

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

**“DISEÑO DE UN SISTEMA PILOTO DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE
PARA LA REDUCCIÓN DE PLOMO EN LA POBLACIÓN DE LIMONCOCHA”**

Realizado por:

KAREN ESTEFANIA ZANAFRIA EGAS

Director del proyecto:

Magíster. Emma Ivonne Carrillo Paredes

Como requisito para la obtención del título de:

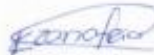
INGENIERIA AMBIENTAL

Quito, 29 de enero del 2018

DECLARACION JURAMENTADA

Yo, KAREN ESTEFANIA ZANAFRIA EGAS, con cédula de identidad # 1723128300, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado 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.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



1723128300
FIRMA Y CEDULA

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

**"DISEÑO DE UN SISTEMA PILOTO DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE
PARA LA REDUCCIÓN DE PLOMO EN LA POBLACIÓN DE LIMONCOCHA"**

Realizado por:

KAREN ESTEFANIA ZANAFRIA EGAS

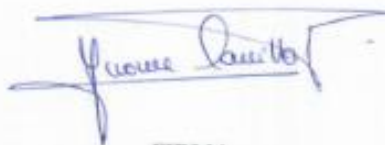
como Requisito para la Obtención del Título de:

INGENIERIA AMBIENTAL

ha sido dirigido por la profesora

EMMA IVONNE CARRILLO PAREDES

quien considera que constituye un trabajo original de su autor



FIRMA

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

MIGUEL MARTINEZ-FRESNEDA

WALBERTO GALLEGOS

Después de revisar el trabajo presentado,
lo han calificado como apto para su defensa oral ante
el tribunal examinador



FIRMA



FIRMA

DEDICATORIA

A mi hermana, pues ella es el principal cimiento para la construcción de mi vida profesional,
sentó en mí las bases de responsabilidad y deseos de superación, y por ser mi mejor amiga.

A mis padres, a quienes me han apoyado, por ser mi fortaleza en mis momentos de debilidad
y por brindarme una vida llena de mucho aprendizaje y motivación.

A mi abuelita, por estar siempre en los momentos importantes de mi vida, por ser mi ejemplo
a seguir adelante a pesar de las adversidades y por sus consejos. Gracias por su paciencia,
amor que me ha brindado y apoyo incondicional en mi vida.

AGRADECIMIENTO

Un especial agradecimiento a Ivonne Carrillo quien con su experiencia y sabiduría supo guiarme y aconsejarme en el desarrollo de este proyecto, y por ser más que una profesora una amiga.

A todos los profesores de la Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, quienes siempre estuvieron prestos para resolver cualquier inquietud y compartir su sabiduría y consejos.

A mis padres, abuelos y tía, quienes me han dejado la mejor herencia el estudio, pues supieron guiarme y apoyarme de forma incondicional para superarme a diario y lograr mis metas y objetivos.

A mis amigos, que nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional y que hasta ahora seguimos siendo amigos, y por haberme apoyado en este trabajo.

Para ser sometido a:

To be submitted to:

**Diseño de un sistema piloto de tratamiento de agua potable para la
reducción de plomo en la población de Limoncocha**

Pilot drinking water treatment system for lead reduction in Limoncocha

Karen Zanafria¹ & Ivonne Carrillo Paredes²

¹Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, Quito,
Ecuador. Email: kzanafria@gmail.com

²Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, Quito,
Ecuador. Email: emma.carrillo@uisek.edu.ec

- Autor de correspondencia: MsC. Ivonne Carrillo, emma.carrillo@uisek.edu.ec

Titulo corto (Running title): Tratamiento de agua para disminuir plomo

Resumen

Las viviendas aledañas de la Reserva Biológica Limoncocha, ubicada en la provincia de Sucumbíos, cantón Shushufindi, en su mayoría no disponen del servicio de agua potable, por lo que se ven obligados a tomar el agua de varias fuentes naturales como: aguas subterráneas, quebradas, vertientes naturales y agua lluvia. Mediante análisis fisicoquímicos de las muestras de agua del barrio Pachakutik, casa comunal, escuela y de la Estación Científica de la Reserva Biológica de Limoncocha, se determinó que las concentraciones de plomo superan el límite máximo permisible que dispone la norma NTE-INEN: 1108-2014. El consumo de este metal puede bloquear la síntesis de hemoglobina y altera el transporte de oxígeno a la sangre y hacia los demás órganos del cuerpo. Por esta razón, el objetivo del presente proyecto es proponer un sistema piloto de tratamiento de agua para la comunidad de Limoncocha, el mismo que contará con un proceso de disminución de la concentración de plomo, mediante la aplicación del ácido etilen-diamino-tetra-acético (EDTA), que actúa como agente quelante de dicho metal, con el fin de cumplir con la normativa de agua potable (NTE-INEN:1108-2014), y el agua de consumo de la comunidad sea de buena calidad y libre de metales pesados. La metodología a utilizar consiste en la realización de pruebas de laboratorio para la optimización del EDTA en la disminución del plomo, seguido por el flujograma del sistema de tratamiento de agua. Las muestras de agua serán sometidas a análisis de plomo, antes y después del tratamiento químico a nivel de laboratorio, una vez optimizado el tratamiento se procede al diseño del filtro, el mismo que de ser construido, brindará una opción para que los habitantes de la comunidad mejoren su calidad de vida, evitando el consumo y acumulación de plomo en el organismo.

