UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE RECARGA DE LA CAPTACIÓN DE AGUA DEL RÍO PUYO.

AUTOR(ES):

Katherine Esthefania Aldas Montero
Diego Rodolfo Granda Paucar

DOCENTE - TUTOR:
Dr. Ricardo Vinicio Abril Saltos M.Sc

Puyo - Pastaza - Ecuador
2023

UEA
UNIVERSIDAD
ESTATAL AMAZÓNICA

FORMATO 4
APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

En el siguiente cuadro se detalla un conjunto de criterios a evaluar con un total de cien (100) puntos.

Criterios	Puntaje	Argumentos de la calificación
1. TÍTULO		
El título es conciso e informativo de la idea principal del escrito. Genera expectativas de lectura que se cumplen.	5.0 / 5	Si cumple
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de que se trata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales harrazgos y conclusiones.	5.0 / 5	Si cumple
3. INTRODUCCIÓN		
Entrega información sobre temática a tratar. Describe la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación, vinculación y docencia. Presentación del problema y objetivos del problema del artículo de manera clara y concisa.	20.0 / 20	Si cumple
4. MARCO TEÓRICO		
Marco teórico coherente y articulado con los objetivos. Entrega conceptos de términos que son empleados en el estudio. Sustenta el referente conceptual con adecuadas fuentes de autoridad.	15.0 / 15	Si cumple
5. METODOLOGÍA		
Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos. Plantea los criterios de análisis con que se abordo la información.	7.0 / 15	No se describe la metodología para determinar humedad, densidad, textura, contenido de carbono, tipo de suelo, etc. Fórmulas empleadas no se reportan No reporta fuentes bibliográficas

UEA
UNIVERSIDAD
ESTATAL AMAZÓNICA

6. AḶÁLISIS DE RESULTADOS		
Entrega los resultados de manera organizada a partir del problema planteado, objetivos específicos, etc. Los cuadros y figuras son pertinentes y estan claramente representados. El texto no repite infromación entregada en los cuadros y figuras.	25.0 / 25	Si cumple
7. COḶCLUSIOḶES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	8.0 / 10	Qué sucede con los resultados de coliformes es un factor importante en sus conclusiones no determinan buena calidad, de acuerdo a sus resultados? Es TULSMA no TULSMAN
8. REFEREḶCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	5.0 / 5	Si cumple
VALORACIÓḶ TOTAL	90	NOVENTA

DICTAMEN

Marque la casilla correspondiente a su criterio de evaluación respecto al documento revisado.

Recomendación	Marque con X
Aprobar	X
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	90

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
ANGELICA MARIA TASAMBAY SALAZAR

ANGÉLICA MARÍA TASAMBAY SALAZAR (PAR CIEGO)

Dado en la ciudad de PUYO, a los 13 días del mes de SEPTIEMBRE de 2023

UEA
UNIVERSIDAD
ESTATAL AMAZÓNICA

FORMATO 4
APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

En el siguiente cuadro se detalla un conjunto de criterios a evaluar con un total de cien (100) puntos.

Criterios	Puntaje	Argumentos de la calificación
1. TÍTULO		
El titulo es conciso e informativo de la idea principal del escrito. Genera expectativas de lectura que se cumplen.	5.0 / 5	Si cumple
2. RESUMEI		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de que se trata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales harrazgos y conclusiones.	4.0 / 5	Se realizaron parcialmente las observaciones solicitadas
3. II TRODUCCIÓI		
Entrega información sobre temática a tratar. Describe la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación, vinculación y docencia. Presentación del problema y objetivos del problema del articulo de manera clara y concisa.	19.0 / 20	Si cumple
4. MARCO TEÓRICO		
Marco teórico coherente y articulado con los objetivos. Entrega conceptos de términos que son empleados en el estudio. Sustenta el referente conceptual con adecuadas fuentes de autoridad.	14.0 / 15	Si cumple
5. METODOLOGÍA		
Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos. Plantea los criterios de análisis con que se abordo la información.	14.0 / 15	Se realizaron las observaciones solicitadas

6. AĮ ÁLISIS DE RESULTADOS		
Entrega los resultados de manera organizada a partir del problema planteado, objetivos específicos, etc. Los cuadros y figuras son pertinentes y estan claramente representados. El texto no repite infromación entregada en los cuadros y figuras.	24.0 / 25	Se realizaron las observaciones solicitadas
7. COĮ CLUSIOĮ ES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	9.1 / 10	Interesante
8. REFEREĮ CIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	5.0 / 5	Si cumple
VALORACIÓĮ TOTAL	94.1	NOVENTA Y CUATRO PUNTO UNA

DICTAMEN

Marque la casilla correspondiente a su criterio de evaluación respecto al documento revisado.

Recomendación	Marque con X
Aprobar	X
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	94.1

Atentamente,

DERWIN VIAFARA BANGUERA

DERWIN VIAFARA BANGUERA (PAR CIEGO)

Dado en la ciudad de PUYO, a los 13 días del mes de SEPTIEMBRE de 2023

Ouriginal

RICARDO VINICIO ABRIL SALTOS

Document Information

Analyzed document	Diego y Katherine 18 agosto 2023.docx (D172935348)
Submitted	8/18/2023 7:18:00 PM
Submitted by	Ricardo Abril
Submitter email	rvabril@uea.edu.ec
Similarity	2%
Analysis address	rvabril.uea@analysis.urkund.com

Sources included in the report

SA **UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / Farinango Welinton- Vallejo Perla.docx**
Document Farinango Welinton- Vallejo Perla.docx (D127095202)
Submitted by: ma.guadalupea@uea.edu.ec
Receiver: ma.guadalupea.uea@analysis.urkund.com
3

W URL: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112020000100102
Fetched: 11/8/2021 5:35:58 AM
1

SA **UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA / Tatiana Villacis y Elci Revelo.pdf**
Document Tatiana Villacis y Elci Revelo.pdf (D46090872)
Submitted by: rvabril@uea.edu.ec
Receiver: rvabril.uea@analysis.urkund.com
1

Entire Document

CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE RECARGA DE LA CAPTACIÓN DE AGUA DEL RÍO PUYO.

