel freático que puede afectar al edificio.

Se señala la ubicación y las dimensiones de cada pozo (Figura 10), tanto para el periodo seco como lluvioso, las mediciones se llevaron a cabo en el pozo 1, ya que al momento de la medición fue el único pozo que se encontraba con flujo y descarga constante. Además, las mediciones se realizaron en el mismo punto para identificar la variabilidad entre las estaciones, permitiendo así la comparación entre la cantidad de caudal.

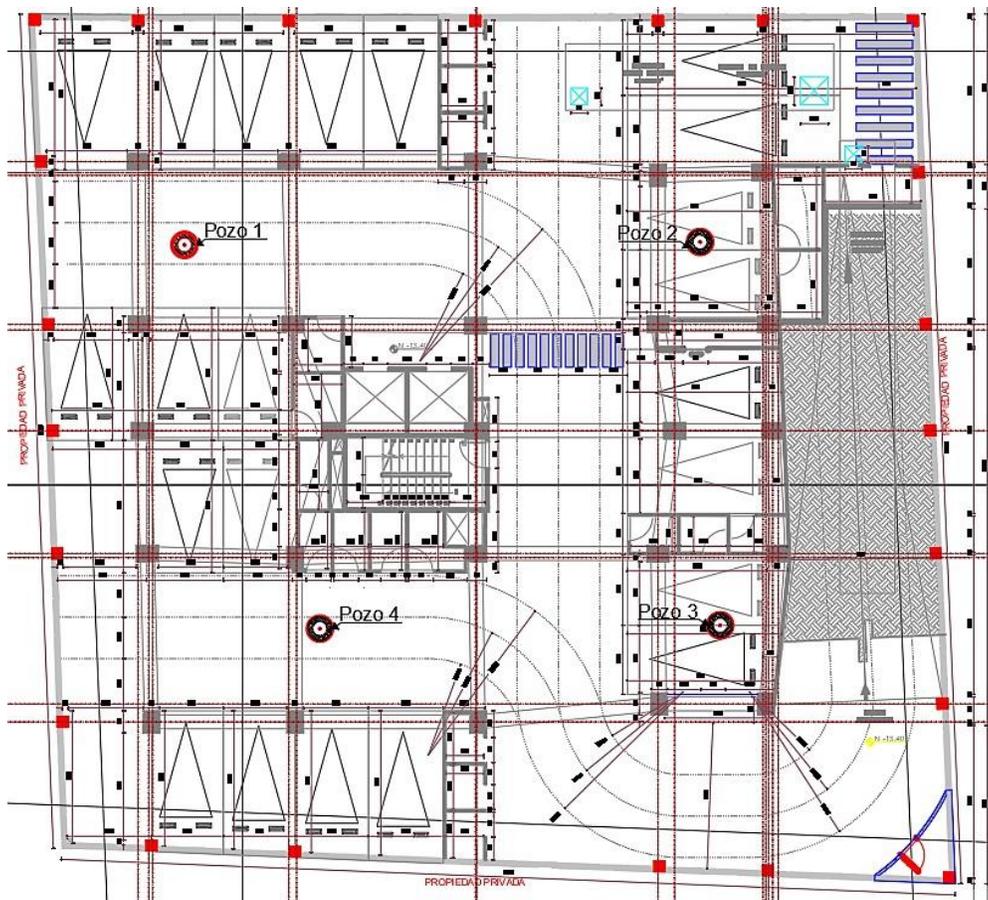
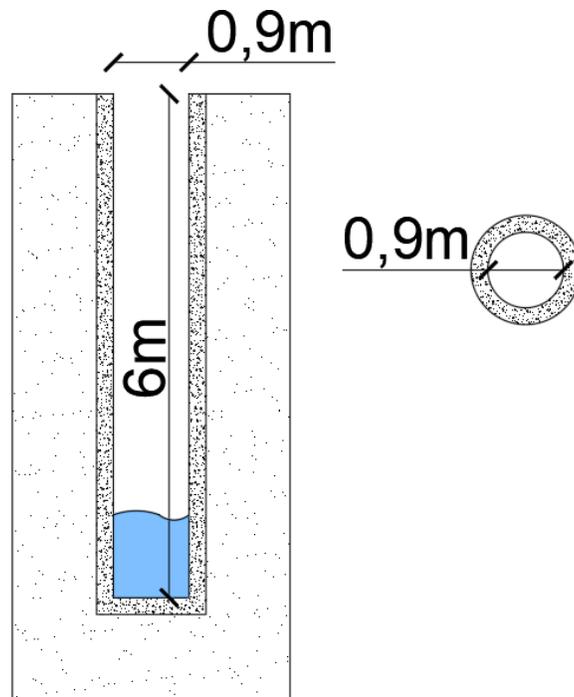


Figura 9. Ubicación de pozos en el subsuelo 4

Fuente: Elaboración Propia



Pozo tipo

Figura 10. Esquema de pozo tipo

Fuente: Elaboración Propia

Para llevar a cabo las mediciones de caudales, se emplearon las siguientes herramientas: piola, aplomada, flexómetro y corrector. Tal como muestra la Figura 11, la piola sostuvo la aplomada, la cual aportó peso para tensar la piola y permitir una medición precisa. Se realizaron marcas con corrector en la piola a intervalos de 50 cm para facilitar la lectura y registro de las mediciones.



Figura 11. Aplomada

Fuente: Elaboración Propia



Figura 12. Sistema de medición

Fuente: Elaboración Propia

Para llevar a cabo la medición se siguió el proceso descrito a continuación:

- Al apagarse la bomba, se sumergió un instante el sistema de medición (Figura 12) en el pozo para registrar el nivel inicial del agua.
- Inmediatamente, la aplomada fue introducida otra vez en el pozo hasta el nuevo encendido de la bomba. Cabe recalcar que se cronometró el ciclo de acción de la bomba.
- Seguidamente, se midió la longitud hasta la cual se mojó la cuerda para conocer la variación del nivel del agua.

Finalmente, se determinó el caudal a través de las Ecuaciones 16,17 y 18 (PASOLAC, 2021).

$$\textit{Altura de llenado} = \textit{Altura final} - \textit{Altura inicial}$$

Ecuación 16. *Altura de llenado*

$$\text{Volumen} = \pi \cdot \frac{\text{Diámetro}^2}{4} * \text{Altura de llenado}$$

Ecuación 17. Volumen

$$\text{Caudal} = \frac{\text{volumen}}{\text{tiempo de llenado del pozo}}$$

Ecuación 18. Caudal de llenado

2.3.2.1 Época seca

Durante la semana del 18 al 22 de septiembre del 2023, se realizaron las mediciones de caudal correspondientes a la temporada seca. Se organizaron los datos tal como muestra las Tablas 21 y 22.

Tabla 21. Tiempo de acción de la bomba y llenado del pozo

Tiempo de acción de la bomba
Tiempo de llenado del pozo
Dimensiones pozo
Diámetro

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22. Registro de muestras en época seca

Registro de muestras
Altura inicio (m)
Altura final (m)
Altura de llenado (m)
Volumen (m ³)
Caudal (m ³ /s)
Caudal (L/s)
Caudal (m ³ /d)
Caudal (L/d)

Fuente: Elaboración Propia

2.3.2.2 Época lluviosa

Durante la semana del 20 al 24 de noviembre del 2023, se realizó el mismo proceso y se utilizó el mismo formato de las Tablas 21 y 22 para su registro.

2.4 Análisis de calidad de agua

Tanto los análisis de calidad de agua pluvial como subterránea se rigen bajo las normas TULSMA.

2.4.1 Agua pluvial

Se solicitó al Centro de Investigación Científica y de Aplicaciones Tecnológicas para el Medio Ambiente (CICAM) de la EPN, los envases para recolectar el agua pluvial. Estos fueron: un galón, dos botellas de cristal y dos botellas pequeñas de plástico, los cuales se retiraron con antelación para usarlos en el sitio de recolección pluvial (Figura 13). Las botellas pequeñas contenían ácido sulfúrico, para preservar los compuestos orgánicos de la muestra por un tiempo prolongado antes del análisis en el laboratorio (IDEAM, 2014).



Figura 13. Envases proporcionados por el CICAM

Fuente: Elaboración propia

Como se indica en la Figura 14, se colocaron dos tinas durante un período de 16 horas, permitiendo que el agua se acumule durante las lluvias vespertinas y nocturnas, más

adelante se recolectó el agua pluvial y se almacenó en los frascos suministrados por el CICAM.



Figura 14. Tinas para recolección de agua pluvial

Fuente: Elaboración propia

La recolección del agua pluvial se llevó a cabo con especial cuidado para no alterar las muestras y aprovechar la cantidad recogida. El procedimiento estándar para los frascos, a excepción del que contiene ácido, implicó en lavar tanto el recipiente como la tapa con el agua que se va a muestrear; a este proceso se le denomina homogeneizar (Montenegro, Comunicación personal ,2023). Posteriormente, se descartó el agua utilizada para el lavado y se recogió la cantidad necesaria para el análisis. En el caso del frasco destinado al análisis de microorganismos, no se llenó completamente, ya que era necesario que exista oxígeno para su sobrevivencia (Montenegro, Comunicación personal ,2023).

En la etapa final, todos los recipientes fueron llenados (Figura 15) y trasladados al CICAM para evaluar la composición y características de las muestras recolectadas.