Palabras clave: Plomo, tratamiento de agua, EDTA, Limoncocha.

Abstract.

The households around the Limoncocha Biological Reserve, located in the Sucumbios Province, Shushufindi canton, do not have access to drinking water. Hence, to fulfill their consumption necessities, the dwellers have opted to use a variety of natural water sources including: underground water, ravines, natural springs and rain water. By the means of physicochemical analysis of water samples Pachakutik neighborhood, , school and Limoncocha Biological Reserve, it was determined that the lead concentrations exceeded the maximum permissible limit given by the NTE-INEN: 1108-2014 standard. Exposure to this metal can block hemoglobin synthesis and alter the transport of oxygen to the blood and body organs. Due to this fact, this project's objective is to show a system of a water treatment method using ethylene-diamino-tetra-acetic acid (EDTA) in order to reduce the lead concentration to fulfill the water legislation. The methodology used in the project entails laboratory tests of the treatment system to confirm the reduction of lead. The water samples were subjected to lead analysis before and after the laboratory test with the purpose of proving that the system works properly. Then, the normative requirements are accomplished and an option to avoid lead accumulation in the population of Limoncocha is given.

Key words: Lead, water treatment, EDTA, Limoncocha.

INTRODUCCION

Las fuentes de agua en cuanto a porcentajes de abastecimiento total en todas sus formas, constituyen una provisión fija de 1500 millones de km^3 . Sin embargo, con este valor tan alto, hace difícil entender el porqué de la escasez de este recurso en muchos lugares alrededor del mundo. Por tanto, al considerar el agua que está realmente disponible para el uso, esta se reduce de forma drástica, ya que aproximadamente el 92.7% de la provisión mundial de agua se encuentra en océanos y el 2.8% restante es agua dulce. Pero más del 75% de agua dulce se encuentra en los bancos de hielo polares, en el suelo, en formaciones rocosas y en la atmósfera, lo cual deja menos del 25% disponible como agua superficial y subterránea. Desafortunadamente, el acceso a más del 99% de esta agua de superficie y subterránea no es fácil, y la población mundial solo depende del 0.6% que está disponible para abastecerse, esto representa aproximadamente el 0.004% del total del agua del planeta (Barba, 2002).

Además se conoce que el agua dulce de alta calidad es limitada, es por eso la necesidad de una gestión integral con este recurso, donde se encuentren involucrados todos los usuarios del agua y este manejo debe ser efectivo, ya que se debe asegurar el uso correcto de los recursos hídricos disponibles, previniendo la contaminación y reducir los conflictos que se generan por el acceso al agua dulce (Helmer, 2003).

La contaminación del recurso hídrico puede ser por causas naturales o antropogénicas. Normalmente, las fuentes de contaminación naturales son muy dispersas y no provocan concentraciones altas de polución, excepto en algunos lugares muy específicos. Por otro lado, la contaminación de origen humano, se genera en zonas concretas y para la mayor parte de los contaminantes, es mucho más peligrosa que la natural (Barba, 2002).

La contaminación de aguas subterráneas se produce cuando los contaminantes llegan al suelo hasta llegar al nivel freático; debido al movimiento del agua y su dispersión dentro

del acuífero, los contaminantes se difunden en un área mayor contaminando el agua de pozos, sistemas hídricos superficiales y en general las fuentes de agua. En el Ecuador se puede observar este tipo de contaminación en las provincias de Manabí, Orellana, Sucumbíos y Pichincha. A este problema se suma la falta de atención al servicio de agua potable, lo cual tiene como consecuencia varias enfermedades debido a la mala calidad de agua. También este problema incrementa la vulnerabilidad a las poblaciones más pobres y así disminuye la posibilidad de un mayor desarrollo (CEPAL).

La comunidad de Limoncocha ubicada en el nororiente ecuatoriano en la provincia de Sucumbíos, cantón Shushufindi; desde su creación ha tenido un alto índice de necesidades básicas insatisfechas debido al difícil acceso y la poca atención por parte del Estado (GADPR Limoncocha, 2015). En esta zona solo 6 viviendas (10%) de 63 inspeccionadas tienen acceso a agua potable por tubería, mientras que el resto de la población se debe abastecer de agua de otras fuentes como: aguas subterráneas, cisternas, quebradas, vertientes naturales y agua lluvia para cubrir sus necesidades (Ortega, 2017).

Debido a las necesidades básicas insatisfechas, la población de la parroquia rural Limoncocha, tiende a enfermarse principalmente de parasitosis intestinal, rinofaringitis, infección de vías urinarias, cólicos y diarrea, amigdalitis, faringitis aguda, vaginitis aguda, y anemias, ya que el 26,2% de los hogares tienen acceso a la red pública de agua potable, el 43% la obtienen de pozos subterráneos, el 19,6% recogen de ríos de la zona, el 0,09% la consigue a través del carro repartidor de agua y el 11% consumen agua de lluvia. Estas enfermedades también se generan por el déficit de eliminación de excretas, acompañada por una mala educación en el manejo de desechos orgánicos y malos hábitos de higiene intradomiciliaria (GADPR Limoncocha, 2015).