Aldas Montero Katherine Esthefania1[1]

amb2017237@uea.edu.ec

Granda Paucar Diego Rodolfo2[1]

dr.grandap@uea.edu.ec

Abril Saltos Ricardo Vinicio, M.Sc[2]
rvabril@uea.edu.ec

Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la Vida

Carrera de Ingeniería Ambiental

Resumen

El agua de lluvia, otras precipitaciones y la escorrentía superficial pueden reabastecer los acuíferos subterráneos en las zonas de recarga hídrica, la problemática radica cuando estas zonas de recarga presentan un ecosistema que no cumple con las condiciones mínimas de para que sean procesadas para consumo humano. El objetivo principal fue analizar la caracterización de la zona de recarga de la captación de agua del río Puyo. Mediante una metodología mixta, se realizó muestreos de agua y suelo para analizar las propiedades fisicoquímicas, así, utilizando pruebas de infiltración y compactación, se determinaron las características de la cuenca hidrográfica en estudio con ayuda de los programas Excel y Arcmap. Los resultados ms relevantes de esta investigación fueron que la cuenca tenía extensión de 4.6 km, su densidad de corriente obtuvo un valor de 25.11 km/km^2 y el tiempo de concentración fue de 71 min; en la infiltración la velocidad máxima fue de 1cm/minuto en el tiempo de 20 minutos, el tipo de suelo encontrado fue Franco arcilloso arenoso y el caudal del punto de río de la toma de muestra fue de 0.370m3/s, las coliformes totales en promedio (4075 NMP) superaron los LMP; la infiltración acumulada fue de 47mm, la velocidad de infiltración promedio fue de 0.32cm/min, el carbono orgánico fue de 5.04% y la MO de 8.68%. En conclusión, la caracterización de la zona de recarga de la captación de agua del río Puyo logró determinar que los parámetros de pH y Turbidez estuvieron dentro de los LMP, mientras que la DBO lo superó por décimas, no obstante, los promedios de análisis de

coliformes superaron doblemente los LMP, considerándolo un agua contaminada por actividades antropogénicas.

Palabras clave: *caudal, calidad de agua, infiltración, río.*

Abstract

Rainwater, other precipitation, and surface runoff can replenish groundwater aquifers in water recharge zones. The main objective was to analyze the characterization of the recharge zone of the Puyo river water intake. A qualitative-quantitative (mixed) methodology was used, water and soil sampling was carried out to analyze the physicochemical properties, likewise using infiltration and compaction tests, the characteristics of the hydrographic basin under study were determined with the help of Excel and Arcmap programs. The most relevant results of this investigation were that the basin had an extension of 4.6 km, its current density obtained a value of 25.11 km/km2 and the concentration time was 71 min; In the infiltration the maximum speed was 1cm/minute in the time of 20 minutes, the type of soil found was sandy clayey loam and the flow of the river point of the sampling was 0.370m3/s, the total coliforms in average (4075 MPN) exceeded the LMP; the accumulated infiltration was 47mm, the average infiltration speed was 0.32cm/min, while the organic carbon was 5.04% and the MO was 8.68%. In conclusion, the characterization of the recharge zone of the Puyo river water intake was able to determine that the pH and Turbidity parameters were within the LMP, while the BOD exceeded it by tenths, however, the analysis averages of coliforms doubled the LMP, considering it a water contaminated by anthropogenic activities.

Keywords: *flow, water quality, infiltration, river.*

Introducción

Las instalaciones de captación de agua para consumo humano a nivel global, van mejorando cada día debido a que las fuentes de este recurso se están agotando. La importancia de las instituciones por generar la sostenibilidad de los recursos naturales conduce a que las tecnologías utilizadas sean cada vez más especializadas. Para determinar un punto de captación de agua, debe identificarse la ubicación de una zona

de recarga hídrica y en base a ella el caudal que se puede aprovechar sin influir negativamente en la conservación ambiental. En el estudio de recursos hídricos, se conoce como una zona de recarga hídrica a aquella zona que por sus condiciones climáticas, geológicas y topográficas permite que el agua de lluvia se infiltre en el suelo y recargue los acuíferos que se encuentran por debajo de la cuenca, creando una zona de reserva y generación de agua (Peñuela & Carrillo, 2013).

La capacidad de recarga hídrica se considera un factor determinante en el cumplimiento del ciclo hidrológico que presente una subcuenca, y su posterior identificación permitirá evaluar el estado en el cual se encuentra, el estado que podría llegar a tener y de qué manera se lo puede utilizar para el consumo humano mediante una captación (Lara, Cushquicullma, Espinoza, Guaiña, & Ati, 2021).

En función de las condiciones climatológicas que se presenten en una zona de recarga hídrica, podrá determinarse la capacidad de infiltración que tenga un suelo y cuando llegue a su relleno se generará escorrentía superficial que es el agua aprovechable por la mayoría de pueblos. La infiltración es el proceso por el cual el agua que cae de la lluvia se transfiere desde la superficie hacia el interior de la tierra, recargando acuíferos y formando fuentes de agua subterránea (Bateman, 2007). En función de las condiciones geológicas del terreno, el agua que se precipita podrá permanecer en la capa superficial del suelo como humedad, escurrirse como un flujo subsuperficial y aflorar con la distancia a una vertiente, o simplemente recargar un acuífero y mantener en reposo hasta que el acuífero se colme y salga a la superficie (Alvarado & Barahona, 2017). Cuando se genera escorrentía superficial, formando pequeños ríos o riachuelos, es la oportunidad de una población de evaluar la posibilidad de establecer una captación de agua para conducir el recurso hasta cada uno de sus domicilios.

En Ecuador, cuando un municipio es pequeño, no suelen asignarse los recursos suficientes para que puedan efectuarse estudios de identificación y evaluación de zonas de interés, en este caso para captaciones de agua. Al no contar con el recurso económico suficientes, los pequeños pueblos suelen tomar captaciones directas de ríos cercanos a sus poblaciones, esto genera una administración deficiente del recurso, así como su calidad, pues solo se consideraría agua entubada, misma que no está desinfectada ni cumple con estándares de calidad mínimos (Figueredo, 2019). La captación de agua

consiste en un proceso por el cual el agua de una vertiente, un techo o simplemente de un lago es recogida y almacenada para posteriormente ser usada (Canal Educa, 2015).

Los sistemas de captación pueden ubicarse en sistema pluviales los cuales son usualmente conocidos como aguas de lluvia, en arroyos o ríos, y en lagos o embalses (Pérez, 2011).

Si se habla de captación del recurso hídrico por temas de escasez de este en algunas zonas, se deben tomar en cuenta varios factores para poder represarla de ser necesario, entre estos factores se encuentra: definir el motivo por el cual el agua está siendo recolectada, eso puede ser consumo humano, agricultura, ganadería o actividades recreativas; evaluar la pendiente en la cual se encuentra el terreno que servirá como base para el establecimiento del embalse, debido a que debe analizarse si no existe peligros de desborde o inundación; definir las características del suelo, dentro de ellas la combinación de los materiales que lo forman, y su capacidad para detener líquidos; el costo de construcción, tomando en cuenta a que distancia se encuentra de la urbanización más cercana, en función de ellos se podrá determinar su costo de operación; la cantidad, intensidad y distribución de las lluvias durante cada estación del año, esto deberá ser sostenible tanto en invierno como en verano y; los factores sociales, entre ellos la tenencia del suelo y las prácticas antiguas y actuales en las que se encuentra el sitio (Bocek, 2023).