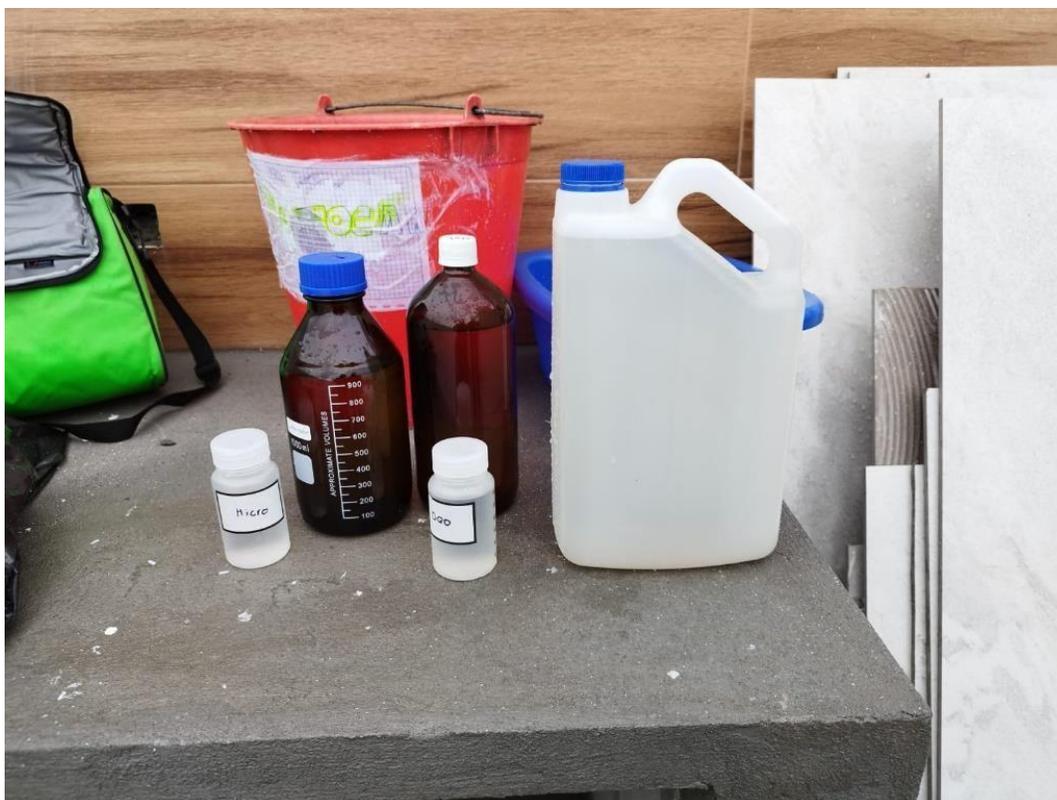


Figura 15. Envases llenos

Fuente: Elaboración propia

El análisis de calidad del agua siguió las normativas TULSMA e INEN 1108, y los parámetros a evaluar se encuentran detallados en la Tabla 23, que establece los "Criterios de Calidad de Fuentes de Agua para Consumo Humano y Doméstico" (Ministerio del Ambiente, 2017), en las Tablas 24 y 25 que dictan respectivamente "Requisitos físicos y químicos del agua para consumo humano" "Requisitos microbiológicos del agua para consumo humano" (INEN, 2020). Estas normativas proporcionaron los criterios y tolerancias necesarias para evaluar la calidad del agua y asegurar que cumplieron con los límites aceptables para consumo humano.

Tabla 23. Criterios de Calidad de Fuentes de Agua para Consumo Humano y Doméstico

PARÁMETRO	EXPRESADO COMO	UNIDAD	CRITERIO DE CALIDAD
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Arsénico	As	mg/l	0,1
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	1000
Bario	Ba	mg/l	1
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro	CN ⁻	mg/l	0,1
Cobre	Cu	mg/l	2
Color	Color real	Unidades de Platino-Cobalto	75
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,05
Fluoruro	F ⁻	mg/l	1,5
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	<4
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	<2
Hierro total	Fe	mg/l	1,0
Mercurio	Hg	mg/l	0,006
Nitratos	NO ₃	mg/l	50,0
Nitritos	NO ₂	mg/l	0,2
Potencial Hidrógeno	pH	unidades de pH	6-9
Plomo	Pb	mg/l	0,01
Selenio	Se	mg/l	0,01
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	500
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	0,2
Turbiedad	unidades nefelométricas de turbiedad	UNT	100,0

Fuente: (Ministerio del Ambiente, 2017)

Tabla 24. Requisitos físicos y químicos del agua para consumo humano

Parámetro	Unidad	Límite permitido ^b	Método de ensayo ^c
Arsénico	mg/L	0,01	Standard Methods 3114
Cadmio	mg/L	0,003	Standard Methods 3113
Cloro libre residual	mg/L	0,3 a 1,5	Standard Methods 4500 Cl ⁻
Cobre	mg/L	2,0	Standard Methods 3111
Color aparente	Pt-Co	15	Standard Methods 2120
Cromo (cromo total)	mg/L	0,05	Standard Methods 3113
Fluoruro	mg/L	1,5	Standard Methods 4500-F ⁻
Mercurio	mg/L	0,006	Standard Methods 3112
Nitratos (como NO ₃ ⁻)	mg/L	50,0	Standard Methods 4500-NO ₃ ⁻
Nitritos (como NO ₂ ⁻)	mg/L	3,0	Standard Methods 4500-NO ₂ ⁻
Plomo	mg/L	0,01	Standard Methods 3113
Turbiedad ^a	NTU	5	Standard Methods 2130

^a Se conoce también como *Turbidez*.

^b Los resultados obtenidos deben expresarse con el mismo número de cifras significativas de los límites permitidos, aplicando las reglas para redondear números indicadas en NTE INEN 52.

^c En el caso de que sean usados métodos de ensayo alternativos a los señalados, estos deben ser normalizados. En el caso de no ser un método normalizado, este debe ser validado.

Fuente: (INEN, 2020)

Tabla 25. Requisitos microbiológicos del agua para consumo humano

Parámetro	Unidad	Límite permitido	Método de ensayo ^a
Coliformes fecales	Número/100 mL	Ausencia	Standard Methods 9221 ^b Standard Methods 9222 ^c
<i>Cryptosporidium</i>	Número de ooquistes/ L	Ausencia	EPA 1623
<i>Giardia</i>	Número de quistes/ L	Ausencia	EPA 1623

^a En el caso de que sean usados métodos de ensayo alternativos a los señalados, estos deben ser normalizados. En el caso de no ser un método normalizado, este debe ser validado.

^b La ausencia corresponde a "< 1,1 NMP/100 mL".

^c La ausencia corresponde a "< 1 UFC/100 mL".

Fuente: (INEN, 2020)

2.4.2 Agua Subterránea

De igual manera, para llevar a cabo la toma de muestras del nivel freático, se solicitó la colaboración de un técnico del CICAM. El pozo seleccionado para el análisis fue el pozo 4, dado que se encontraba con un nivel de agua de fácil acceso, favoreciendo la recolección de las muestras.

El muestreo se realizó en época seca y lluviosa, en las fechas que se indican en la Tabla 26. Para la toma del agua del pozo, se empleó un balde y una cuerda, y se realizó el siguiente proceso (Montenegro, Comunicación personal ,2023).

- Se amarró la cuerda a la agarradera del balde (Figura 16).

- Se introdujo el balde permitiendo que el agua ingrese.
- Posteriormente, se sacó el balde y se esperó unos minutos hasta que las partículas se asienten (Figura 17).
- Finalmente, se realizó una homogeneización de los recipientes para su recolección (Figura 18).



Figura 16. Sistema para recoger agua freática en el pozo 4

Fuente: Elaboración propia



Figura 17. Agua freática en época seca

Fuente: Elaboración propia



Figura 18. Recolección de agua freática en envases

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se entregaron los envases al CICAM (Figura 19) para el procesamiento y análisis conforme a las normas TULSMA e INEN 1108 (Tablas 23, 24 y 25).



Figura 19. Envases llenos entregados en el CICAM

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 26 indica las fechas en las que se realizó la recolección de muestras para el análisis de calidad del agua en las épocas de análisis.

Tabla 26. Fechas de muestreo

Fechas de toma de muestras	
<i>Época seca</i>	<i>Época lluviosa</i>
01-sep-23	01-dic-23

Fuente: Elaboración Propia

2.3.4 Comparación de oferta versus demanda requerida

Se obtuvo el caudal total disponible por mes según la época correspondiente.

$$\text{Caudal total } \left(\frac{m^3}{\text{día}}\right) = \text{Caudal pluvial } \left(\frac{m^3}{\text{día}}\right) + \text{Caudal freático } \left(\frac{m^3}{\text{día}}\right)$$

Ecuación 19. Caudal total disponible

Curva de masas

Se representó en una curva de masas el volumen pluvial-freático y la demanda requerida por los habitantes de Engadí, para identificar cómo se equilibran o desequilibran a lo largo del tiempo (Páez, 2023).

2.5 Alternativas de aprovisionamiento de agua

A continuación, se presentó un grupo de alternativas para el uso del agua disponible del edificio Engadí, en función de la comparación de la oferta con la demanda requerida y los resultados de calidad del agua.

3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del proyecto

3.1.1 Demanda requerida por el edificio Engadí

En la Tabla 27 se indica las dotaciones escogidas según las normativas.

Tabla 27. Demanda requerida de cada servicio

	Dotación neta escogida (l/hab-m²/día)
Guardiania	50
Suites	174
Departamentos	174
Locales	50
Areas comunales	2

Fuente: Elaboración Propia

Para guardianía y áreas comunales se escogió las dotaciones mínimas planteadas por la NEC.

Finalmente, para suites y departamentos si se tomó la dotación neta que sugiere el Plan Maestro (Tabla 10), ya que se espera que para futuros años la disponibilidad del agua disminuya por los cambios climáticos que tiene el planeta.