A estas razones se suma las concentraciones de plomo detectadas de las fuentes de agua de esta zona que superan el límite máximo permisible (LMP), que indica la normativa vigente de agua potable (NTE INEN 1108:2014), por lo tanto la calidad de agua de estas fuentes no es apta para el consumo humano. El plomo es un elemento químico que se encuentra en la litosfera, y su mayor concentración se halla en el mineral denominado galena, los depósitos de plomo por acción de la erosión eliminan plomo, por lo que de esta manera la hidrosfera adquiere o se convierte en una fuente natural del plomo. Otra fuente importante de plomo en la atmosfera es la generada por las expulsiones de la lava meteórica, cuerpos que producen gran cantidad de partículas y aerosoles, todas estas cantidades de plomo se consideran como fuentes naturales ya que no interviene de forma directa o indirecta la acción del hombre (Ubillos, 2003).

De acuerdo a McFarland & Dozier (1997), el plomo puede acumularse en el cuerpo en lugares como huesos, dientes, hígado, pulmones, riñones, cerebro y el bazo; puede atravesar la barrera hematoencefálica y la placenta causando envenenamiento, esta intoxicación se la conoce como saturnismo, consiste en el bloqueo de la síntesis de hemoglobina y la alteración del transporte de oxígeno a la sangre y hacia los demás órganos del cuerpo, también se presentan consecuencias como afectaciones al sistema nervioso (Corzo & Velásquez, 2014). Los síntomas que se presentan por el envenenamiento de este metal son: cansancio, agitación, falta de apetito, estreñimiento, dolores de cabeza, cambio repentino de conducta, vómitos y pérdida del oído.

Durante el embarazo, el plomo puede cruzar la barrera placentaria, lo que presenta efectos graves en la madre y en el desarrollo del feto, como crecimiento limitado o nacimiento prematuro (EPA, 2017).

Los niños, bebés y fetos son los más vulnerables al plomo, dado que los efectos físicos y de comportamiento del plomo se producen en menores niveles de exposición en los niños que en los adultos, es decir una dosis de plomo que afectaría poco a un adulto puede producir un efecto significativo en un niño. En los niños los bajos niveles de exposición pueden causar daños en el sistema nervioso central y periférico, problemas de aprendizaje, de crecimiento, discapacidad auditiva, problemas de formación y función de los glóbulos (EPA 2017).

La EPA (2017) estima que el agua potable puede representar el 20% o más del total de la exposición al plomo de una persona. En los bebés que consumen en su mayoría leche hecha con agua, el agua potable puede representar del 40 % al 60 % de su exposición al plomo.

Por esta razón, el objetivo del presente proyecto es diseñar un sistema piloto de tratamiento de agua, para dotar de un suministro de agua de calidad a la población de Limoncocha, basado en el uso de EDTA, el cual será evaluado mediante pruebas de laboratorio donde se analizará la disminución del plomo en el agua. Complementándose con un flujograma del proceso de tratamiento del agua donde se brinda prioridad al complejamiento en el proceso de filtración.

El EDTA es un agente quelante que realiza una reacción de complejamiento, atrapando el plomo dentro de la molécula y haciendo que este se vuelva una sustancia inerte. Un quelato es un compuesto químico en el que una molécula orgánica rodea y se enlaza por varios puntos a un ion metálico, de manera que lo protege de cualquier acción desde el exterior evitando su hidrólisis y precipitación. Por tanto, químicamente hablando, los quelatos son moléculas muy estables (Cadahia, 2005).

El proceso de quelatación es la habilidad de un compuesto químico para formar una estructura en anillo con un ion metálico que se presenta, inicialmente, en una forma altamente hidratada, de tal forma que se constituye en una estructura de anillo orgánico. La molécula

resultante de esta interacción, es decir a la cual se le reemplazo el agua se la llama "ligando" (Tapia, 2017), resultando en un compuesto con propiedades químicas diferentes a las del metal original. El quelante impide que el metal siga sus reacciones químicas normales (Knepper, 2003).