El tamaño de instalación de un embalse o sistema de captación dependerá de la cantidad de personas para las cuales se necesite el recurso y en función de ellos establecer un sistema de purificación de agua que asegure su calidad. La capacidad de distribución del agua dependerá también del caudal que presente la fuente de agua que se encuentre siendo captada, en base a ello, es posible establecer una estructura correctamente formada. El caudal de un río es la forma en la cual se expresa el volumen que corre él en función del tiempo. Si se habla de calidad, en función de la OMS y otros organismos internacionales, esta se define como el conjunto de características físicas, químicas y biológicas que reúne el agua en su estado natural o en una planta que asegura la calidad de vida y salud de una población (Baeza, 2016).

Por lo antes mencionado se distingue la siguiente problemática: las zonas de recarga hídrica son un espacio acuático imprescindible para las comunidades, sim

embargo en muchos lugares las poblaciones aledañas no son consientes de su gran importancia y contaminan los alrededores de estos lugares con agentes fisicoquímicos y/o biológicos, haciendo que el agua que se recauda para consumo humano sea de mala calidad, o no sea utilizable. Así mismo, los diferentes factores que interactúan en los ecosistemas aledaños a las zonas de recarga hídrica deben tener una estabilidad ambiental, de acuerdo a las normativas ecuatorianas vigentes.

En el presente documento, se presenta la evaluación del sistema de captación de agua para consumo humano ubicada en el río Puyo, en la cual se ha definido la cuenca hidrográfica dentro de la que se aplicó pruebas de infiltración del terreno para conocer la capacidad de recarga hídrica que presenta la zona y, finalmente, se ha determinado la calidad del agua que se capta y llega a los domicilios de la población a la cual está dirigida, determinado si este líquido asegurar su bienestar social y la soberanía, alimentaria; es por ello que el objetivo principal de la investigación fue realizar la caracterización de la zona de recarga de la captación de agua del río Puyo.

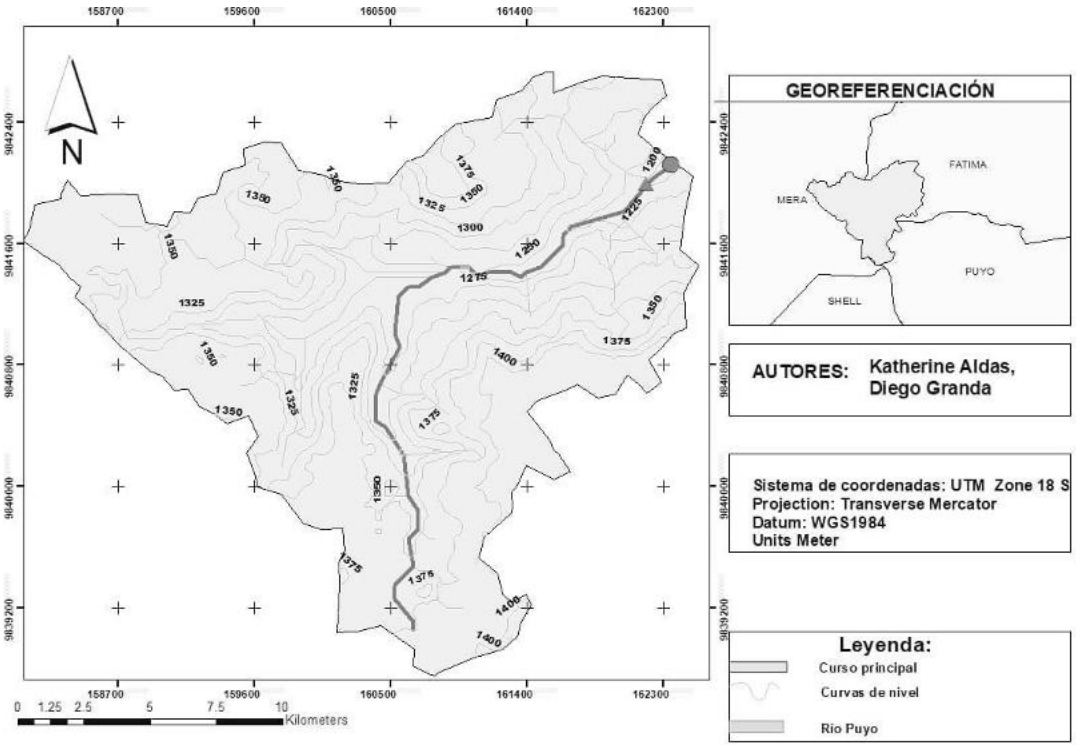
Metodología

Ubicación del proyecto

El presente estudio fue realizado en la provincia de Pastaza, cantón Pastaza, parroquia Fátima, esta se encuentra en la cabecera cantonal de la provincia. La parroquia Fátima se encuentra ubicada a una altura de aproximadamente 930 msnm con un promedio anual de temperatura de 21,1 °C y una precipitación promedio de 4400 mm por año, por su área geográfica, cruza el río Puyo, el cual es visitado por turistas locales y extranjeros. Puyo se encuentra en el centro de la Amazonía en los francos externos de la cordillera oriental de los Andes, limita al norte con los cantones de Santa Clara y Arajuno, al sur con Morona Santiago, al este la República de Perú y al oeste con el cantón Mera (PDOT, 2019).

Figura 1.

Mapa de ubicación.



Fuente: Katherine Aldas , Diego Granda

La parroquia Puyo, cuenta con una superficie de 87,67 km^2 con una población que asciende los 50 mil habitantes. El desarrollo económico de la parroquia se basa en el turismo, el comercio y la agricultura. Además, en ella se encuentra la matriz de la Universidad Estatal Amazónica que recibe estudiantes constantemente, por lo que la economía se mantiene creciente (Gobierno autónomo descentralizado de Pastaza, 2020).

Ubicación de los puntos del área de estudio

Con un GPS se determinó las coordenadas de la captación y se estableció la zona de recarga con el uso de modelos de digitales de terreno a través del programa ArcMAp.

Tipo de investigación

El presente trabajo se resume en una investigación de tipos aplicada y descriptiva. Aplicada, porque basa sus nuevos descubrimientos en investigaciones

fundamentadas con conocimientos anteriores y busca mejorar dichos estudios para una evolución constante en los medios de información acerca del tema planteado, siendo este la caracterización de una captación hídrica. Por otra parte, es descriptiva, ya que agrupa un conjunto de fenómenos que son explicados sistemáticamente para comprender un comportamiento en específico, enfocado en las pruebas de infiltración que se complementa con su clasificación experimental, ya que se ha establecido un ambiente controlado para establecer dicha prueba dentro de la cuenca evaluada.

