



Estudio y rediseño de una planta potabilizadora de agua para consumo humano

Study and redesign of a drinking water treatment plant for human consumption

Estudo e redesenho de uma estação de tratamento de água potável para consumo humano

José Gerardo León-Chimbolema^I
gerardo.leon@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-9202-8542>

Rogel Alfredo Miguez-Paredes^{II}
rmiguez@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-5063-1474>

Sofía Carolina Godoy-Ponce^{III}
sofia.godoy@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-6479-4343>

Correspondencia: gerardo.leon@esPOCH.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 25 de abril de 2022 * **Aceptado:** 20 de mayo de 2022 * **Publicado:** 29 de Junio de 2022

- I. Doctor en Química, Máster en Protección Ambiental, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Ecuador.
- II. Ingeniero en Sistemas Informáticos, Magíster en Interconectividad de Redes. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Ecuador.
- III. Ingeniera en Biotecnología Ambiental, Máster Universitario en Gestión Ambiental y Energética en las Organizaciones, Magíster en Gestión del Desarrollo Local Comunitario, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Ecuador.

Resumen

Este artículo presenta el rediseño de un sistema de tratamiento de agua potable del Productos Limpios de la Empresa Pública de Hidrocarburos PETROECUADOR, en la ciudad de Riobamba que tuvo como objetivo cumplir con los requisitos hídricos de calidad para que sea apta para el consumo humano. A través de una metodología experimental, mediante un muestreo fisicoquímico y microbiológicos mediante métodos estándar que se analizaron en laboratorio fue posible determinar la dosis de Policloruro de Aluminio (PAC) de 15 ppm con un auxiliar aniónico CHEMFLOC 6 ppm, concentración necesaria para disminuir los valores del parámetro Turbiedad, además se utilizó Hipoclorito de Calcio (HTH), con una concentración de 1 ppm para eliminar los contaminantes microbiológicos. Se concluye que con el rediseño que consta de un sistema de aireación, seguido por un sedimentador de tasa alta, un filtro grueso, un filtro lento descendente, dos filtros ablandadores, y finalmente el tanque de desinfección se obtuvo una remoción del 92,80% en turbiedad; 78,87% en fosfatos; 84,00% en hierro; 98,19% en manganeso; 88,24% en dureza; mientras que los coliformes fecales, totales y los nitritos fueron removidos completamente.

Palabras clave: planta potabilizadora; diseño; agua tratada; consumo humano.

Abstract

This article presents the redesign of a drinking water treatment system of Productos Limpios of Empresa Pública de Hidrocarburos PETROECUADOR, in the city of Riobamba, with the objective of complying with the water quality requirements to make it suitable for human consumption. Through an experimental methodology, by means of a physicochemical and microbiological sampling using standard methods that were analyzed in the laboratory, it was possible to determine the dose of Aluminum Polychloride (PAC) of 15 ppm with an anionic auxiliary CHEMFLOC 6 ppm, concentration necessary to decrease the values of the Turbidity parameter, also Calcium Hypochlorite (HTH) was used, with a concentration of 1 ppm to eliminate the microbiological contaminants. It is concluded that with the redesign consisting of an aeration system, followed by a high-rate settler, a coarse filter, a slow descending filter, two softening filters, and finally the disinfection tank, a removal of 92.80% in turbidity was obtained; 78.87% in phosphates; 84.00% in iron; 98.19% in manganese; 88.24% in hardness; while fecal and total coliforms and nitrites were completely removed.

Key words: water treatment plant; design; treated water; human consumption.

Resumo

Este artigo apresenta o redesenho de um sistema de tratamento de água potável de Productos Limpios da Empresa Pública de Hidrocarburos PETROECUADOR, na cidade de Riobamba, com o objectivo de satisfazer os requisitos de qualidade da água para torná-la adequada ao consumo humano. Através de uma metodologia experimental, por meio de amostragem físico-química e microbiológica utilizando métodos padrão que foram analisados em laboratório, foi possível determinar a dose de 15 ppm de Policloreto de Alumínio (CAP) com um auxiliar aniónico CHEMFLOC 6 ppm, a concentração necessária para reduzir os valores do parâmetro Turbidez, e o Hipoclorito de Cálcio (HTH) foi utilizado com uma concentração de 1 ppm para eliminar contaminantes microbiológicos. Conclui-se que com o redesenho que consiste num sistema de aeração, seguido de um colonizador de alta taxa, um filtro grosseiro, um filtro de descida lenta, dois filtros amaciadores, e finalmente o tanque de desinfecção, foi obtida uma remoção de 92,80% em turbidez; 78,87% em fosfatos; 84,00% em ferro; 98,19% em manganês; 88,24% em dureza; enquanto os coliformes fecais, coliformes totais e nitritos foram completamente removidos.