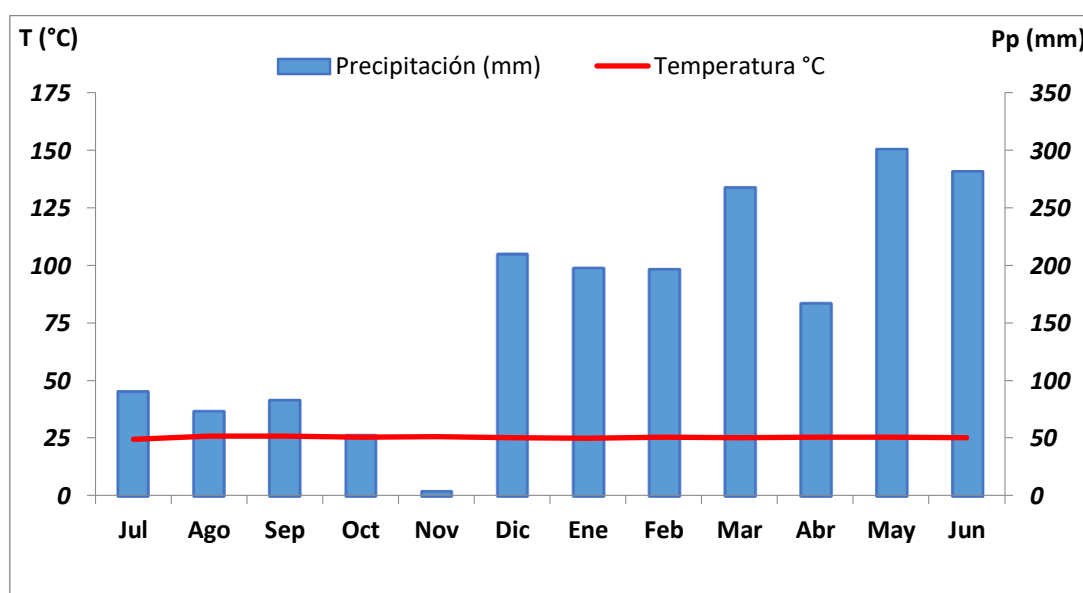
MATERIALES Y METODOS

AREA DE ESTUDIO

El área de muestreo para el proyecto es la comunidad aledaña de la Reserva Biológica de Limoncocha, la cual se encuentra ubicada en la parroquia rural de Limoncocha en el nororiente ecuatoriano, en la provincia de Sucumbíos, cantón Shushufindi. Según SIGAGRO (2008), en Limoncocha se presentan anualmente precipitaciones mínimas de 2.850 a 2.900mm y las máximas precipitaciones ocurren en el rango de 3.200 a 3.400mm.

En la ilustración 1, se presenta un climograma del periodo diciembre 2016 a noviembre 2017 con los datos obtenidos de la estación meteorológica de la Reserva Biologica de Limoncocha, donde se indican las precipitaciones y temperaturas correspondientes, en este se visualiza claramente la época lluviosa correspondiente a diciembre a junio, y desde julio a noviembre se considerará época sin lluvia pero con alta humedad. El muestreo para el presente proyecto se realizó en el mes de octubre el cual corresponde a la época menos lluviosa.

Ilustración 1: Climograma



MÉTODO DE CAMPO

Para el presente proyecto se realizó el muestreo en cuatro puntos de la comunidad para conocer el estado del agua de consumo, además en el punto de muestreo número 1 se midió el caudal. Es importante, mencionar que tanto la conservación como el transporte de las muestras se realizaron bajo la normativa aplicable.

En la tabla 1 se presenta los cuatro puntos de muestro con su descripción.

Tabla 1 Puntos de Muestreo

Muestra	Descripción de la muestra	Coordenadas	Altura (msnm)
1	Pozo en el barrio Pachakutik	18M 0319277 UTM 9954282	238
2	Agua subterránea (Casa comunal)	18M 0319491 UTM 9954560	254
3	Colegio	18M 0319440 UTM 9954758	248

4	Estación de RBL	18M 0319658 UTM 9955360	248
---	-----------------	-------------------------	-----

MÉTODOS DE LABORATORIO

Las muestras de agua fueron analizadas en los laboratorios de la Facultad de Ciencias Ambientales y Naturales, donde se realizó la medición de la concentración de plomo, así como de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que establece la norma técnica INEN 1108. La metodología que se utilizó para el análisis de las muestras se basa en los métodos del Manual de laboratorio del Standard Methods, ya que la norma técnica INEN 1108 especifica que los análisis de agua deben estar de acuerdo a dicha metodología.

Para la prueba de laboratorio se utilizan tres filtros descendentes donde el lecho filtrante es de 50 gramos, este está compuesto por una capa de arena con diferentes concentraciones de EDTA como se indica en la tabla 2, las cuales fueron determinadas de forma experimental. Se filtran 100 mL de agua de 1000 ppb de concentración de plomo, al terminar la prueba de filtración se mide la concentración de plomo del agua de las 3 pruebas. Esta prueba se realiza con el objetivo de conocer el valor óptimo de EDTA para disminuir la concentración de plomo a 0,01mg/L en las 4 muestras de campo.

Tabla 2 Concentraciones de EDTA y arena

Prueba	Arena (gr)	EDTA (gr)
1	49	1
2	45	5
3	40	10

Fuente: Autor

RESULTADOS

MÉTODO DE CAMPO

En el punto de muestreo 1, se midió tres veces el caudal para conocer si se podría aplicar el sistema de tratamiento propuesto en el presente proyecto. Con estos datos se calculó el promedio y su desviación estándar como se indica en la tabla 3. Estos valores indican que el caudal de campo en la época menos lluviosa sería aproximadamente de 0,38 L/s, y la desviación estándar es de 0,05, la cual se considera un valor bajo por los valores de las tres pruebas de campo se encuentran alrededor de la media.

Tabla 3 Caudales

	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
1	1	2,64	0,38
2	1	2,34	0,42
3	1	3,01	0,33
Promedio Q (L/s):			0,38
Desviación estándar:			0,05

MÉTODOS DE LABORATORIO

Se analizaron los parámetros físicos, químicos y microbiológicos de las cuatro muestras antes del tratamiento, para conocer el estado del agua de la zona, y se compararon los resultados con los límites máximos permisibles (LMP) de la NTE INEN: 1108-2014.

Tabla 4 Resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos

Parámetro	Unidades	LMP (INEN: 1108)	Muestra			
			1	2	3	4
Fisicoquímicos						
Turbidez	NTU	5	0,00333	0,025	0,163	0
Color	Pt-Co	15	0	30,5	29	0
Cloro residual libre	mg/L	0.3 - 1,5	0	0,2	0,045	0,015
Niquel Ni	mg/L	0,07	0,011	0	0	0,036
Nitratos NO3	mg/L	50	3,9	4,2	1,05	5,25
Nitritos NO2	mg/L	3	2,8	0	2,5	0,5
Plomo Pb	ppb	10	22	27,3	52	86,3
Sulfatos	mg/L	500	1,85	1,95	1,25	2,1

Microbiológicos						
Coliformes	UFC	<1	10	0	0	14

Fuente: Autor

Después las pruebas de los filtros se obtuvieron los resultados que se indican en la tabla 5, donde se observa las concentraciones de arena y EDTA que forman el lecho filtrante, los valores de plomo inicial y final con su porcentaje de reducción, lo cual nos lleva a conocer el valor óptimo de EDTA y arena para aplicar en el diseño del tratamiento químico propuesto.