Método de investigación

El proyecto ha manejado una investigación mixta experimental, a través del desarrollo de pruebas de infiltración y muestreos de calidad de agua.

Procesamiento de datos

Los datos de georreferenciación y delimitación de la cuenca, han sido gestionados a través de la herramienta digital ArcMap 10.5, a través de la cual se han establecido mapas de ubicación tomando en cuenta características topográficas y otras. Por su parte, para el cálculo de valores de la prueba de infiltración aplicada, se ha utilizado Microsoft Excel (Microsoft Corporation; USA), a través de esta herramienta se han establecido las gráficas de la velocidad con la cual se ha infiltrado el agua.

Toma de muestras y proceso de prueba de infiltrómetro

En el sitio seleccionado para el desarrollo de la prueba se limpió la superficie del suelo a ras, se realizó una calicata de 1m x 1m x 0,5m para luego el espesor de la capa de humus y en 5 puntos alrededor se determinó el espesor de la hojarasca. Se tomó dos muestras de suelo con el cilindro metálico, una se llevó a refrigeración y otra se colocó a secar a la sombra. Se instalaron los cilindros exterior e interior introduciéndoles una profundidad de 5 cm en el suelo sin cambiar las características del mismo así mismo se realizó un aporque alrededor del cilindro exterior y se llenó de agua el espacio entre el cilindro exterior e interior, posteriormente con una regla vertical en el interior para tomar las medias de la altura del agua a los 0,1,2,3,4,5,10,15,20,30,40 45, 50, 60, 75, 90, 120 y 140 min.

Con las muestras colocadas en refrigeración se estimó el contenido de humedad y densidad aparente en el laboratorio, con las muestras secas se determinó

textura, y contenido de carbono, para con ello determinar el tipo de suelo y la condición hidrológica del mismo, determinar el número de curva para condición 2.

RESULTADOS

Determinación de las características de la cuenca

Resumir e indicar de acuerdo al área como se consideraría la zona de recarga. En la tabla 1 se presentan los resultados de los cálculos de la cuenca hidrográfica en estudio.

Tabla 1

Datos de la cuenca del Río Puyo.

Parámetro	Valor
Área de la cuenca	8.81 km^2
Perímetro (P)	16.91 km
Longitud de la cuenca (Lc)	4.69 km
Distancia lineal (S)	3494 m
Altura mayor	1375 msnm
Altura menor	1200 msnm
Diferencia de altura	175 m
Pendiente	0,05 – 0.5%

Fuente: Elaboración propia.

Mediante la utilización de fórmulas y con los datos obtenidos en la tabla anterior, se realizó el cálculo de la densidad de drenaje, densidad de corrientes, coeficiente de compacidad y la relación de elongación, los cálculos se presentan en la tabla 2.

Tabla 2

Parámetros de la cuenca del río Puyo.

Parámetro	Resultado
Densidad de drenaje	2.0
Densidad de corriente	25.1
Coeficiente de compacidad	1,6
Relación de elongación	0,7
Tiempo de concentración	71min

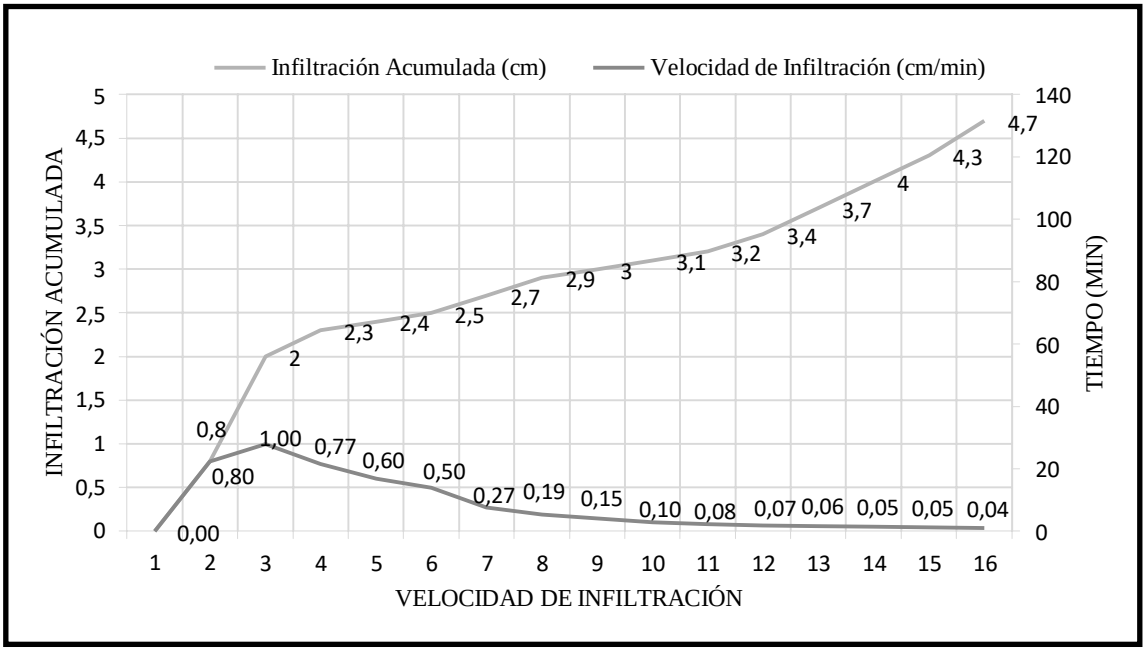
Fuente: Elaboración propia.

Infiltración

En la figura 2 se muestra la infiltración acumulada y la velocidad de infiltración del punto de muestreo. Se pone en evidencia que la infiltración acumulada luego de dos horas de espera fue 4.7cm, mientras que la velocidad de infiltración alcanzó su pico máximo a los 20 minutos, con un valor de 1cm/minutos, luego de ellos, disminuye paulatinamente hasta alcanzar una velocidad final a los 120 minutos de 0.04cm/min.

Figura 2

Prueba de infiltración.



Fuente: Katherine Aldas , Diego Granda

Estos resultados pueden ser comparados por los presentados por Revelo y Villacís (2019) en su estudio de caracterización de la zona de recarga hídrica en la comunidad Cotococha, en el cual se obtuvieron velocidades de infiltración de 1.058cm/h y 0.055cm/h en parcelas con cubierta de vegetación arbórea y pasto respectivamente (Revelo & Villacís, 2019). Así mismo estos resultados son similares a los obtenidos por Giler y Vargas (2019), cuyo estudio en el río Apangora mostró valores de velocidad de infiltración de 20.5 mm/h en su punto máximo, mientras que su valor mínimo fue de 0.5mm/h.