Palavras-chave: estação de tratamento de agua; concepção; água tratada; consumo humano.

Introducción

El agua es un recurso indispensable y vital para la existencia de la vida en la tierra, aun así, este recurso ha sido afectado de manera gradual por el crecimiento de la población y la industrialización, que ha provocado que los recursos hídricos hayan experimentado contaminación y polución. Es así, que el elemento vital ha sufrido alteraciones en su forma natural y que conlleva que no son aptas para el consumo humano.

Para la Organización Mundial de la Salud (OMS), aquellos agentes patógenos contribuyen a un daño ambiental y es necesario un control urgente y de saneamiento del agua con el fin de evitar un incremento en las enfermedades relacionadas con la calidad del agua en sus diferentes etapas hasta llegar al consumidor y, por tanto, se vuelve necesario conocer cuáles son aquellas características fisicoquímicas y microbiológicas que debe cumplir el líquido vital (OPS, 2022)

De este modo, el agua potable es aquella que es apta para el consumo humano, ya que no contiene ningún riesgo de contraer enfermedades al ser bebida. Por lo general el uso fundamental del agua

es de consumo directo o actividades diarias. Dependiendo de cada país existen regulaciones que establecen las normas de calidad para considerar que el líquido vital es de calidad y seguro.

Es así que, someter a análisis el agua de manera adecuada facilita el conocimiento de la calidad del agua, y cumplir con un proceso de tratamiento y una estabilidad biológica en las redes de distribución. En cuanto a la contaminación del agua, las mismas se catalogan en suspendidas; que son aquellas de tamaño adecuado y puede tamizarse. Las coloidales y disueltas por su parte son más difíciles de ser eliminadas.

En cuanto a las aguas subterráneas, en sus características no presentan sabor, color y a simple vista ningún tipo de anomalía que se denote como impureza. Sin embargo, al realizar un recorrido pueden cambiar sus características. Entre los diferentes tipos de aguas subterráneas se encuentran: Agua freática: Es la que está contenida entre la superficie de la tierra y la primera capa, se encuentra en un lecho permeable en donde se mueve libremente y a la presión atmosférica; constituida por dos zonas una superficial llamada zona de aguas vadasas o zona de aireación y otra zona que continúa hasta el estrato impermeable que se llama zona de saturación. (Sánchez et al., 2015)

Agua artesiana: Se encuentra entre dos estratos impermeables, no se mueve libremente, encontrándose de forma recluida, con una presión diferente a la atmosférica. Esta agua puede aflorar formando manantiales o alimentando cursos de agua o lagos. Al escurrir por las diferentes capas de terreno entra en contacto con sustancias orgánicas e inorgánicas algunas de ellas muy solubles.

Manantiales: El agua subterránea que corre en la parte superior de un estrato impermeable puede salir a la superficie en forma de manantial. Las aguas de manantiales provenientes de estratos someros se verán más probablemente afectados por la polución superficial que las aguas profundas. Normalmente, la cantidad de agua que se obtiene en manantiales es limitada y, por tal motivo el aprovechamiento que se le da al agua se lo hace únicamente para poblaciones reducidas.

Pozos someros y galerías de filtración: Los pozos someros o de poca profundidad son los que se forman en depósitos superficiales de material permeable encima de un estrato impermeable. De un modo arbitrario, los pozos superficiales con más de 15 m de profundidad son calificados como profundos. Hay pozos someros de gran diámetro abiertos por excavación y los hay de pequeño diámetro abierto por perforaciones y utilizado mediante tubería. (Hernández, 2019)

Pozos profundos: Los pozos con mayor profundidad se cavan dependiendo de la composición y la ubicación de la zona. Frecuentemente atraviesan capas impermeables antes de alcanzar el estrato

acuífero deseado. Por lo general el lugar donde se realiza la extracción del agua para pozos con gran profundidad es muy grande, lo que significa que el agua subterránea tendrá que pasar por largas distancias y tendrá contacto directo con las formaciones rocosas y con la tierra; lo que quiere decir que las aguas provenientes de estos pozos poseen mayor cantidad de minerales. Las aguas de pozos profundos son totalmente limpias y sin color, pero contienen frecuentemente hierro o manganeso, o ambos. Cuando entran en contacto con el aire, las aguas que llevan hierro o manganeso, aunque su presentación estética sea impecable al salir de la tierra, se enturbian y se tiñen por óxidos de los minerales (González et al., 1986; Montenegro, 2017)