En la Tabla 28 se resumió los resultados de la población de saturación después de aplicar el procedimiento del apartado 2.2.1.

Tabla 28. Cantidad de habitantes y áreas comunales

Total	
Área (m ²)	Habitantes
343.91	249

Fuente: Elaboración Propia

Se aplicó la Ecuación 1 y 2 para obtener el caudal (l/día), estos cálculos se presentan en la Tabla 29. Finalmente, para la demanda requerida por Engadí se utilizó la Ecuación 3.

Tabla 29. Caudal por habitante por día

	Habitantes	Área (m ²)	Dotación neta escogida (l/hab-m ² /día)	Caudal (l/día)	Volumen total (m ³ /día)
Guardianía	3		50	150	44.74
Suites	68		174	11,83	
Departamentos	178		174	30,97	
Locales	22		50	1,10	
Áreas comunales		343.91	2	688	

Fuente: Elaboración Propia

Se estimó que el volumen de 45 m³ diarios cubren con las necesidades básicas de los habitantes del edificio y sus espacios.

3.1.2 Determinación de la oferta de agua

A continuación, se presenta los resultados obtenidos después de aplicar los procesos apartado 2.3.

3.1.2.1 Caudal pluvial

Coefficiente de Pearson

Se compararon las estaciones P09 IÑAQUITO y M024 IÑAQUITO entre los años 2001-2022, y siguiendo en orden establecido en la Tabla 17. Los resultados se presentan en la Tabla 30:

Tabla 30. Comparación entre estaciones

2001						
	Meses	Estación P09 Iñaquito INAMHI	Estación M024 Iñaquito INAMHI			
n		x	y	x ²	y ²	x*y
1	enero	77.00	84.10	5,929.00	7,072.81	6,475.70
2	febrero	59.60	63.90	3,552.16	4,083.21	3,808.44
3	marzo	166.60	186.40	27,755.56	34,744.96	31,054.24
4	abril	55.80	63.10	3,113.64	3,981.61	3,520.98
5	mayo	84.20	88.80	7,089.64	7,885.44	7,476.96
6	junio	7.60	8.50	57.76	72.25	64.60
7	julio	30.00	35.00	900.00	1,225.00	1,050.00
8	agosto	0.40	0.00	0.16	0.00	0.00
9	septiembre	78.60	94.60	6,177.96	8,949.16	7,435.56
10	octubre		9.30	0.00	86.49	0.00
11	noviembre	99.10	113.60	9,820.81	12,904.96	11,257.76
12	diciembre	95.40	118.10	9,101.16	13,947.61	11,266.74
	Σ total	754.30	865.40	73,497.85	94,953.50	83,410.98

Fuente: Elaboración Propia

Se aplicó la Ecuación 5 y 6 para obtener las medias de ambas variables (Tabla 31).

Tabla 31. Media de variables

media x	62.86
media y	72.12

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura 20, se graficó la dispersión de los datos para medir la relación entre los valores de las dos estaciones analizadas.

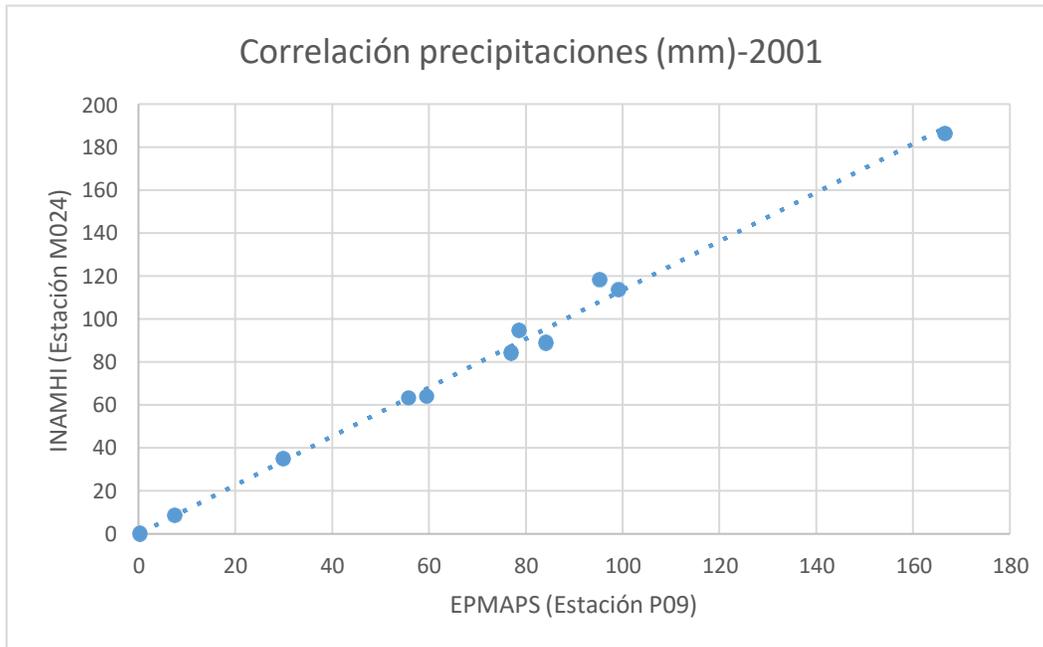


Figura 20. Correlación de precipitaciones- año 2001

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla 32 se indica la desviación para las variables “x”, “y” y la covarianza, siguiendo las Ecuaciones 7,8 y 9.

Tabla 32. Desviación y Covarianza

Desviación	
σ_x	46.62
σ_y	52.08
σ_{xy}	2,417.78

Fuente: Elaboración Propia

Para el año 2001 el coeficiente de Pearson es 0.996. Este coeficiente es cercano a 1, por lo que la relación entre ambas estaciones para este año es óptima.

A partir del Coeficiente de Pearson, se empleó la Ecuación 11, 12 y 13. Los coeficientes de regresión de muestran en la Tabla 33.

Tabla 33. Coeficientes de regresión

b	0.89
a	-1.44

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, se completaron todos los meses de la estación principal P09 Iñaquito.

Tabla 34. Estación principal completa para el 2001

2001			
	Meses	Estación P09 Iñaquito INAMHI	Estación M024 Iñaquito INAMHI
n		x	y
1	enero	77	84.1
2	febrero	59.6	63.9
3	marzo	166.6	186.4
4	abril	55.8	63.1
5	mayo	84.2	88.8
6	junio	7.6	8.5
7	julio	30	35
8	agosto	0.4	0
9	septiembre	78.6	94.6
10	octubre	6.86	9.3
11	noviembre	99.1	113.6
12	diciembre	95.4	118.1

Fuente: Elaboración Propia

Se observa que el valor obtenido por regresión lineal sigue la tendencia de precipitación de la estación secundaria, es decir, una estación puede llenar los datos de obra sin que exista alguna alteración en los resultados de la estación rellenada. Este procedimiento se repitió para los años comprendidos entre 2001-2022, lo que limitó la información únicamente a dos décadas, puesto que es preciso obtener datos de más años para establecer la variabilidad pluvial. El resultado para el resto de los años se encuentra en el Anexo II.

Para los años 2003 y 2009, se optó por utilizar exclusivamente los datos completos proporcionados por el INAMHI, ya que no existen valores suministrados por la EPMAPS.

Para el año 2004, no existió registro en ninguna de las estaciones analizadas.

Para el año 2011, se observó una correlación muy baja entre las estaciones. Puede afectar negativamente la regresión lineal de los datos en el caso de que exista un valor cercano a cero en la relación (Hernández, 2018). Por tanto, se tomó los datos de la serie completa.

A partir del año 2013, ya no había datos compartidos por la estación del INAMHI, se buscó otra relación cercana. En este punto, se utilizó los datos encontrados en los anuarios meteorológicos del Boletín de Precipitación y Temperatura del Ministerio de Agricultura y Ganadería a partir del año 2015 puesto que no existe información para el año 2014.

Los valores proporcionados por la EPMAPS, para los años 2016, 2017, 2018, 2019 y 2022, contienen todos sus datos, lo que permitió mantener la integridad y la fiabilidad de la serie temporal sin necesidad de recurrir a estaciones secundarias.

Si el coeficiente de Pearson es negativo, como el año 2020, quiere decir que tiene una relación inversa (Hernández, 2018). Por tanto, se tomó la decisión de dejar la serie tal como está, aun si hay valores faltantes.

Tal como se indica en la Tabla 35, se observa que los datos tienen cambios notables entre años, con una tendencia a aumentar, debido al cambio climático, se producirán mayores precipitaciones y evaporaciones por el CO₂ retenido en la atmósfera (Broecker, 2010). A pesar de la marcada tendencia, existirán años que serán secos (Broecker, 2010).

Los espacios vacíos de la Tabla 35 indican que ninguna de las estaciones escogidas pudo llenar los datos faltantes.