Tabla 5 Valores de reducción de plomo por EDTA

Prueba	Arena (gr)	EDTA (gr)	Pb inicial (ppb)	Pb final (ppb)	Porcentaje de reducción $\frac{Pbi - Pbf}{Pbi} * 100$
1	49	1	1000	18	98,2
2	45	5	1000	20	98
3	40	10	1000	22	97

Fuente: Autor

Se observa que en la prueba 1 se tiene el porcentaje de mayor disminución de plomo, por lo tanto este valor será considerado óptimo para definir el porcentaje de EDTA (2%) que se debe utilizar en el lecho filtrante para reducir la concentración de plomo y cumplir con la normativa vigente de agua potable, como se indica en la tabla 6.

Tabla 6 Valor óptimo de EDTA en las muestras de campo

Lugar	Muestra	Pb inicial (ppb)	Pb LMP INEN1108 (ppb)	Pb a disminuir		EDTA a utilizar %
				(ppb)	(%)	
Barrio Pachakutik	1	22	10	12	54,55	1,11
Casa comunal	2	27	10	17	62,96	1,28
Colegio	3	52	10	42	80,77	1,64
RBL	4	83	10	73	88,37	1,79

Fuente: Autor

Con el valor óptimo de EDTA a aplicar, se considera la concentración de plomo en las muestras de campo respecto al límite máximo permisible de la norma NTE-INEN: 1108-2014, para conocer la cantidad de EDTA que se debe utilizar para cumplir con la normativa.

Con los resultados de laboratorio se realiza el diseño del filtro lento descendente para brindar el sistema piloto de tratamiento de disminución de plomo para el agua potable.

PERÍODO DE DISEÑO

El periodo de diseño es el tiempo para el cual el sistema de agua potable será planeado y durante este tiempo establecido funcionará de manera adecuada. La vida útil para el sistema de abastecimiento de agua potable será de 20 años, como indica la Norma de Diseño para Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, Disposición de Excretas y Residuos Líquidos en el Área Rural.

POBLACIÓN DE DISEÑO

Para el cálculo de la población futura se tomaron los datos del censo realizado por Ortega (2017), donde indica que la población aledaña a la Reserva Biológica de Limoncocha actual es aproximadamente de 348 habitantes y el índice poblacional es 1,5% como lo recomienda la Norma de Diseño para Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, Disposición de Excretas y Residuos Líquidos en el Área Rural, la cual también indica valores establecidos para el diseño. A continuación, se observa la fórmula de proyección geométrica, la cual va definir la población futura para el diseño de la planta de potabilización de agua.

$$Pf = Pa \times (1 + i)^n$$

Ecuación 1

Dónde:

Pf: Población futura

Pa: Población actual

i: Índice de crecimiento poblacional

n: Periodo de diseño/ vida útil

$$Pf = 348 \text{ habitantes} \times (1 + 0,015)^{20}$$

$$Pf = 469 \text{ habitantes}$$

DOTACIÓN

Las necesidades de producción o carga requerida para satisfacer las necesidades de la población de la parroquia Limoncocha y otros requerimientos, se fijará de acuerdo a los niveles de servicio que se defina y a su clima, en este caso se proyectará para el nivel IIa: Conexiones domiciliarias, con un grifo por casa; donde la dotación de agua es de 85 L/hab*día. Para este nivel el factor de fugas que se debe considerar es del 20%.

CAUDALES DE DISEÑO

Para la determinación de los caudales de diseño se considera las variaciones de consumo de la población de Limoncocha, como se indica a continuación:

Consumo medio diario

$$Qm = f \times (Pf \times D)/86400$$

Ecuación 2

Dónde:

Qm: Consumo medio diario

D: Dotación media futura

Pf: Población futura

f: Factor de fugas

$$Q_m = \frac{0,2 * 468hab * 85 \frac{L}{hab * día}}{86400}$$

$$Q_m = 0,55 \frac{L}{s}$$

Consumo mayor diario

$$QMD = KMD \times Q_m$$

Ecuación 3

Dónde:

QMD: Consumo mayor diario

KMD: Coeficiente de variación diaria (1,25)

Qm: Consumo medio diario

$$QMD = 1,25 \times 0,55 L/s$$

$$QMD = 0,69 L/s$$

Consumo máximo horario

$$QMH = KMH \times Q_m$$

Ecuación 4

Dónde:

QMH: Consumo máximo horario

KMH: Coeficiente máximo horario (3)

Qm: Consumo medio diario

$$Q_{MH} = 3 \times 0,55 \text{ L/s}$$

$$\mathbf{Q_{MH} = 1,66 \text{ L/s}}$$

Caudal de diseño

Para la captación de agua en las fuentes hídricas se recomienda realizar mediante bombeo, para esto se necesita calcular su caudal como se indica a continuación:

$$Q_b = 1,05 * Q_{MD}$$

Ecuación 5

Dónde:

Q_b: Caudal de bombeo

Q_{MD}: Caudal máximo diario

$$Q_b = 1,05 * 0,691$$

$$Q_b = 0,73 \text{ L/s}$$

Para el diseño se debe considerar el almacenamiento donde la capacidad debe ser el 50% del volumen medio diario futuro, por lo tanto, el caudal de diseño para el filtro por gravedad descendente es:

$$Q_d = 0,5 * Q_b$$

Ecuación 6

Dónde:

Q_d: Caudal de diseño

Q_m: Caudal medio diario

$$Q_d = 0,5 * 0,73 \text{ L/s}$$

$$Qd = 0,28 \text{ L/s}$$

$$Qd = 23,87 \text{ m}^3/\text{d}$$

DISEÑO DEL FILTRO LENTO DESCEDENTE

A continuación se presentan los cálculos realizados para el diseño del sistema de tratamiento por filtración lenta. En la siguiente tabla se presentan datos establecidos por la Norma de diseño para sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural (CO 10.7):

Tabla 7 Datos de diseño

Parámetro	Nomenclatura	Valor	Unidades
Velocidad de filtración	V_F	2,4	$\text{m}^3/\text{m}^2/\text{d}$
Numero de filtros	N	2	-
Porcentaje de caudal extra de perdida de lavado	% Lavado	0,65	%
Ancho mínimo de cada filtro	S_F	2	M
Velocidad en los tubos de recolección	V_d	0,3	m/s
Espaciamiento	-	2	M

Fuente: Autor

Caudal de diseño del filtro (Qdf)

$$Qdf = \frac{Qd}{\% \text{ Lavado}}$$

Ecuación 7

$$Qdf = \frac{23,87 \text{ m}^3/\text{d}}{0,65}$$

$$Qdf = 36,72 \text{ m}^3/\text{d}$$

Área de filtración (A_T)

$$A_T = \frac{Qdf}{V_F}$$

Ecuación 8

$$A_T = \frac{36,72 \text{ m}^3/d}{2,4 \text{ m}^3/\text{m}^2/d}$$

$$A_T = 15,30 \text{ m}^2$$

Área de cada filtro (A_F)

$$A_F = \frac{A_T}{N}$$

Ecuación 9

$$A_F = \frac{15,30 \text{ m}^2}{2}$$

$$A_F = 7,32 \text{ m}^2$$

Largo del filtro (L_F)

$$L_F = \frac{A_F}{S_F}$$

Ecuación 10

$$L_F = \frac{7,32 \text{ m}^2}{2 \text{ m}}$$

$$L_F = 3,83 \text{ m}$$

Caudal unitario de cada filtro (Q_i)

$$Q_i = \frac{Qd}{N}$$

Ecuación 11

$$Q_i = \frac{23,87 \text{ m}^3/d}{2}$$

$$Q_i = 11,93 \text{ m}^3/d$$

Drenes longitudinales (Ndren)

$$Ndren = \frac{Sf}{\text{espaciamiento}}$$

Ecuación 12

$$Ndren = \frac{2 \text{ m}}{2 \text{ m}}$$

$$Ndren = 1$$

Área dren principal (Adren)

$$Adren = \frac{Q_i}{\frac{Ndren}{vd}}$$

Ecuación 13

$$Adren = \frac{11,93 \text{ m}^3/d}{\frac{1}{0,3 \text{ m/s}}}$$

$$Adren = 0,00046 \text{ m}^2$$

Diámetro del dren principal (Ddren)

$$Ddren = \left(\frac{4 * Adren}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Ecuación 14

$$Ddren = \left(\frac{4 * 0,00046 \text{ m}^2}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$Ddren = 24,21 \text{ mm} \rightarrow 25 \text{ mm}$$

Dren lateral (ndren)

$$ndren = \frac{Lf}{espaciamiento}$$

Ecuación 15

$$ndren = \frac{3,83 \text{ m}}{2 \text{ m}}$$

$$ndren = 0,91 \rightarrow 1$$

Área de dren lateral (*adren*)

$$adren = \frac{Qi}{\frac{ndren}{vd}}$$

Ecuación 16

$$adren = \frac{11,93 \text{ m}^3/d}{\frac{1}{0,3 \text{ m/s}}}$$

$$adren = 0,0005 \text{ m}^2$$

Diámetro dren lateral (*Dsec*)

$$Dsec = \left(\frac{4 * adren}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Ecuación 17

$$Dsec = \left(\frac{4 * 0,0005 \text{ m}^2}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$Dsec = 25,35 \text{ mm} \rightarrow 25 \text{ mm}$$