En cuanto a las propiedades de las aguas subterráneas al encontrarse en contacto con el suelo, que pasan inmóviles y en recirculación, desarrollan un equilibrio entre el agua y los minerales del suelo. En el caso de aguas que están en contacto con arcilla, toman una gran cantidad de sus minerales. Aunque las aguas subterráneas son bastante puras desde el punto de vista microbiológico (Murphy et al., 2019).

El sistema de potabilización de agua tiene por objeto modificar las propiedades del agua en su estado natural para que sea apta para consumo humano. Estos procesos llevan mucho tiempo y se realizan a través de sistemas complejos para que se garantice un líquido adecuado para su consumo (Ramírez et al., 2020).

Por otra parte, existen diversos estudios relacionados a plantas potabilizadoras de agua como el realizado por Martínez-Orjuela et al., (2020) que detallan que;

Los contaminantes del agua cruda se pueden eliminar por métodos físicos y químicos o por combinación de los dos. La selección de los métodos depende de la calidad de la fuente de abastecimiento. La coagulación química es el proceso más eficiente para la eliminación de turbidez en el agua. El sulfato de aluminio es el coagulante estándar empleado en tratamientos de agua (p.16).

En este mismo sentido se desarrolló un estudio en México que se trató del Abastecimiento de agua potable para pequeñas comunidades rurales por medio de un sistema de recolección de lluvia-planta potabilizadora, ya que se conoce que en el Estado de México uno de los grupos más vulnerables a las enfermedades infecciosas son los niños menores de un año y según las estadísticas sobre mortalidad infantil por enfermedades intestinales infecciosas, se encontró que en 1990 existían tasas de 576.6/ 100,000 hab, las cuales disminuyeron hasta 224.7/100,000 hab para 1994, y por tanto, el suministro de agua potable de calidad a la población es garantía de protección de la salud,

reduce los gastos médicos, incrementa la calidad de vida y favorece el desarrollo sustentable de una comunidad.(Díaz et al., 1999).

En Ecuador, se desarrolló el proyecto que consistió en Diseñar una planta potabilizadora de agua abastecida por un sistema solar fotovoltaico para locaciones rurales para de esta forma mejorar las condiciones de vida existentes., que a través de un PPA de 24 h requirió un caudal de diseño de 7.7 l/s, mientras que para la PPA de 12 h el caudal necesario fue 15 l/s. (Amoroso & Muñoz, 2019)

Con estos antecedentes, este artículo presenta el rediseño de un sistema de tratamiento de agua potable del Productos Limpios de la Empresa Pública de Hidrocarburos PETROECUADOR, en la ciudad de Riobamba que tuvo como finalidad cumplir con los requisitos hídricos de calidad para que sea apta para el consumo humano.

Metodología

La metodología utilizada consistió en la toma de muestras de agua cruda, se ejecutó la caracterización fisicoquímica y microbiológica utilizando el método experimental, además el método comparativo de investigación relacionando todos los datos obtenidos durante el estudio, el mismo permitirá realizar el Rediseño de la Planta de Tratamiento de Agua Potable con el que cuenta la empresa, buscando que llegue a cumplir los requerimientos de la norma NTE INEN 1108:2006 segunda revisión, y la norma NTE INEN 1108:2014 quinta edición para las características físicas, químicas y microbiológicas que un agua de consumo debe cumplir.

Para la recolección de datos se realizó con un muestreo sistemático simple tomando muestras, en el ingreso del agua cruda a la planta, que ingresa por medio de una tubería, este muestreo se realizó durante 3 semanas, con base a la norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:98. AGUA CALIDAD DE AGUA, MUESTREO, MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS, la misma que se aplica cuando una muestra (simple o compuesta) no puede ser analizada en el sitio de muestreo y es transportada para que el laboratorio de control de Calidad realice los análisis requeridos.

Los métodos empleados para las muestras analizadas fueron tomados en cuenta del manual “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” (Métodos Normalizados para Análisis de Agua Potable y Aguas Residuales); y el Manual de Análisis de Agua, métodos HACH, como se detallan en la tabla 1.