Tabla 35. Estación principal completa

	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
2001	77	59.6	166.6	55.8	84.2	7.6	30	0.4	78.6	6.86	99.1	95.4
2002	29.2	47.2	99.6	194.6	105.2	27.5	6.9	7.9	13.7	101.4	68.7	126.5
2003	25.4	79.1	100.9	244.6	28.7	54.1	15.7		67.8	117.7	159.4	103.2
2004			60	122.9		9.3	5			57.2	91.1	78
2005	28.3	108	105.2	61.8	29.8	25	8.8	21.7	27	91.6	44.7	89.2
2006	37.6	80.9	126.1	171.9	95	36.6	2	2.1	25.9	77.4	129.4	136.2
2007	47.8	48.6	125.3	135.7	64.8	18.7	8.2	22.2	2	109.2	134.8	
2008	105.7	143	134.4	129.1	138	38.7	9.9	36.42			78	
2009	165.8	141.5	173.8	161.3	62.7	35	2.6	1	7.4	69.4	71.3	120
2010	43.24	39.2	16.9	124.3	123.3	36.4	93.4	54.7	79.3	46.5	145.8	89.68
2011	82.4	182.5	145.8	372.9	55.2	28.5	117.2	48.9	73.3	54.8	65.7	107
2012	141.8	87	161.3	174.5	34.1	5.3	2.6	2.4	11.7	124.6	155.5	55.1
2013	40	159.5	79.5	100.3	103.2	0.1	0.4	14	28.3	54.5	31.72	30.65
2014	134.9	34.5	175.8	49.9	229.4	16.7	0.2	2.9	58.5	110.9	59.7	
2015	48.1	84.7	130.2	65.3	17.82	1.9	35.2	1.5	5	69	80.4	21.7
2016	88	13.5	74.4	228.2	54	28.5	0.4	12.8	57.8	72.5	38.3	67.3
2017	167.2	128.7	280.1	152.1	208.7	9.8	2	41.9	16.7	165	61.3	121.1
2018	117.3	131.7	78.1	132.9	164.2	12.6	27.5	16.4	27.4	4	146.2	5.3
2019	78.6	179.7	191.9	156.5	34.2	16.7	10.8	0	49.9	59.3	120.1	69.7
2020	85.7	46.6			85.4	83.7	54.1	47.7	76	83.8	155.7	143.7
2021	95.8	146.9	337.4	163.2	117.8	104.2	15.7	47.6	73.7	205.9	116.9	130.9
2022	161	126.6	140.9	120.7	70.4	74.8	39.8	28.2	22.9	81.1	85.6	54.8

Fuente: Elaboración propia

Diagrama de Caja y Bigote

Con la Tabla 36 se dibujó el diagrama de Caja y Bigote para el volumen pluvial

Tabla 36. Valores del diagrama de Caja y Bigote

Meses	Valor mínimo	Valor máximo	Cuartil 1 (Q1)	Cuartil 2 (Q2)	Cuartil 3 (Q3)	Mediana	Caja 1	Caja 2	Caja 3	Bigote Superior	Bigote inferior
enero	0	208.05	50.78	100.17	142.35	101.85	50.78	49.39	42.18	65.70	50.78
febrero	0	227.08	59.17	106.82	173.02	117.02	59.17	47.66	66.20	54.06	59.17
marzo	0	419.82	105.17	159.46	205.65	164.26	105.17	54.28	46.19	214.17	105.17
abril	0	464.00	131.15	167.11	211.19	176.38	131.15	35.96	44.08	252.81	131.15
mayo	0	285.44	48.71	96.18	142.66	107.81	48.71	47.47	46.47	142.78	48.71
junio	0.12	129.65	13.07	32.66	45.48	37.99	13.07	19.60	12.82	84.18	12.94
julio	0.25	145.83	3.24	11.63	36.55	27.62	3.24	8.40	24.92	109.28	2.99
agosto	0	68.06	2.05	16.67	42.76	23.23	2.05	14.62	26.09	25.30	2.05
septiembre	0	98.67	15.18	33.84	81.47	45.41	15.18	18.66	47.63	17.20	15.18
octubre	0	256.20	68.93	93.26	133.45	99.69	68.93	24.33	40.19	122.75	68.93
noviembre	39.47	198.34	82.68	109.93	166.05	121.00	82.68	27.25	56.12	32.29	43.21
diciembre	0	178.80	45.65	104.02	145.27	93.06	45.65	58.37	41.25	33.53	45.65

Fuente: Elaboración Propia

La Figura 21 muestra la variabilidad de datos pluviales por mes, en donde los más secos (críticos) para el sector son en junio, julio, agosto y septiembre, también se observa que el mes que aporta con más agua pluvial es abril. Esta variabilidad es importante para establecer un promedio mensual aproximado que la zona de estudio tendrá. (Villacís, 2017)

De igual manera, indica que en los años de análisis se presentan picos de precipitación en todos los meses, para el caso de estudio se tomó los valores promedios de cada mes como la oferta pluvial en el sector.

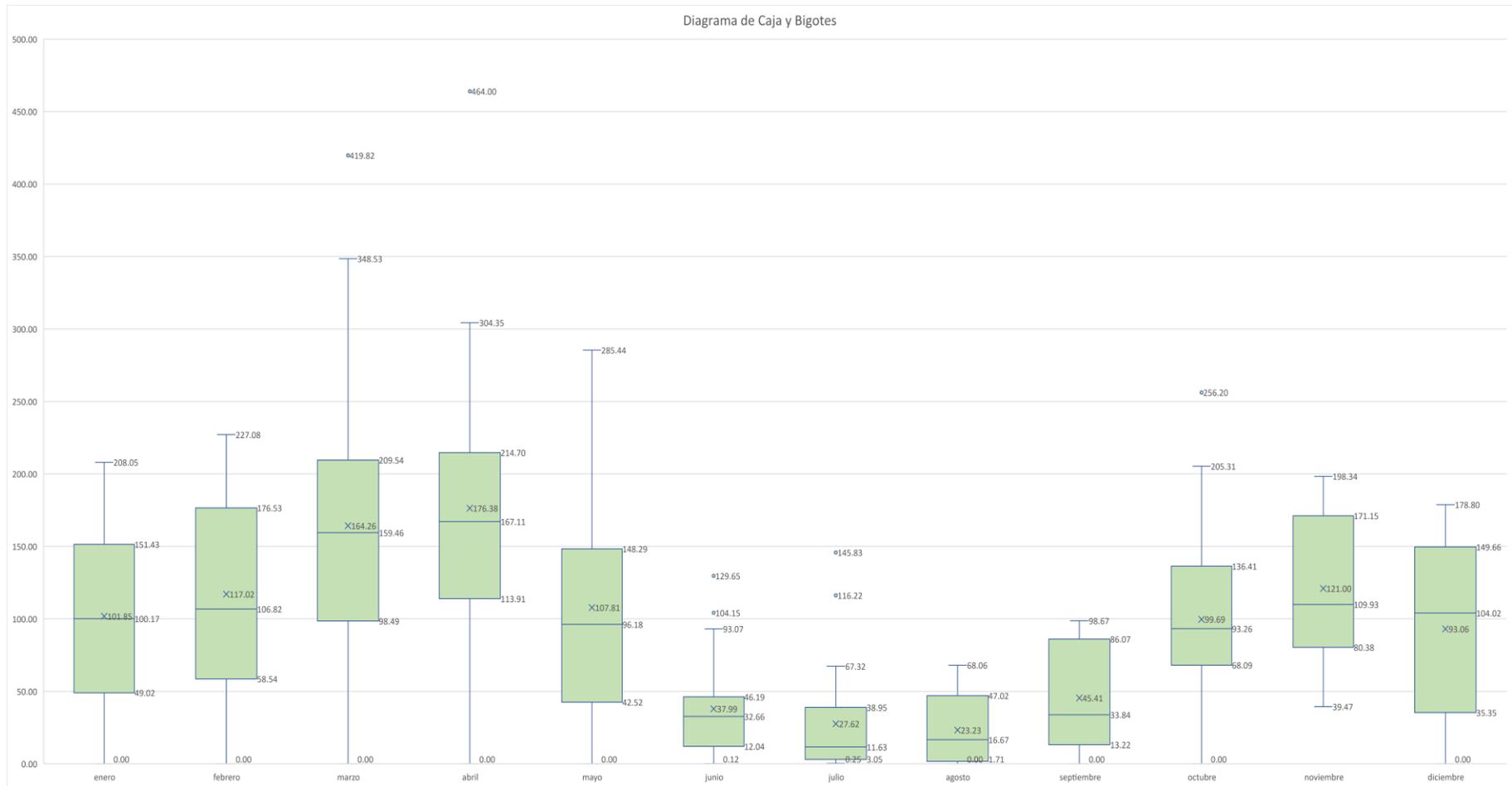


Figura 21. Diagrama de Caja y Bigotes de precipitación

Fuente: Elaboración propia

El área de aportación pluvial se detalla en la Tabla 37, después de seguir con la Ecuación 14.

Tabla 37. Área de aportación para agua pluvial

Área de aportación- Agua pluvial		
Piso	Detalle	Área(m²)
<i>Cuarto de Máquinas</i>	Terraza inaccesible	213.91
<i>Terraza comunal 2</i>	Terraza inaccesible	112.94
<i>Terraza comunal 1</i>	Circulación peatonal exterior	230.24
<i>Piso 10</i>	Balcones	42.57
<i>Piso 9</i>	Balcones	42.57
<i>Piso 8</i>	Balcones	42.57
<i>Piso 7</i>	Balcones	43.62
<i>Piso 6</i>	Balcones	42.57
<i>Piso 5</i>	Balcones	42.57
<i>Piso 4</i>	Balcones	43.62
<i>Piso 3</i>	Balcones	43.62
<i>Piso 2</i>	Balcones	112.82
<i>Planta Baja</i>	Patios de servicio	101.86
	Plazas de locales	160.91
	Rampa vehicular	99.89
Total		1,376.27

Fuente: Elaboración Propia

Como se indica en la Tabla 37, la parte residencial únicamente aportará con balcones, el lugar en el que se recoge más agua es en las terrazas, puesto que existen zonas mucho más expuestas que los pisos inferiores.

Coefficiente de Escorrentía Ponderado

En la Tabla 38, se encuentran los cálculos realizados con la Ecuación 15 para obtener la ponderación de los coeficientes de escorrentía.