Datos del suelo

Según las muestras de suelo acopiadas y los análisis de laboratorio realizados a las mismas, se obtuvo un porcentaje de limo de 23%, arena 57%, arcilla 20%, de la misma manera el porcentaje de materia orgánica obtenido fue de 8.68% y el de carbono fue de 5.04%, mientras que la densidad aparente obtuvo un valor de 0.276g/cm3.

Con los datos de la textura, se pudo determinar el tipo de suelo del cual se obtuvo la muestra, esto se realizó por medio del triángulo de texturas, se pudo evidenciar el tipo de suelo obtenido: FRANCO ARCILLOSO ARENOSO. Este tipo de suelo es similar a la investigación realizada por (Illanes & Paucar , 2019)en las riberas del río Plata de la ciudad del Puyo, donde en 8 de los 16 puntos tomados, el suelo fue Franco Arcillo arenoso.

Según el modelo de Horton, después de haber obtenido los valores de Fc= 8.22mm/h y Fo=37mm/h, el tipo de suelo corresponde al grupo A, es decir, suelo con potencial de escorrentía mínimo por su gran permeabilidad y elevada capacidad de infiltración, este incluye arenas profundas con poco limo y arcilla.

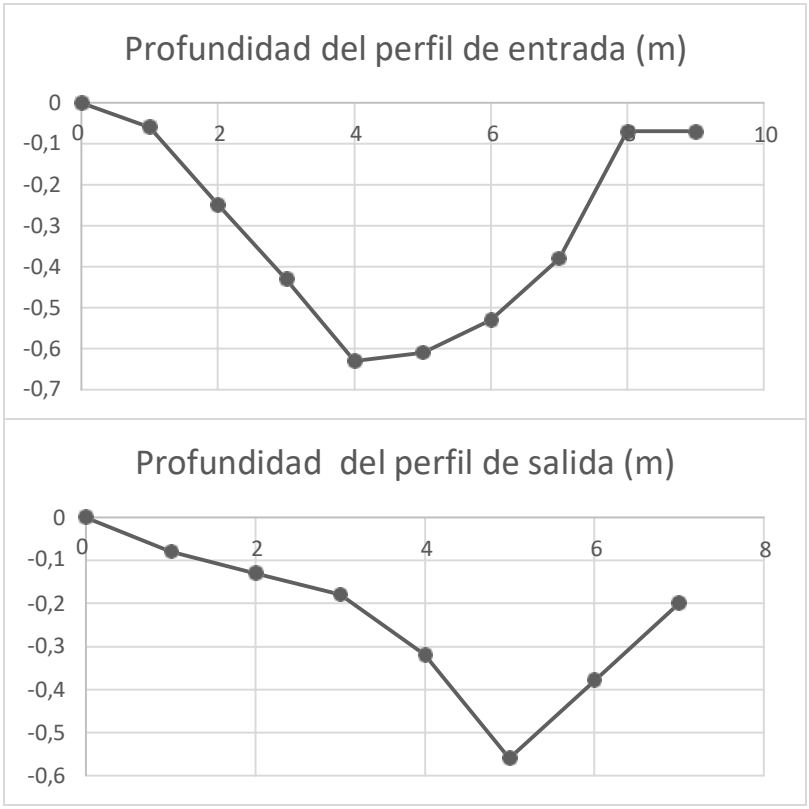
Mediante el penetrómetro dinámico se pudo determinar que el suelo era moderadamente compacto, este dato junto al espesor del humus (2.5 cm) y el espesor de la hojarasca (0.4in), permitieron ubicar en el monograma para la determinación de las condiciones hidrológicas, la categoría de condición hidrológica regular (HC=III), junto a ello y con el tipo de vegetación, bosque de ribera y el tipo de suelo categoría A, dio como resultado un número de curva **Nc**=36.

Estimación de caudal y caudal de crecida

Con los datos de medición de las alturas del río se obtuvo el perfil del río, el mismo que se utilizó para determinar la velocidad del cauce y el caudal del mismo; así mismo se determinó el caudal de crecida. En la figura 3 se muestra el perfil del río modelado, cuya área de entrada fue de 3.86m^2 y el perímetro de 9.85m; mientras que el área de salida fue de 1.48m^2 con un perímetro de 8.54m.

Figura 3

Datos de profundidad del río.



Fuente: Katherine Aldas , Diego Granda

Con los datos recolectados anteriormente se realizaron los cálculos pertinentes para obtener la pendiente, coeficiente De rugosidad, radio hidráulico, velocidad y caudal, tal como se muestra en la tabla

Tabla 3

Parámetros del río

Parámetros del río		
Pendiente	**S**	0.04
Coeficiente de rugosidad	**n**	0.09
Radio hidráulico	**Rh**	0.29

Velocidad (m/s)	**V**	0.25
Caudal (m^3/s)	**Q**	0.370

Fuente: Elaboración propia.

El caudal determinado para una crecida del río fue de 6.67 m^3/s, lo que significa un incremento muy significativo en su caudal, volviendo el agua de cauce turbulenta y con una velocidad mucho más elevada que en su estado normal; la velocidad calculada fue 0.47m/s.

Análisis de calidad del agua de la captación del río Puyo.

Luego de tomar las muestras de agua del río, y realizar los ensayos de laboratorio, se pudieron obtener los resultados mostrados en la tabla 5, donde se realizó un promedio de ellos para poder estimar un parámetro base.

Tabla 4

Medición de parámetros fisicoquímicos.

PARAMETRO	15/06/2023	22/06/2023	29/06/2023	27/07/2023	TULSMA
PH	7,93	7,15	6,94	7,38	de 6 a 9*
T (°C)	22,8	22,3	21	21,9	-
CE (us/cm)	61,91	55,57	61,64	60,32	-
Turbidez (ntu)	0,94	13,45	2,74	1,14	100*
DBO (mg/L)	2,6	2,4	2,4	1,8	<2*
Oxígeno disuelto (mg)	7,96	8,39	8,3	8,17	-
Sólidos totales (mg/l)	34	60	51	41	-
Sólidos suspendidos (mg/L)	66	2	27	24	-
Sólidos disueltos (mg/L)	25	36	54	52	-