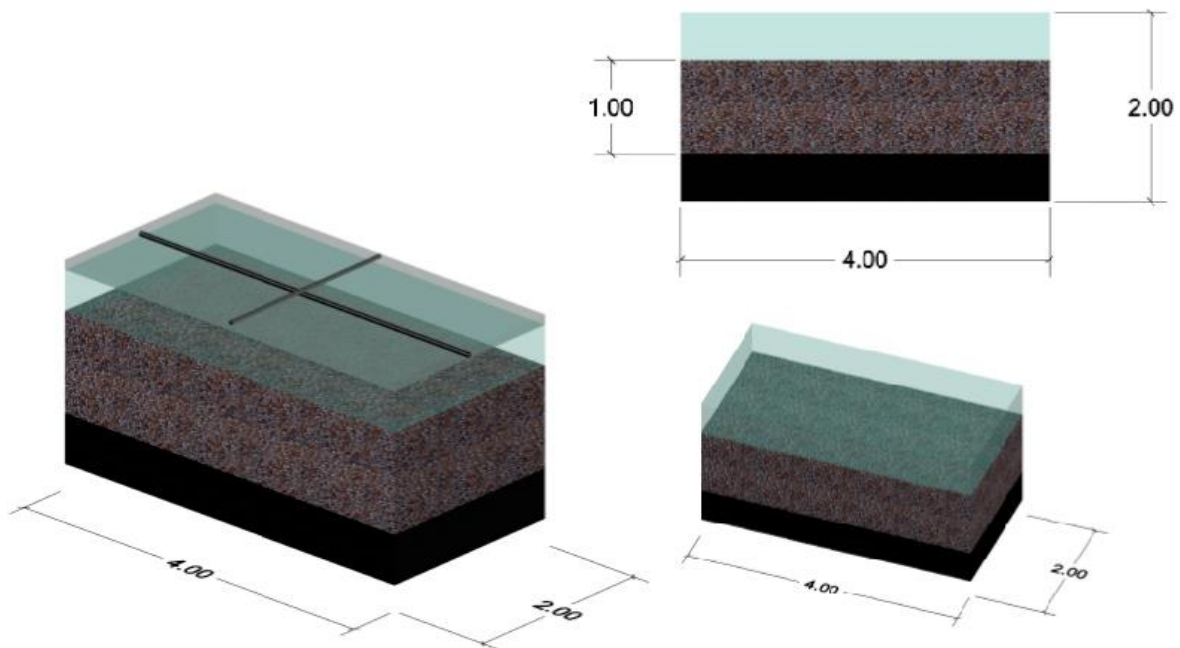
Por lo tanto, el filtro que se recomienda para el tratamiento de disminución de plomo es de las siguientes medidas:

Tabla 8 Dimensiones del filtro

Parámetro	Valor (m)
Largo	4

Altura	2
Ancho	2

Ilustración 2. Filtro



Fuente: Autor

DISCUSION

De acuerdo al caudal que se midió en campo en el punto de muestreo número 1, este es menor al caudal que el filtro necesita para su funcionamiento, por lo tanto se deberá buscar otra fuente hídrica que cumpla con el caudal de diseño o se debería unir caudales para que pueda funcionar adecuadamente el filtro.

Por esta razón se plantea la cantidad de EDTA que se debería aplicar para la suma de las concentraciones de plomo de los cuatro puntos analizados y así cumplir con la normativa vigente de agua potable. En la tabla 9. se puede observar la cantidad de EDTA necesaria para esta hipótesis. Se observa que la concentración de plomo es de 117ppb por lo tanto en el lecho filtrante de arena se debería aplicar 1,93% de EDTA. La cantidad de EDTA a utilizar en el lecho filtrante del diseño realizado es de 188,34 kg de EDTA y 9570,66 kg de arena.

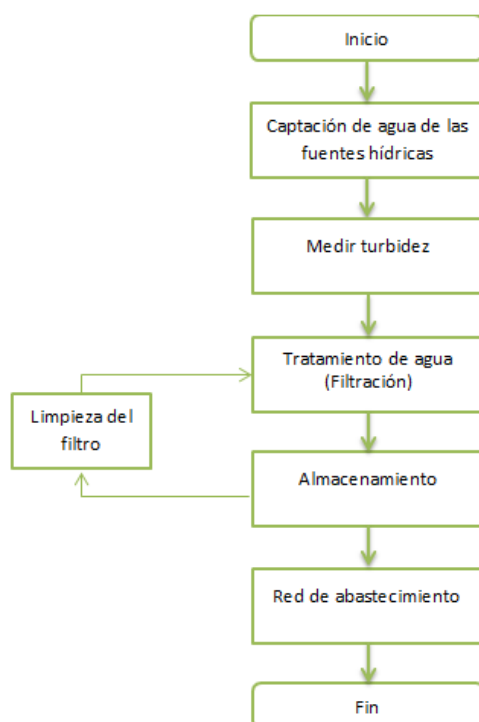
Tabla 8 Valor de EDTA para la suma de concentraciones de Pb

Muestra	Pb inicial (ppb)	Pb LMP INEN1108 (ppb)	Pb a disminuir		EDTA a utilizar %
			(ppb)	(%)	
Pb total de las 4 muestras	187	10	177	94,65	1,93

FLUJOGRAMA

En la ilustración 3 se observa el flujograma del sistema de tratamiento que se propone en el presente proyecto.

Ilustración 3 Flujograma de sistema de tratamiento



El sistema de tratamiento propuesto empieza con la captación de agua de una o más fuentes hídricas, donde se debe controlar parámetros fisicoquímicos especialmente turbidez y plomo antes del proceso de tratamiento, las fuentes hídricas también deben cumplir con el caudal de diseño del presente proyecto. Se continua con un tratamiento de agua por filtración lenta descendente en donde se aplicara el proceso de quelación mediante la combinación de

EDTA y arena en el medio filtrante para disminuir las concentraciones de plomo (Pb) y así cumplir con la norma INEN:1108, luego se complementará con un tratamiento de desinfección de bacterias, a continuación se debe colocar un punto de control de turbidez y plomo en la entrada y salida del tratamiento para conocer el funcionamiento de este, y especialmente controlar si se debe realizar mantenimiento del EDTA en el lecho filtrante. Inmediatamente se necesita un tanque de almacenamiento del agua tratada que se encuentre en altura, para que finalmente se pueda distribuir el agua a las viviendas de la comunidad de Limoncocha por gravedad (red de abastecimiento).