Tabla 38. Coeficiente de escorrentía ponderado

Coeficiente de escorrentía ponderado				
Piso	Detalle	Área(m²)	C	A*C (m²)
<i>Cuarto de Máquinas</i>	Terraza inaccesible	213.91	0.9	192.52
<i>Terraza comunal 2</i>	Terraza inaccesible	112.94	0.95	107.30
<i>Terraza comunal 1</i>	Circulación peatonal exterior	230.24	0.9	207.21
<i>Piso 10</i>	Balcones	42.57	0.9	38.31
<i>Piso 9</i>	Balcones	42.57	0.9	38.31
<i>Piso 8</i>	Balcones	42.57	0.9	38.31
<i>Piso 7</i>	Balcones	43.62	0.9	39.26
<i>Piso 6</i>	Balcones	42.57	0.9	38.31
<i>Piso 5</i>	Balcones	42.57	0.9	38.31
<i>Piso 4</i>	Balcones	43.62	0.9	39.26
<i>Piso 3</i>	Balcones	43.62	0.9	39.26
<i>Piso 2</i>	Balcones	112.82	0.9	101.54
<i>Planta Baja</i>	Patios de servicio	101.86	0.9	91.68
	Plazas de locales	160.91	0.9	144.82
	Rampa vehicular	99.89	0.9	89.91
Total		1,376.27		1,244.29

Fuente: Elaboración Propia

La Tabla 39 muestra un coeficiente de escorrentía ponderado de 0.90.

Tabla 39. Coeficiente de escorrentía ponderado

Área por Coeficiente de Escorrentía (m²) (A)	1,244.29
Área total (m²) (A_T)	1,376.27
Coeficiente de Escorrentía ponderado	0.90

Fuente: Elaboración Propia

Este valor indicó que la superficie expuesta a la lluvia es casi impermeable, es decir, el 90% de agua pluvial será redirigida hacia los conductos más cercanos (Rubio, 2021).

Como ejemplo de cálculo se muestra la variación del caudal mensual de enero de los 21 años analizados, después de aplicar la Ecuación 4.

Tabla 40. Aplicación del método racional para enero

	enero				
	Precipitación (mm)	Precipitación (m)	Área (m²)	Coefficiente C	Volumen (m³)
2001	77	0.08	1376.27	0.90	95.81
2002	29.2	0.03	1376.27	0.90	36.33
2003	25.4	0.03	1376.27	0.90	31.60
2004			1376.27	0.90	0.00
2005	28.3	0.03	1376.27	0.90	35.21
2006	37.6	0.04	1376.27	0.90	46.79
2007	47.8	0.05	1376.27	0.90	59.48
2008	105.7	0.11	1376.27	0.90	131.52
2009	165.8	0.17	1376.27	0.90	206.30
2010	43.24	0.04	1376.27	0.90	53.80
2011	82.4	0.08	1376.27	0.90	102.53
2012	141.8	0.14	1376.27	0.90	176.44
2013	40	0.04	1376.27	0.90	49.77
2014	134.9	0.13	1376.27	0.90	167.85
2015	48.1	0.05	1376.27	0.90	59.85
2016	88	0.09	1376.27	0.90	109.50
2017	167.2	0.17	1376.27	0.90	208.05
2018	117.3	0.12	1376.27	0.90	145.96
2019	78.6	0.08	1376.27	0.90	97.80
2020	85.7	0.09	1376.27	0.90	106.64
2021	95.8	0.10	1376.27	0.90	119.20
2022	161	0.16	1376.27	0.90	200.33

Fuente: Elaboración Propia

El cálculo del resto de meses se encuentra en el Anexo III.

En la Tabla 41, se muestra el volumen pluvial mensual para todos los meses, en donde se observa que, en meses como junio, julio, agosto y septiembre, tienen valores bajos que corresponden a la época seca del sector.

Tabla 41. Volumen pluvial mensual promedio

Volumen pluvial mensual					
Mes	Precipitación (mm)	Precipitación (m)	Área (m ²)	Coficiente	Volumen (m ³)
enero	82.65	0.08	1,376.27	0.90	102.83
febrero	94.35	0.09	1,376.27	0.90	117.40
marzo	135.45	0.14	1,376.27	0.90	168.54
abril	151.24	0.15	1,376.27	0.90	188.19
mayo	89.99	0.09	1,376.27	0.90	111.98
junio	30.44	0.03	1,376.27	0.90	37.87
julio	18.68	0.02	1,376.27	0.90	23.24
agosto	19.49	0.02	1,376.27	0.90	24.25
septiembre	43.29	0.04	1,376.27	0.90	53.86
octubre	90.62	0.09	1,376.27	0.90	112.76
noviembre	100.45	0.10	1,376.27	0.90	124.99
diciembre	89.95	0.09	1,376.27	0.90	111.92

Fuente: Elaboración Propia

Este volumen corresponde a los meses de todos los años de estudio, en donde los valores representativos son los promedios.

3.1.2.2 Caudal freático

Se aplicó el procedimiento detallado en el apartado 2.3.2, tanto para época seca como lluviosa. En la Tabla 42 se muestran los datos recogidos en la semana correspondiente a época seca.

Tabla 42. Datos tomados in situ-época seca

Registro de muestras (Semana del 18 al 22 de septiembre de 2023)					
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
Altura inicio (m)	0.75	0.82	0.78	0.82	0.80
Altura final (m)	1.00	1.00	1.01	1.03	1.06
Altura de llenado (m)	0.25	0.18	0.23	0.21	0.26
Volumen (m ³)	0.16	0.11	0.15	0.13	0.17
Caudal (m ³ /d)	91.61	65.96	84.28	76.95	95.27

Fuente: Elaboración Propia

El promedio para el caudal freático en época seca es de 82.81 m³/d.

En la Tabla 43, se presentan los datos respectivos a la semana lluviosa.

Tabla 43. Datos tomados in situ-época lluviosa

Registro de muestras (Semana del 20 al 24 de noviembre de 2023)					
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
Altura inicio (m)	0.80	0.76	0.76	0.82	0.78
Altura final (m)	0.90	0.91	0.84	0.98	0.92
Altura de llenado (m)	0.10	0.15	0.08	0.16	0.14
Volumen (m³)	0.06	0.10	0.05	0.10	0.09
Caudal (m³/d)	130.87	196.30	104.70	202.85	183.22

Fuente: Elaboración Propia

El promedio para el caudal freático en época seca es de 163.59 m³ /d. La Tabla 44, indica los tiempos relacionados a la bomba, tanto para época seca como para época lluviosa.

Tabla 44. Toma de muestras

Toma de muestras				
	época seca	época lluviosa		
<i>Tiempo de acción de la bomba</i>	40	s	15	s
<i>Tiempo de llenado del pozo</i>	150	s	42	s
Dimensiones pozo				
<i>Díámetro</i>	0.9	m		

Fuente: Elaboración Propia

Se observa en la Tabla 44, que el tiempo de acción de la bomba es constante en intervalos largos de 40 s, es decir, que el agua que bombea en época seca no requiere de una descarga rápida, sino de una paulatina. En comparación con la época seca, el tiempo de acción de la bomba en época lluviosa tal como se indica en la Tabla 44, es mucho menor, ya que la descarga que debe ser mucho más rápida para evitar desborde de agua freática en los pozos.

Si el tiempo de acción de la bomba disminuye, el caudal que bombea es mayor, por tanto, los valores tomados in situ corresponde al aumento de cantidad de agua en dicha temporada.

3.1.2.3 Análisis de calidad de agua

Los resultados de análisis de calidad de agua para ambas épocas fueron enviados por el CICAM y se detallan en la Tabla 45. En el Anexo IV, se muestran los resultados de los análisis enviados al CICAM.

Tabla 45. Resultados del laboratorio CICAM

Parámetros	Unidad	Resultados CICAM			Límites permitidos	Justificación
		Agua freática- época seca	Agua freática- época lluviosa	Agua pluvial		
Alcalinidad Total	mg/L	219	181	35	<200	(Jiménez, 2001)
Arsénico	mg/L	<0.005	<0.005	<0.005	0.1	(Ministerio del Ambiente, 2017)
Cobre	mg/L	<0.1	<0.1	<0.1	2	(Ministerio del Ambiente, 2017)
Coliformes fecales	NMP/100 ml	<1.1	1.1	1.1	1000	(Ministerio del Ambiente, 2017)
Coliformes totales	NMP/100 ml	<1.1	23	1.1	1	(Normas IEOS, 1992)
Color aparente	u-P1-Co	491	117	128	15	(Agua Potable Requisitos, 2014)
Cromo hexavalente	mg/L	<0.05	<0.05	<0.05	0.05	(Ministerio del Ambiente, 2017)
Demanda bioquímica de oxígeno DBO	mg/L	14.7	<2	<2	<2	(Ministerio del Ambiente, 2017)
Demanda química de oxígeno DQO	mg/L	562	<10	34	<4	(Ministerio del Ambiente, 2017)
Dureza Total	mg/L	188	181	357	500	(Normas IEOS, 1992)
Fluoruros	mg/L	0.3	0.36	<0.25	1.5	(Ministerio del Ambiente, 2017)
Hierro total	mg/L	3.61	0.21	<0.1	1	(Ministerio del Ambiente, 2017)
Manganeso	mg/L	1.71	1	<0.1	0.5	(OMS, 2008)
Mercurio	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001	0.006	(Ministerio del Ambiente, 2017)
Nitratos	mg/L	<5	<5	<5	50	(Ministerio del Ambiente, 2017)
Nitritos	mg/L	<0.1	<0.1	0.15	0.2	(Ministerio del Ambiente, 2017)
Ph	Unidades de pH	6.9	7	7.6	6-9	(Ministerio del Ambiente, 2017)
Sulfatos	mg/L	45	46	28	500	(Ministerio del Ambiente, 2017)
TPH	mg/L	<0.1	<0.1	<0.1	0.2	(Ministerio del Ambiente, 2017)
Turbiedad	NTU	92.1	17.5	25.1	100	(Ministerio del Ambiente, 2017)
	Los valores marcados en amarillo corresponden a los datos que están fuera de la normativa establecida					

Fuente: Elaboración Propia

Muestra pluvial

Se observa en la Tabla 45 los parámetros de la muestra pluvial que cumplen con los límites permitidos son Alcalinidad total, Arsénico, Cobre, Coliformes fecales, Coliformes

Totales, Cromo Hexavalente, DBO, Dureza total, Fluoruros, Manganeso, Mercurio, Nitratos, Nitritos, PH, Sulfatos, TPH, Turbiedad.