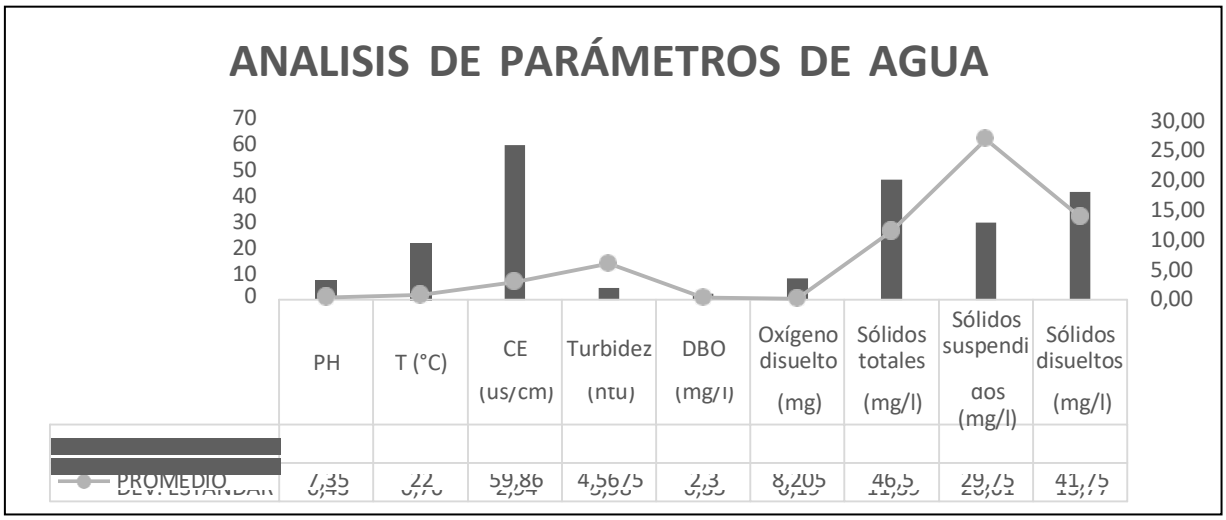
Fuente: límites máximos permisibles según el acuerdo ministerial 97 A reforma del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Medio Ambiente.

Como se muestra en la figura 2 el pH que se obtuvo de las aguas del río Puyo, obtuvo un valor de 7.35 en promedio, el mismo que se encuentran dentro del rango establecido por el TULSMA, cuyas escrituras establecen valores que oscilan entre un pH de 6 a 9; así mismo, la turbidez promedio fue de 4.5NTU la misma que también se encuentra dentro del límite máximo permisible establecido por el TULSMA; finalmente

el parámetro de la DBO tuvo un valor promedio de 2.3 el mismo que sobre pasa el límite máximo permisible establecido por el TULSMA por 0.3 décimas.

Figura 4

Análisis fisicoquímico del agua.



Los valores encontrados fueron inferiores a los encontrados en los análisis de calidad del río Plata, en el cual se encontró un valor de 98ml/L, el cual duplica valores obtenidos en esta investigación, así mismo con respecto a la conductividad eléctrica, el valor en el río plata fue de 102.4us/cm, de la misma manera, cerca al doble del valor hallado en la presente investigación, esto quiere decir que el agua del río Plata tiene una concentración de sales más elevada que el río Puyo, en la altura del dique de Fátima (donde se tomaron las muestras) (Illanes y Paucar, 2019). Por otra parte Abril et al. (2021) obtuvieron datos de conductividad eléctrica en el cuerpo principal del río Puyo, a la altura del dique de Fátima que sobrepasaban los 100uS/cm2, y un potencial de hidrógeno que oscilaba entre 6 y 9 en el curso principal (Abril, Armas, Chamorro, Sucoshañay, & Ríos, 2021).

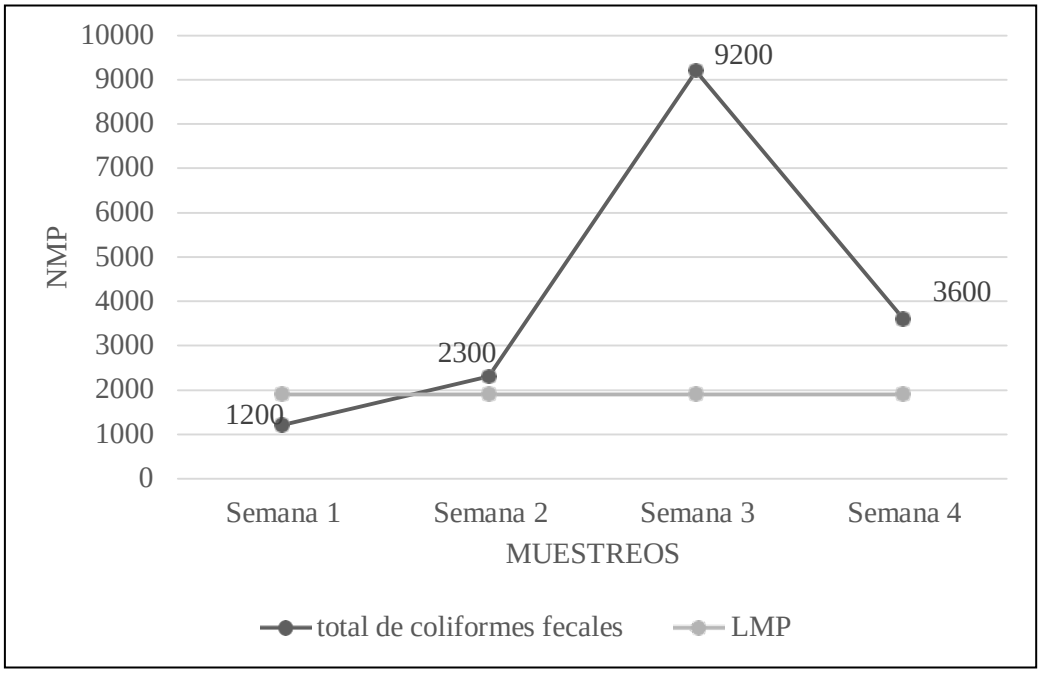
Análisis de coliformes totales

En la figura 5 se evidencia el valor de los análisis de coliformes totales, muestra que solo en la semana 1, el valor no sobrepasó el límite máximo permisible (LMP), alcanzando un valor de 1200NMP (número más probable) por debajo de loa 1900NMP

que permite la norma, en la semana 2 y 4 también sobrepasó el LMP, sin embargo, en la semana 3, este valor cuadruplicó lo establecido por la norma, indicando un alto riesgo de que el agua del río esté contaminada por organismos que pueden causar enfermedades.

Figura 6

Análisis de coliformes totales.



Fuente: Katherine Aldas , Diego Granda

CONCLUSIONES

- La zona de recarga hídrica del río Puyo cerca al dique de Fátima posee un área de 8.81Km2 con una longitud del cauce del río de 4,69Km, y una cobertura vegetal de bosque secundario y una pendiente del 0.5%. En función a las características hidro-edafológicas la zona de recarga hídrica del río Puyo posee en su clase textural de suelos de tipo franco arcillo arenoso, su infiltración fue moderada, en donde este tipo de suelo presenta un bajo coeficiente de compacidad y por consiguiente alta retención de agua en la zona de recarga hídrica del río Puyo. Así mismo, se pudo determinar un porcentaje de Materia Orgánica de 8.68% y 5.04% y una densidad aparente de 28%. Con respecto a los

límites máximos permisibles establecidos por el TULSMAN, los parámetros medidos para la calidad del agua se encuentran dentro de los rangos establecidos, lo que indica una buena calidad del agua.