Tabla 1: Métodos de análisis de aguas

PARÁMETROS	UNIDAD	MÉTODO
PARÁMETROS FÍSICOS		
COLOR	UTC	COLORIMÉTRICO. REF 1001/S502.
TURBIEDAD	NTU	NEFELOMÉTRICO. REF 1001/S505.
Ph	.....	POTENCIOMÉTRICO. REF 1001/S503.
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	CONDUCTIMÉTRICO. REF 1001/S501.
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	CONDUCTIMÉTRICO. REF 1001/S504.
TEMPERATURA	° C	CONDUCTIMÉTRICO/ POTENCIOMÉTRICO. REF 1001/S501.
PARÁMETROS QUÍMICOS		
NITRATOS (N-NO ₃ ⁻)	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO (REDUCCIÓN CADMIO). REF 1001/S514.
NITRITOS (N-NO ₂ ⁻)	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO (DIAZOTACIÓN). REF 1001/S515.
FOSFATOS (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO (ÁCIDO ASCÓRBICO). REF 1001/S511.
NITROGENO AMONIACAL (NH ₃ -N)	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO (NESSIERIZACIÓN). REF 1001/S516.
SULFATOS (SO ₄ ²⁻)	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO (SULFAVER 4). REF 1001/S517.
FLUORUROS (F)	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO (SPANDS). REF 1001/S510.
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO (FERROVER). REF 1001/S512.
MANGANESO (Mn ²⁺)	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO (PAN). REF 1001/S513.
CROMO (Cr ⁺⁶)	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO (1,5 DINETILCARBOHIDACIDA). REF 1001/S508.
COBRE (Cu)	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO (BICINCONINATO) REF 1001/S507.
DUREZA TOTAL (CaCO ₃)	mg/L	TITULOMÉTRICO (EDTA)
CLORO LIBRE RESIDUAL (Cl ₂)	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO (TIOCIANATO MERCÚRICO). REF 1001/S522.
ALUMINIO (Al ³⁺)	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO (ALUMINON). REF 1001/S518.

CLORUROS (Cl ⁻)	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO (TIOCIANATO MERCÚRICO). REF 1001/S522.
NÍQUEL (Ni)	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO (1-2 PIRIDILAZO - 2 NAFTOL (PAN)). REF 1001/S526.
COBALTO (Co)	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO (1-2 PIRIDILAZO - 2 NAFTOL (PAN)). REF 1001/S523.
PLOMO (Pb ²⁺)	mg/L	FOTOMÉTRICO (4- PIRIDIL-2-AZO-RESORCINA). REF 1001/S529.
ZINC (Zn ²⁺)	mg/L	FOTOMÉTRICO (ZINC). REF 1001/S531.
PLATA (Ag ⁺)	mg/L	FOTOMÉTRICO. REF 1001/S528.
CIANURO (CN ⁻)	mg/L	FOTOMÉTRICO. REF 1001/S521
BARIO (Ba ²⁺)	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO. REF 1001/S519.
BROMO (Br)	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO (DPD). REF 1001/S520.
MOLIBDENO (Mo ⁶⁺)	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO (ÁCIDO MERCAPTOACETICO). REF 1001/S525.
CROMO TOTAL (Cr)	mg/L	ESPECTROFOTOMÉTRICO (OXIDACIÓN ALCALINA). REF 1001/S524.
OXÍGENO DISUELTO (O ₂)	mg/L	FOTOMÉTRICO (O ₂ REF931288)
PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS		
COLIFORMES FECALES	NMP/100 MI	FILTRACIÓN DE MEMBRANA AL VACÍO. REF 1001/S602. STANDARD METHODS NO.36013
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	FILTRACIÓN DE MEMBRANA AL VACÍO. REF 1001/S601. STANDARD METHODS NO.36002

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad del Sistema de Tratamiento de Agua Potable "CHAQUISHCA"

Realizado por: Montenegro, E. (2017)

Como parte de la metodología se realizó un diagnóstico y verificación de las instalaciones previo a la intervención en el siguiente orden:

1. Reconocimiento de las instalaciones de la Planta de Tratamiento de Agua Potable existente en el Terminal de Productos Limpios de la EP-PETROECUADOR.
2. Se identificó el sistema actual de potabilización cuenta con: captación, aireación, filtro rápido, vertedero triangular, filtro lento descendente, tanque de desinfección, cisterna y distribución, además del funcionamiento de los mismos.