Sin embargo, los factores color aparente y DQO, se encuentran fuera de lo establecido. Para el caso de color aparente, indica presencia de partículas suspendidas y turbiedad, debido a que el agua lluvia en su precipitación recoge las partículas contaminadas del ambiente (Fierro, Comunicación Personal,2024).

El nitrito a pesar de que no estar fuera del rango, tiene un valor alto (0.15), lo que rectifica la presencia de materia orgánica y oxidación de partículas demostrado por el DQO, puesto que existe descomposición de materia orgánica (Bolaños, 2017).

Resultados en época seca

En época seca la muestra tenía mayor concentración de los parámetros que en otras estaciones, por tanto, la información que arrojan los análisis de calidad del agua es crucial para plantear el tipo de tratamiento que la oferta requerirá.

Para esta época, tal como indica la Tabla 45, los parámetros que cumplen con la normativa fueron Arsénico, Cobre, Coliformes totales y fecales, Cromo hexavalente, Dureza total, Fluoruros, Mercurio, Nitratos, Nitritos, Ph, Sulfatos, TPH, Turbiedad.

Por otra parte, se detallan los factores que no cumplían con los requisitos establecidos por la normativa.

La alcalinidad está fuera del límite permitido, lo que indica que existen componentes como carbonatos o bicarbonatos, esto provoca turbiedad en el agua, aumento de Ph e irritación en garganta al consumirse (Procel, 2017).

El color aparente también se encuentra fuera de rango, tal como se observa en la Figura 17, el agua tiene coloración marrón, con partículas suspendidas, por lo que además afectará a los resultados de turbiedad (HANNA, 2019).

Así mismo, el DBO y DQO están fuera de los límites establecidos, lo que expone la existencia de filtración de materia orgánica (Fierro, Comunicación Personal ,2024). Alguna tubería sanitaria cercana podría estar contaminando el agua freática; la presencia alta de estos compuestos puede afectar a la calidad para consumo humano.

La presencia de hierro y manganeso se debe a procesos naturales del suelo, o contaminación por minería, estos elementos no afectan a la salud, simplemente puede causar un mal sabor para consumidores y también producir obstrucciones en la tubería (incrustaciones) que afectarían su operación (Calderón, 2014).

A pesar de que la dureza no está fuera de los límites, tiene un valor alto, lo que revela la existencia de calcio, sulfatos, hierro y manganeso; lo cual puede generar incrustaciones y oxidación en la tubería (Calderón, 2014).

Muestra freática-época lluviosa

Para esta época, se observa en la Tabla 45 que los factores que cumplieron con la normativa fueron: Alcalinidad Total, Arsénico, Cobre, Coliformes totales, Cromo hexavalente, Demanda bioquímica de oxígeno DQO, Dureza Total, Fluoruros, Hierro Total, Mercurio, Nitratos, Nitritos, PH, Sulfatos, TPH, Turbiedad; los parámetros fuera de rango son menores que en época seca debido a que dichos indicadores se encontraban diluidos por el aumento del nivel freático (Tezanos, 2008).

El Color aparente, DQO y Manganeso se encuentran fuera de los límites permitidos por la norma, por las mismas razones que se especificaron en época seca. Sin embargo, el valor de coliformes totales es mayor que en época seca, por una posible filtración de materia orgánica (HANNA, 2019).

Tratamientos

Los tratamientos recomendados para los parámetros fuera de rango se detallan en la Figura 22, en donde los procesos realizador son: filtración, aireación, desinfección.

La Planta Potabilizadora Compacta es un sistema de potabilización que se emplea en Colombia para lugares con difícil acceso de agua potable (PUREWATER, 2021).

Tal como se indica en la Figura 22, todos los procesos que la Planta Potabilizadora Compacta trata los parámetros fuera de rango de la norma para abastecer con normalidad al edificio. Además de garantizar que, después del procedimiento de potabilización, el agua cumple con todos los requisitos normativos para su consumo.

Por tanto, hay una gran factibilidad para colocar esta planta en Engadí para el consumo y distribución de agua potable. El precio de la potabilizadora compacta es de \$3800, esta información se puede verificar con la cotización que se encuentra en el Anexo V.



Figura 22. Proceso de tratamiento sugerido

Fuente: (PUREWATER, 2021)

3.1.3 Comparación de oferta versus demanda requerida

Para la siguiente tabla se siguió el proceso indicado en la sección 2.3.4, y aplicando la Ecuación 18 se obtuvo el Caudal total disponible.

Curva de masas

Se realizó el gráfico que permite comparar la oferta con la demanda durante todo el año. En el eje “y” se encuentra el caudal promedio diario de cada mes, y en el eje “x” están los meses.

La Figura 23 muestra la variación de caudal pluvial promedio durante un año, en donde los picos más altos son en abril (es un mes que se caracteriza por la precipitación constante), y diciembre que corresponde a invierno para Ecuador.

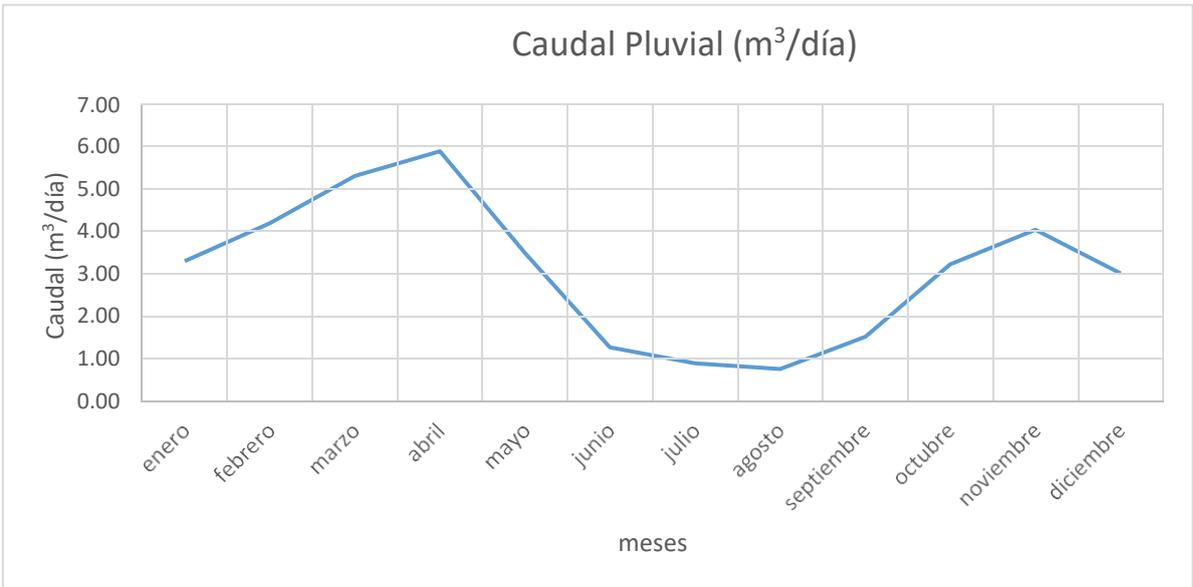


Figura 23. Caudal pluvial disponible

Fuente: Elaboración Propia

Por otra parte, en la Figura 24 se observa el caudal freático disponible, con un decaimiento en la época seca, aun así, el caudal ofertado en esta temporada es suficiente para abastecer por sí solo la demanda de Engadí.