Referencias

Abril, R., Armas, P., Chamorro, W., Sucoshañay, D., & Ríos, A. (2021). Water quality of Puyo River and tributaries, Pastaza, Ecuador. *Tecnología, Ciencias y Agua*, *12*(3), 379-417. doi:10.24850/j-tyca-2021-03-10

Alvarado, C., & Barahona, M. (2017). Comparación de tres métodos de infiltración para calcular el balance hídrico del suelo, en la Cuenca del río Suquiapa, El Salvador. *Cuadernos de Investigación UNED*, 23-33.

Baeza, E. (2016). Calidad del Agua. *Biblioteca del Congreso Nacional de Chile*, 1-11.

Bateman, A. (2007). *Hidrología Básica y Aplicada.* Grupo de Investigaciones en TRasporte y Sedimentos.

Bocek, A. (2023). Inducción a la captación de agua. *Acuicultura y aprovechamiento del agua para el desarrollo rural*, 1-11.

Canal Educa. (2015). La captación de agua. 1-76.

Figueredo, J. (2019). *Metofología para identificar zonas de recarga hídrica en municipios o comunidades con recursos financieros limitados.* Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.

Giler, E., & Vargas, M. (2019). *Trabajo de investigación previo al título de ingeniero.* CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE RECARGA HÍDRICA. Obtenido de https://repositorio.uea.edu.ec/bitstream/123456789/505/1/T.AMB.B.UEA.3191

Gobierno autónomo descentralizado de Pastaza. (2020). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Pastaza.* https://puyo.gob.ec/wp-content/uploads/documentos/departamentos/planificacion/pdot/pdot-pastaza-2020-2030.pdf

Illanes, I., & Paucar , M. (2019). *Trabajo previo al título de pergrado.* CARACTERIZACIÓN EDAFOLÓGICA, HIDROLÓGICA Y GEOMORFOLÓGICA DE LA ZONA DE RECARGA DEL RÍO PLATA,BARRIO LAS PALMAS, CANTÓN PASTAZA. Obtenido de https://repositorio.uea.edu.ec/bitstream/123456789/513/1/T.AMB.B.UEA.3199

Lara, N., Cushquicullma, D., Espinoza, V., Guaiña, J., & Ati, M. (2021). Identificación de zonas potenciales de recarga y descarga de agua subterránea en la subcuenca del Río Chambo mediante los sistemas de información geográfica y el análisis multicriterio . *Polo del Conocimiento*, 122-148.

PDOT. (2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la provincia de Pastaza al año 2025.* Puyo.

Peñuela, L., & Carrillo, J. (2013). Definición de zonas de recarga y descarga de agua subterránea a partir de indicadores superficiales: centro-sur de la Mesa Central, México . *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, 18-32.

Pérez, F. (2011.). *Captación de aguas superficiales.* Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena.

Revelo, E., & Villacís, T. (2019). *Caracterización de la zona de recarga hídrica en la comunidad Cotococha, parroquia Tarqui, Provincia de Pasatza.* Obtenido de https://repositorio.uea.edu.ec/bitstream/123456789/535/1/CARACTERIZACI%c3%93N%20DE%20LA%20ZONA%20DE%20RECARGA%20H%c3%8dDRICA%20EN%20LA%20COMUNIDAD%20COTOCOCHA.pdf

ANEXOS

Ciclo hidrológico en Cuencas hidrográficas

Una cuenca hidrográfica se define como la masa de tierra segmentada a lo largo de la línea divisoria de la cuenca, donde todas las corrientes superficiales de la cuenca desembocan en un río o arroyo principal antes de desembocar finalmente en el mar. Existe una interdependencia compleja dentro de los componentes biológicos, abióticos, antropogénicos, culturales y sociales de este sistema (Ordoñez, 2011).

Importancia de las aguas subterráneas en el balance hídrico

En el ciclo hidrológico, la precipitación en forma de lluvia es la principal fuente de agua dulce que reabastece las reservas de agua del planeta. Parte de la precipitación

escurre por la superficie terrestre (en un proceso conocido como "escorrentía superficial"); algunos penetran en el suelo a través de zonas de recarga de acuíferos; y el resto se expulsa al aire a través de la transpiración de las plantas como "evapotranspiración". Sin embargo, el agua que llega a las capas más profundas del suelo es la que alimenta los acuíferos (Sahuquillo, 2009).

Recarga Hídrica

Recarga hídrica es un proceso natural que sucede cuando el agua de la lluvia se infiltra al interior de la tierra ayudando a las aguas subterráneas, aguas superficiales y acuíferos. Hay muchas formas diferentes en que el agua se puede reponer en los acuíferos, incluida la infiltración de la lluvia (la fuente más importante) y el agua superficial (crucial en las regiones áridas) e incluso la transferencia desde otro acuífero si es externo al que se está estudiando (Herrera, 2017) citado en (Revelo y Villacís, 2019).

Zonas de recarga hídrica

Las áreas de recarga hidráulica son lugares donde el agua de lluvia se filtra al suelo para reponer los acuíferos; estos dependen directamente de las condiciones y características del suelo, que ayudan en la filtración del agua y la retención de humedad y, por lo tanto, facilitan el flujo directo del agua a los acuíferos cercanos. A diferencia de los suelos con parches desnudos, que tienen una baja capacidad de retención de agua, las áreas con vegetación y bosques brindan más beneficios ya que almacenan una mayor cantidad de agua y humedad (Matus *et al.*, 2009).

Clasificación de las zonas de recarga hídrica

Según (Faustino, 2006) citado en Figueredo (2016) las zonas de recarga se clasifican en:
Zonas de recarga hídrica superficial: Casi toda la cuenca hidrográfica, con la excepción de las regiones completamente impermeables, se humedece después de cada tormenta, lo que da como resultado una fina capa de escorrentía que se forma en respuesta a las diferencias en la humedad y el drenaje del suelo. Este caudal se mide en

la desembocadura principal del río y se denomina caudal de "descarga superficial" o "socavación superficial".

Zonas de recarga hídrica subsuperficial: Es la parte del valle donde el suelo tiene una alta capacidad de retención de agua o almacenamiento superficial bajo una capa impermeable, que concentra la escorrentía hacia el sistema de drenaje. La ocurrencia de caudales en la red hidráulica está influenciada tanto por la cantidad de precipitación como por el efecto "esponja" del suelo (que libera agua lentamente a medida que se desplaza horizontalmente). Este fenómeno se mide de la misma forma que el descrito anteriormente, y puede ocurrir tanto en periodos de lluvia como en periodos de sequía, cuando el agua en cuestión proviene de los bosques.