3. Se observó las condiciones de los equipos con los que cuenta la planta de tratamiento.
4. Visita técnica para analizar que los componentes actuales cumplan con las normas de diseño establecidas para lograr obtener un tratamiento de potabilización adecuado.
5. Se recopiló información de cada proceso de forma in situ a través de mediciones pertinentes utilizando los planos de construcción proporcionados por la Gerencia de la empresa.
6. Se comprobó que las medidas de los componentes cumplan con las medidas de los documentos obtenidos y a su vez que estos cumplan con los parámetros de diseño de cada equipo.

Resultados

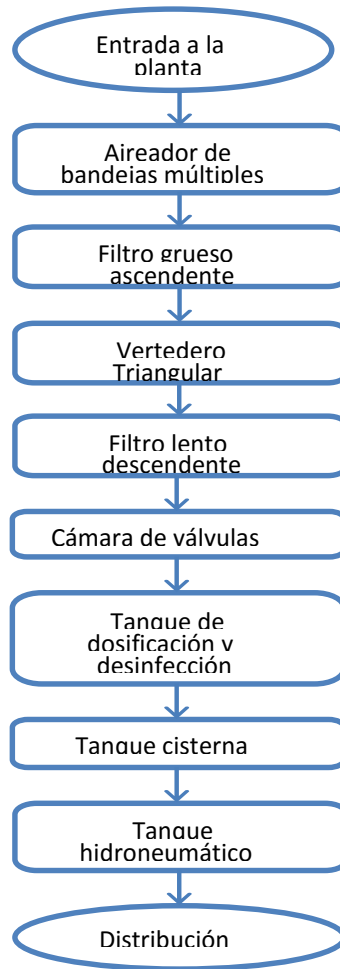
Las muestras se tomaron durante 3 semanas, siendo 15 muestras para ser analizadas, fueron tomadas en envases de vidrio ámbar de 1 litro para los análisis físico-químicos y 400 mL en envases completamente herméticos para los análisis microbiológicos (se consideran como muestra puntual), estas fueron correctamente rotuladas y puestas en hielo para su preservación. Como el agua que se analizó ingresó por una sola tubería a la empresa, este fue el lugar donde se recolectaron las muestras.

Asimismo, para garantizar la calidad del muestreo en todo momento se utilizó ropa adecuada siguiendo procedimientos para la toma de muestras y considerando con prudencia las medidas de seguridad del Terminal, como lo es el uso de mandil, ropa de trabajo, casco, zapatos de seguridad, gafas, mascarilla y guantes de látex (los cuales se iban cambiando a cada instante por deterioro, para garantizar la calidad de las muestras y evitar así una contaminación cruzada de la misma) cada día antes de empezar los monitoreos se verifica que las botellas estén completamente limpias y libres de cualquier tipo de residuo y de la misma manera todos los materiales que se usaban para la recolección.

En cada muestreo se trató minuciosamente, cada una de ellas para obtener una muestra de calidad que represente el verdadero estado de las aguas que llegan al Terminal.