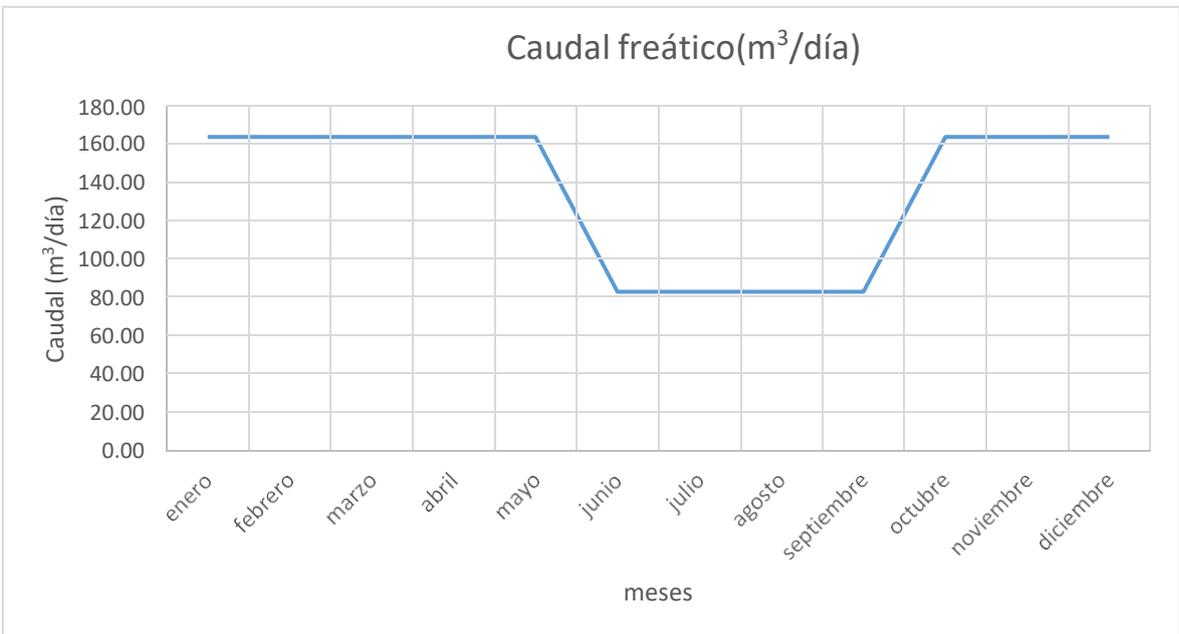


Figura 24. Caudal freático disponible

Fuente: Elaboración propia

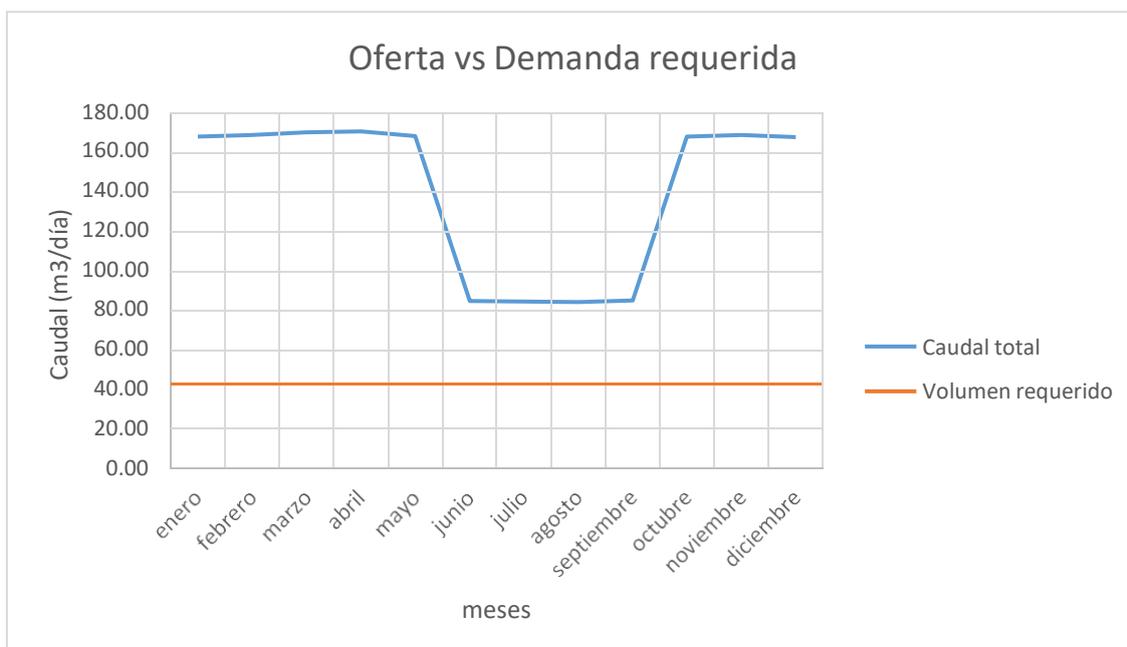


Figura 25. Oferta vs Demanda

Fuente: Elaboración Propia

Tal como indica la Figura 25, la oferta de caudal que Engadí posee, logra abastecer para toda la demanda requerida, ya que el volumen que la cisterna necesita es de 45 m³/día, considerando que la dotación por habitante escogida es de 174 l/hab/día.

Sin embargo, por si la dotación aumenta, existe un porcentaje de reserva. Ya que, en época lluviosa la oferta de caudales puede abastecer una cisterna de hasta 3.72 veces que la calculada, y en época seca 1.87 veces más.

Tal como indica la Tabla 46, el caudal freático aporta mucho más que el caudal pluvial, esto debido al alto nivel freático que existe en la zona.

Tabla 46. Caudales disponibles

		Oferta pluvial (m³/día)	Oferta freática (m³/día)	Oferta total (m³/día)
época lluviosa	enero	3.29	163.59	166.87
	febrero	4.18	163.59	167.77
	marzo	5.30	163.59	168.89
	abril	5.88	163.59	169.47
	mayo	3.48	163.59	167.06
época seca	junio	1.27	82.81	84.08
	julio	0.89	82.81	83.71
	agosto	0.75	82.81	83.56
	septiembre	1.51	82.81	84.33
época lluviosa	octubre	3.22	163.59	166.80
	noviembre	4.03	163.59	167.62
	diciembre	3.00	163.59	166.59

Fuente: Elaboración Propia

Entonces si en algún día o temporada, deja de llover, el agua subterránea está en la capacidad de abastecer a todo el sistema potable del edificio.

3.1.3.1 Alternativas sustentables

Según los resultados arrojados por el laboratorio y la cantidad de agua ofertada por Engadí, se plantea:

- Utilizar completamente tanto el caudal freático como pluvial para el uso total del edificio, es decir, no se requerirá abastecimiento potable del municipio, únicamente es necesario que el constructor instale una mini potabilizadora con las características mencionadas en el apartado de tratamiento y que los propietarios la mantengan periódicamente.
- Es posible utilizar el agua para el sistema contraincendios, sin olvidar que el agua debe ser tratada para contrarrestar el hierro y manganeso para evitar la oxidación de las tuberías de hierro galvanizado (Calderón, 2014).

3.2 Conclusiones

Se evidencia que con la dotación sugerida de 174 l/hab-día por el plan maestro, el volumen de 45 m³ por día es suficiente para cumplir con las necesidades básicas del edificio Engadí.

El 90% de las superficies aportantes para recolectar el caudal pluvial, son impermeables, por lo que permite captar casi en su totalidad la precipitación sobre el edificio.

En cuanto a la oferta de la zona, el caudal pluvial por sí solo no es suficiente para satisfacer con las necesidades básicas de los ocupantes, es necesario que se combine con caudal freático para que logre abastecer a toda la red del edificio.

Al realizar un análisis de los caudales ofertados se notó que el caudal freático es el doble en época lluviosa que en seca. Lo cual evidencia la importancia de la precipitación en la recarga del acuífero.

A partir de lo cuantificado, la oferta total puede suministrar una dotación más grande si así se lo requiere, tanto en época seca como lluviosa.

Con respecto al tratamiento, se plantea una potabilizadora compacta capaz de neutralizar los parámetros que se encuentran fuera de lo establecido por la normativa ecuatoriana; entre los más importantes Hierro. Manganeso, Coliformes, Color aparente, DQO y DBO.

En general, el agua que dispone Engadí, permite establecer varios escenarios de aprovechamiento, sin olvidar que se debe dar un tratamiento convencional antes de los diferentes usos.

3.3 Recomendaciones

La normativa NEC debería tomar en cuenta la disminución de la dotación promedio en función de las fuentes que se dispone actualmente. Por tanto, se debería crear programas para sensibilizar sobre el uso, y dar a conocer la situación actual y futura sobre la escasez del agua.

Para proyectos similares se recomienda que los años de estudio de precipitación sean mayores a 20 para tener en cuenta la variabilidad de caudal.

Las estaciones secundarias que se usen para el relleno de datos deben ser cercanas al sitio de estudio. Para tener una mejor aproximación de datos de las estaciones pluviométricas, sería preferible usar una correlación múltiple. Ya que estas involucran más estaciones para dar un resultado más preciso.

Para la medición de caudal freático, se recomienda que para el sistema de medición se utilice una cuerda plástica en vez de piola, puesto que al mojarse el agua no subiría por capilaridad.

El análisis de calidad de agua debe ser obligatorio si es que algún edificio plantea utilizar el caudal freático o pluvial en la red potable. Así mismo, dichos análisis deben realizarse en laboratorios certificados y sus procedimientos avalados por las normativas establecidas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, H., Vásquez, A., & Alejandro, D. (2012). *Sustainability: Actuality and necessity in the construction sector in colombia* (Issue 1).
<https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/28440/169424101009.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- aconsa. (2021). *Metales pesados en el agua potable: ¿deben preocuparnos? ¿se pueden minimizar?* <https://aconsa-lab.com/metales-pesados-en-el-agua-potable/>
- Agua Potable Requisitos (2014). <http://www.pudeleco.com/files/a16057d.pdf>
- Aguilar, K. (2016). *Tecnologías eficientes en las instalaciones sanitarias aplicables a la normativa de arquitectura del Ecuador dentro del proceso edificatorio.*
- Alarcón, I. (2018). En Ecuador se gasta 40% más agua que el promedio de la región. *El Comercio*.
<https://www.elcomercio.com/tendencias/ambiente/ecuador-gasto-agua-cifras-latinoamerica.html>
- Arenas, F. (2008). *Los materiales de construcción y el medio ambiente.*
- ASSAL. (2008). *Determinación de Color.*
- Blanco, P. S. (2021). *La intensidad de las precipitaciones y el cambio climático: tendencias y variabilidades interanuales registradas en algunas localidades del Nordeste Argentino (período 1971-2019)*. 17(34), 47.
<https://doi.org/10.30972/geo.17344481>
- Bolaños. (2017, December 6). *Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica)*.
<https://doi.org/10.18845/tm.v30i4.3408>
- Bonells, J. (2016). *Aprovechamiento de las aguas freáticas para riego.*
- Borja, W. (2018). *Estudio de Eficiencia Hídrica para un Edificio Residencial en la ciudad de Quito-Ecuador.*
- Breuer. (2009). *Gestión del agua en estados con una estructura constitucional federal: La situación en Alemania.*
- Brito. Lucrecia. (2010). *Calidad Bacteriológica y Parasitológica del agua cruda de la Planta de Tratamiento de Agua de Sustag.*
- Broecker. (2010). *El impacto del calentamiento global en la distribución de las precipitaciones: una perspectiva histórica.*
<https://www.bbvaopenmind.com/articulos/el-impacto-del-calentamiento-global-en-la-distribucion-de-las-precipitaciones-una-perspectiva-historica/>
- Bustamante, A., & Bárcenas, C. (2014). *Aprovechamiento del agua de lluvia como agua potable.*
- Calderón. (2014). *Incidencia del manganeso y la corrosión en la formación de biopelículas con Bacillus cereus en diferentes tuberías.*