El proceso de limpieza del filtro se realizará mediante el proceso de retrolavado el cual consiste en que el agua tratada que se encuentra en el tanque de almacenamiento fluye hacia arriba o de forma ascendente en el filtro, levantando y expandiendo el lecho de arena y permitiendo que se libere la contaminación recolectada (Yardney Water Management Systems. Inc).

CONCLUSION

El tratamiento de agua para la disminución de plomo mediante la aplicación de EDTA en el lecho de arena de un filtro lento es aplicable como se demostró en las pruebas de laboratorio, por lo tanto, el proceso de quelación se cumplirá exitosamente y así el plomo no se acumulará en el organismo de las personas de Limoncocha, brindándoles así una opción para mejorar su calidad de vida ya que se disminuye las probabilidades de enfermedades causadas por el plomo.

De acuerdo a las pruebas de laboratorio de los filtros el porcentaje de EDTA que se debe aplicar en el lecho filtrante para disminuir la concentración de plomo para cumplir con la norma NTE-INEN: 1108-2014 es del 1,93% del lecho filtrante de arena.

Para la aplicación del sistema de tratamiento de agua por filtración se debe cumplir con el caudal de diseño, ya que para su cálculo se toma en cuenta la dotación necesaria para la

población, por lo tanto, no se puede desarrollar un sistema de tratamiento con un caudal menor al del diseño; debido a que este no llegaría a abastecer a la comunidad de Limoncocha o esta puede producir daños al método de tratamiento.

RECOMENDACIONES

De acuerdo a los análisis de laboratorio que se realizaron de las muestras de campo se conoce que se debe brindar un tratamiento de desinfección, pero este no puede ser mediante cloro debido a que rompería el proceso de quelación del plomo con el EDTA, por lo tanto se recomienda brindar un tratamiento por ozono o luz ultravioleta.

Se debe considerar, que al construir dos filtros por motivos de operación y mantenimiento, a estos se los puede utilizar simultáneamente dividiendo el caudal al 50%, y al momento de realizar el mantenimiento del filtro se puede conducir el caudal al 100% del filtro mientras se realiza la limpieza del otro filtro, y viceversa.

Se recomienda realizar un muestreo y su respectivo análisis de laboratorio, sumándole la medición de caudal de campo en la época más lluviosa de la zona para conocer el estado de las fuentes hídricas y el caudal de este periodo de tiempo. Especialmente saber la concentración de plomo en esta época.

Bibliografía

- Alvarado, P. (2013). Estudios y diseños del sistema de agua potable del barrio San Vicente, parroquia Nambacola, cantón Gonzanamá. Loja. Ecuador.
- ATSDR. (2017). Resúmenes de salud pública- Plomo (Lead). Recuperado de:
https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs13.html
- Carrillo, I. (2017). Proyecto de Vinculación de la Universidad Internacional SEK.
- CEPAL. (s.f.). Diagnóstico de la Estadística del Agua en Ecuador. Recuperado de:
<http://aplicaciones.senagua.gob.ec/servicios/descargas/archivos/download/Diagnostico%20de%20las%20Estadisticas%20del%20Agua%20Producto%20IIc%202012-2.pdf>
- Corzo, I & Velásquez, M. (2014). El plomo y sus efectos en la salud: 2. Recuperado de:
<http://www.medigraphic.com/pdfs/medicadelcentro/mec-2014/mec143x.pdf>
- EPA. (2017). Información básica sobre el plomo en el agua potable. Recuperado de:
<https://espanol.epa.gov/espanol/informacion-basica-sobre-el-plomo-en-el-agua-potable#efectos>
- G.A.D.P.R.Limoncocha. (2015). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial. Shushufindi.
- Hermer. R. (2003). Control de la contaminación del agua: guía para la aplicación de principios relacionados con la calidad del agua. Recuperado de:
http://www.who.int/water_sanitation_health/resourcesquality/watpolcontrol/es/
- MAGAP / SIGAGRO / GOBIERNO PROVINCIAL DE SUCUMBIOS, (2008). Plan de Ordenamiento Territorial. Memoria Técnica.
- McFarland, M. & Dozier, M. (1997). Problemas del agua potable: El plomo. EEUU. Recuperado de: <https://texaswater.tamu.edu/resources/factsheets/l5452slead.pdf>
- Secretaría del Agua. Norma de Diseño para Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, Disposición de Excretas y Residuos Líquidos en el Área Rural.
- OMS. (2017). Agua. Recuperado de: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs391/es/>
- OMS. (2017). Intoxicación por plomo y salud. Recuperado de:
<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs379/es/>
- Ortega, A. (2017). Deficiencia en servicios públicos y diversidad de vectores, como factores de riesgo en salud ambiental para la comunidad de Limoncocha: 41.
- Tapia, X. (2017). Aplicación de las reacciones de quelación para disminuir la contaminación por metales pesados en los sedimentos de la laguna de Limoncocha. 5.
- Uvillos, L. (2003). Estudio sobre la presencia del plomo en el medio ambiente de Talara. Recuperado de:
http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/Tesis/Ingenie/ubillus_lj/cap2.pdf

Walco. (1997). Guía actualizada y completa sobre el uso de quelatos. bogotá.

Yardney Water Management Systems, Inc, (s.f). Manual de instalación y operación.

Recuperado de:

<https://www.yardneyfilters.com/files/manuals/Sand%20Media%20and%20Deep%20Bed%20Sand%20Media/Irrigation%20Sand%20Media%20Instruction%20Manual%202017-Spanish.pdf>