Zonas de recarga hídrica subterránea: corresponde a las áreas de la cuenca (áreas planas, cuevas y roca porosa) donde la infiltración vertical fluye significativamente y por lo tanto forma o sostiene acuíferos. Importante para este esquema de zonificación es el vínculo entre los acuíferos y la recarga externa (de otra cuenca). Tanto los métodos directos como los indirectos, como el balance hidrológico, pueden ser considerados para la evaluación. Los métodos directos incluyen el uso de sondas, bombas y prospección geofísica.

Zonas de recarga hídrica subterránea: es lo que sucede cuando el balance hídrico de una cuenca presenta una pérdida por percolación profunda o el área en cuestión presenta importantes fallas geomorfológicas. Coincide a menudo con zonas de recarga subterráneas.

Factores que afectan la recarga hídrica

De acuerdo con el Instituto Nacional de Bosques (INAB, 2003), citado por Figueredo (2016), los factores que afectan la recarga hídrica son:

El suelo: El suelo denso e impermeable previene o dificulta la infiltración, mientras que el suelo permeable permite una recarga más fácil. Las características del suelo que afectan la recarga incluyen la textura, la densidad aparente, la saturación de humedad y la tasa de infiltración.

La topografía: Determina cuánto tiempo permanece el agua en contacto con una superficie; las inclinaciones fuertes fomentan el flujo superficial a expensas de una penetración más profunda.

Los estratos geológicos: La cantidad de agua de recarga puede verse muy afectada por la disposición de los materiales geológicos en los diversos estratos o capas del suelo que conducen a la zona saturada (agua subterránea).

La cobertura vegetal: Esto reduce la tasa de escorrentía superficial porque se pasa más tiempo en contacto con la superficie, lo que acelera el proceso de infiltración; además, una fracción sustancial de la precipitación es absorbida por la cubierta vegetal. La profundidad y la densidad de las raíces, así como la capacidad de retener los nutrientes de las plantas, son cruciales a este respecto.

El escurrimiento: Debido a que el agua de lluvia se escurre de la tierra y se acumula en diferentes capas, las cabeceras de los ríos obtienen agua de las tres capas.

Método para determinar la recarga hídrica

Metodología para la determinación de áreas de recarga hídrica natural

Según Matus et al. (2007), esta técnica consiste en determinar qué ubicaciones son lugares privilegiados para la generación de energía hidroeléctrica natural en función de sus posibles contribuciones de recarga. Las áreas consideradas críticas son aquellas que, debido a sus características únicas, podrían ver disminuido su potencial de recarga si se someten a una manipulación inadecuada.

Para identificar áreas críticas que necesitan control natural de inundaciones, se deben tener en cuenta muchos factores. Estos incluyen geología, infiltración básica, inundación natural (capa anual), pendiente y vulnerabilidad. Cada área debe evaluarse usando criterios de todas las dimensiones relevantes, con valores numéricos asignados a cada unidad de mapa. La acumulación de estos proporcionará la clasificación bajo la cual caen estas regiones (Matus *et al.,* 2007),

Método de Recarga de Agua Subterránea (RAS)

Según Guest (2019) esta metodología agrupa los factores biofísicos y climáticos (precipitación, evaporación) que influyen en el proceso de recarga en tres categorías: tipo de suelo, uso del suelo y pendiente. Estos factores son luego reclasificados usando los coeficientes dados por la metodología. Esta técnica se basa en una ecuación mediante la cual la recarga de aguas subterráneas se calcula multiplicando un

coeficiente climático, obtenido mediante la realización de un balance hídrico climático, por un coeficiente de infiltración.

Herramientas SIG en la identificación de zonas de recarga hídrica

Los sistemas de gestión y análisis de datos geográficamente referenciados se conocen como sistemas de información geográfica (SIG). Su principal beneficio es que permite la adquisición de nueva información mediante la combinación o superposición de mapas, lo que a su vez brinda una visión holística y completa de los factores de interés en una investigación (Chamorro y Rosales, 2016).

Calidad de agua

La calidad del agua se ve afectada por factores tanto naturales como antropogénicos, siendo particularmente significativos los cambios climáticos, geológicos, hidrológicos y forestales, así como la deforestación, la contaminación de los recursos hídricos y el uso inadecuado de la tierra (Chamorro y Rosales, 2016).

Parámetros de calidad de agua

Oxígeno disuelto

Uno de los indicadores más significativos de la calidad del agua es la cantidad de oxígeno disuelto presente. El rango usual es entre 7.0 y 8.0 mg L-1, y encontramos que el aire es la principal fuente de oxígeno, el mismo gas se dispersa rápidamente en el agua debido a la presencia de turbulencia en los ríos y viento en los lagos (Roldán, 2003).

Turbidez

La cantidad de turbidez determina cuánta oscuridad crean las partículas suspendidas en el agua. Dado que los materiales responsables de la turbidez también son responsables de impartir color, la concentración de la sustancia estabiliza la claridad del agua al limitar la transmisión de la luz (Roldán, 2003).

Potencial de hidrógeno (pH)

Los parámetros de este indicador se definen como el logaritmo de la inversa de la densidad de los átomos de hidrógeno. El corredor de densidad suficiente para la proliferación y el avance de la vida acuática es estrecho y crucial (Roldán, 2003).

Conductividad eléctrica

Es una forma de cuantificar qué tan bien conducen la electricidad diferentes mezclas de líquidos. La presencia de iones, su valencia y concentración juegan un papel en la determinación de esta cualidad. El cambio de conductividad proporciona datos sobre la productividad primaria y la descomposición de la materia orgánica, lo que a su vez ayuda a identificar las fuentes del cambio (Roldán, 2003).

Temperatura

Dentro de los territorios tropicales, las temperaturas fluctúan ampliamente con el cambio de las estaciones; en los territorios tropicales, el calor se mantiene con diversos grados de persistencia; y en las altas elevaciones sobre el nivel del mar, el frío persiste durante todo el año. Temperaturas más altas significan menos solubilidad, o lo contrario. Cuando la temperatura de una masa de agua se reduce de 25 grados centígrados a cero grados centígrados, la solubilidad puede aumentar hasta en un 40 por ciento (Roldán, 2003).

Sólidos totales

Es fundamental recalcar que el contenido de sólidos totales es la sustancia que se desarrolla como residuo después de someter el agua a un desarrollo de evaporación entre 103 y 105 °C. Los sólidos totales incluyen piezas suspendidas y rotas.

Índice de calidad del agua

El índice de calidad de agua (ICA) toma como referencia la integración de diversos parámetros, que nos ayudan a determinar en qué estado se encuentra un cuerpo hídrico. El ICA nos permite transmitir información mediante símbolos, colores y números, a la vez que es muy fácil la interpretación de la calidad de un cuerpo de agua (Fernandez, 2005).