- Camacho, C., & Astudillo, V. (2020). *Evaluación del aprovechamiento empírico del agua subterránea somera del cantón Morona-Ecuador*. 460–473. <https://doi.org/10.23857/dc.v6i2.1179>
- Carrera, C., & Rodríguez, R. (2017). *Estudio para Determinar el Coeficiente C de Escorrentía en la Zona Norte del Río Tomebamba*.
- Chiarito, E., Zimmermann, E., & Zacarías, S. M. (2018). *METODOLOGÍAS PARA LA ESTIMACIÓN DEL COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA EN ÁREAS URBANIZADAS MEDIANTE TELEDETECCIÓN* (Vol. 24).
- Corba, A. (2017). *La importancia del sistema de drenaje en el consolidamiento y estabilización de taludes*.
- El Comercio. (2023, January 25). *En Quito, el consumo promedio de agua potable es de 176 litros diarios*.
- EMAAP. (2008). *Normas de diseño de sistemas de agua potable de emAAP-q*.
- EPMAPS. (2001). *Anuarios meteorológicos*.
- EPMAPS. (2011). *Estudios de Actualización del Plan Maestro Integrado de Agua Potable y Alcantarillado para el DMQ*.
- EPMAPS-FONAG. (2023). *Anuario hidrometeorológico*. <http://www.aguaquito.gob.ec>
- Equipos y Laboratorio. (2013). *Turbidez*. <https://www.equiposylaboratorio.com/portal/articulo-ampliado/turbidez>
- Fabregas, J. (2023). *Reducción de la demanda biológica de oxígeno (DBO) en las aguas residuales*. <https://sigmadafclarifiers.com/reduccion-de-la-demanda-biologica-de-oxigeno-dbo-en-las-aguas-residuales/#:~:text=La%20demanda%20biol%C3%B3gica%20de%20ox%C3%ADgeno,para%20sustentar%20la%20vida%20acu%C3%A1tica>.
- FACSA. (2017). *La dureza del agua*. <https://www.facsa.com/la-dureza-del-agua/#:~:text=%C2%BFQU%C3%89%20ES%3F,contiene%20en%20muy%20poca%20cantidad>.
- Frías, T., & Montilla, L. (2016). *Evaluación de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos en el sector puerto de productores río Itaya, Loreto-Perú 2014-2015*.
- GEOSYNTHETICS. (2014). *Manguera de agua de ósmosis permeable*. <https://es.mttvs.com/drainage-system/flexible-permeable-hose.html>
- Green, C. (2003). *Handbook of Water Economics: Principles and Practice*.
- HANNA. (2019). *Color del agua, parámetro indicador de calidad*. <https://higieneambiental.com/aire-agua-y-legionella/color-del-agua-parametro-indicador-de-calidad/#:~:text=El%20color%20verdadero%20es%20el,de%20la%20turbidez%20del%20agua>.

- Hernández. (2018). *Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: definición, propiedades y suposiciones*.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?>
- IDEAM. (2007). *Demanda química de oxígeno por refluo cerrado y volumetría*.
<http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Demanda+Qu%C3%ADmica+de+Ox%C3%ADgeno>.
- IDEAM. (2014). *Recomendaciones para identificación y preservación de muestras*.
- IDEAM. (2019). *Definiciones del catálogo nacional de estaciones*.
- IEOS. (1992). *Código ecuatoriano de la construcción de parte ix obras sanitarias normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes*.
<https://doi.org/10.07>
- INAMHI. (2001). *Anuarios Meteorológicos*.
- INEN. (2020). *Agua para consumo humano requisitos*.
- Instituto Geográfico Militar (Ecuador), Ecuador. Sección Nacional del Instituto Panamericano de Geografía e Historia., & O.R.S.T.O.M. (Agency: France). (1992). *Atlas infográfico de Quito: socio-dinámica del espacio y política urbana = Atlas infographique de Quito: socio-dynamique de l'espace et politique urbaine*. Instituto Geográfico Militar.
- International Atomic Energy Agency. (2009). *Estudios de hidrología isotópica en América Latina 2006*.
- JDH Lalinde. (2018). *Coeficiente de Correlación Lineal de Pearson*.
- Jiménez. (2001). *La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada*.
- Jiménez, K. T. (2017). *Sistemas socioecológicos en la prehistoria del Valle de Quito: Un estudio de escala temporal amplia*.
- Mejía, J. (2010). *Generalidades de la Planta de Potabilización del cantón Gualaquiza*.
- Ministerio del Ambiente. (2017). *Norma de Calidad ambiental y de descarga de efluentes*.
- Montenegro, L. (2023). *Procedimiento de recolección de muestras para Análisis de Agua*.
- Moreno, D., & Duque, J. (2015). *Estudio de aprovechamiento de aguas subterráneas bombeadas por los predios del polígono compuesto por las calles: "Av. 6 de Diciembre, Av. Naciones Unidas, Av. Shyris y, Av. Eloy Alfaro."*
- NEC-15. (2015). *Norma ecuatoriana de la construcción nec-15 capítulo 16 norma hidrosanitaria*.

- Niño, L., & Castro, F. (2016). *Propuesta metodológica para el cálculo del volumen del tanque de almacenamiento de aguas lluvia utilizados en los colegios de la secretaria de educación distrital de Bogotá.*
- Normas IEOS (1992).
- Nova, M. F. (2021). *Propuesta administrativa para un sistema de aprovechamiento de agua lluvia en centros comerciales de Bogotá.* UNIVERSIDAD COLEGIO MAYOR DE CUNDINAMARCA.
- OMS. (2008). *Armonización de los estándares de agua potable en las américas.* <https://www.oas.org/dsd/publications/classifications/Armoniz.EstandaresAguaPotable.pdf>
- Ordenanza No. 3445 Que Contiene Las Normas de Arquitectura y Urbanismo (2003).
- Ordoñez, J. (2012). *Aguas Subterráneas-Acuíferos.*
- Padilla, R. (2022). *Una persona necesita 100 litros de agua al día: OMS.* <http://www.gaceta.udg.mx/una-persona-necesita-100-litros-de-agua-al-dia-oms/#:~:text=De%20acuerdo%20con%20la%20Organizaci%C3%B3n,gramos%20se%20utilizan%20%2C400%20litros.>
- Páez, S. (2023). *Comparación entre oferta pluvial y demanda requerida.*
- Palacios, J. (2019). *Aprovechamiento del agua pluvial para usos no potables en el edificio de Suelos de la Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática de la Universidad Central del Ecuador.*
- PASOLAC. (2021). *Metodologías para aforar fuentes de agua de un pozo.*
- Procel. (2017). *Caracterización hidrodinámica del acuífero Pusuquí- San Antonio de Pichincha.*
- PUREWATER. (2021). *Planta Potabilizadora de Agua 0.5 litros + Refinación (Cl-UV).* <https://purewater.com.co/product/planta-potabilizadora-de-agua-0-5-litros-refinacion-cl-uv/>
- RAS. (2000). *Documentación técnico-normativa del sector de agua potable y saneamiento básico.*
- Remache, A. (2021). *Diseño de un hormigón bio-compuesto de baja densidad utilizando papel bond reciclado.* <https://www.dspace.uce.edu.ec/server/api/core/bitstreams/2837c11c-6624-4464-97db-f7a46026efbb/content>
- Rubio. (2021). *Estimación del Coeficiente de Escorrentía "C" y su análisis a través de variables determinantes de la respuesta hidrológica mediante el estudio de tres cuencas urbanas de la ciudad de Cuenca-Ecuador.*
- Samano, C. (2013). *Fuentes de abastecimiento de agua.*
- Sancha, A., & Lira, L. (2002). *Cobre en agua.*
- Sánchez, C. (2019). *Parámetros físicos.*

- Sánchez, F. (2018). *“Caracterización geotécnica del centro norte de Quito relacionada con el uso y ocupación del suelo por obras civiles.”*
- Sánchez, V. (2019). *¿Qué significa sustentabilidad?*
- Sarmiento, J., & Trujillo, C. (2012). *Estrategias de uso eficiente y ahorro de agua en centros educativos.*
- SIAPA. (2014). *Criterios y lineamientos técnicos para factibilidades.*
- Silva. (2002). *Seminario de Instalaciones Hidrosanitarias.*
- Soberón, & Acosta. (2008). *Fuentes de información para la recolección de información cuantitativa y cualitativa.*
- Tezanos. (2008). *La situación actual y los problemas existentes y previsibles.*
- UNESCO. (1997). *¿Hay suficiente agua en el mundo?*
- Valdés, Y., & Villalejo, V. (2018). *La gestión integrada de los recursos hídricos: una necesidad de estos tiempos.*
- Villacís. (2017). *Precipitaciones extremas en la ciudad de Quito, provincia de Pichincha- Ecuador.*