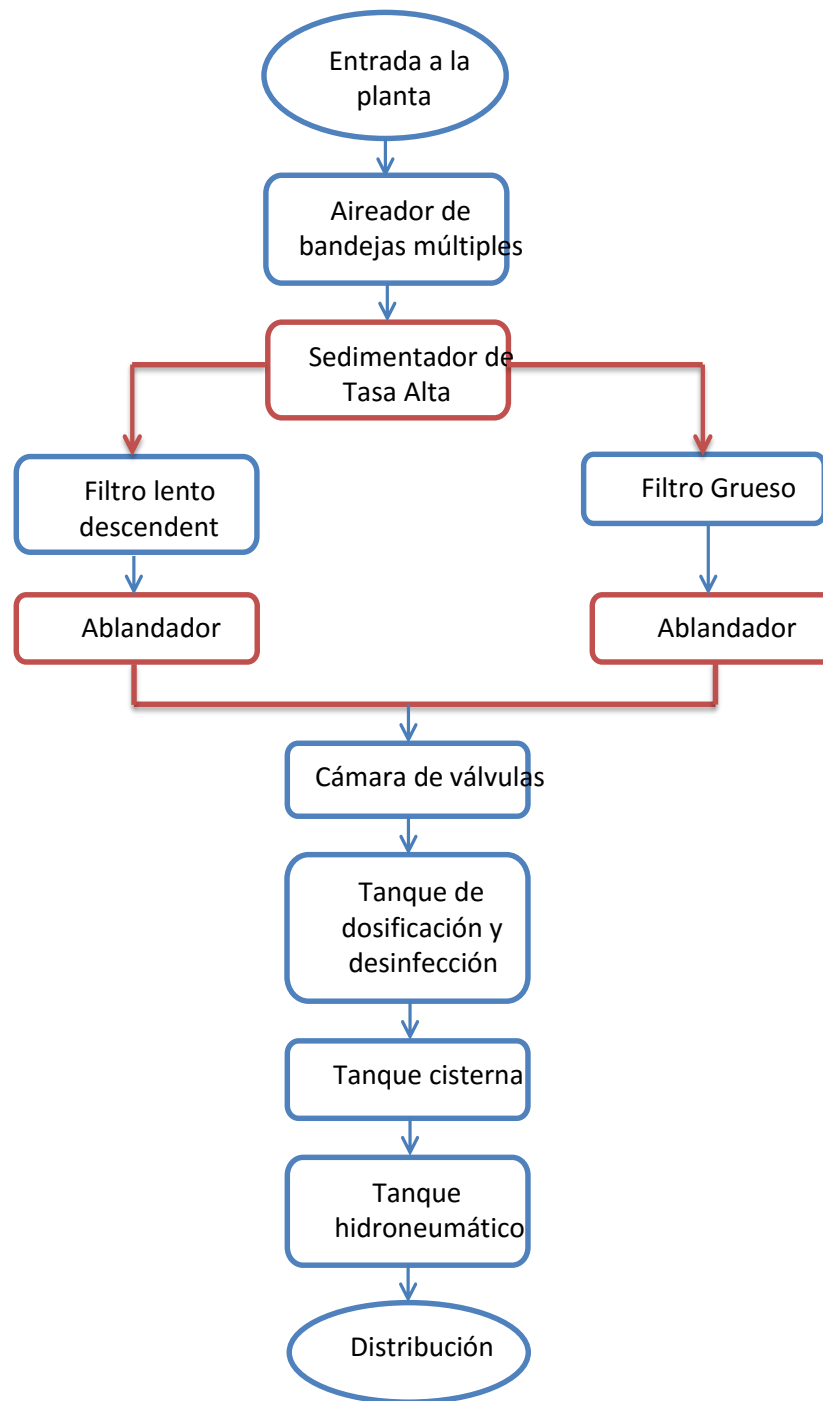
Los resultados de los análisis fueron entregados a los 8 días laborables a partir de que ingresa la muestra al Laboratorio.

Gráfico 1: Sistema de la Planta Actual de Tratamiento



Realizado por: Montenegro, E. (2017)

Gráfico 2: Propuesta de Rediseño del Sistema de Tratamiento



Realizado por: Montenegro, E. (2017)

Tabla 2: Caracterización físico-química y bacteriológica del agua cruda que ingresa a la Planta del Terminal de Productos Limpios, Riobamba, Semana 1.

PARÁMETROS	UNIDAD	SEMANA MONITOREADA				
		04-jul	05-jul	06-jul	07-jul	08-jul
COLOR	UTC	10,00	1,00	15,00	20,00	10,00
TURBIEDAD	NTU	5,49	0,65	6,74	7,78	5,47
pH	.....	7,54	7,16	6,94	7,31	7,26
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	120,08	120,67	106,18	113,56	102,96
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	45,00	42,08	41,69	41,20	42,64
TEMPERATURA	° C	18,80	18,54	18,41	18,50	18,74
NITRATOS (N-NO ₃ ⁻)	mg/L	3,20	2,68	3,05	4,89	2,96
NITRITOS (N-NO ₂ ⁻)	mg/L	0,005	0,007	0,009	0,006	0,008
FOSFATOS (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	0,65	0,59	0,62	0,90	0,78
NITRÓGENO AMONIAICAL (NH ₃ -N)	mg/L	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02
SULFATOS (SO ₄ ²⁻)	mg/L	4,00	1,00	2,00	5,00	3,00
FLUORUROS (F ⁻)	mg/L	0,46	0,43	0,53	1,05	0,64
HIERRO TOTAL (Fe ³⁺)	mg/L		0,39	0,48	0,64	0,52
MANGANESO (Mn ²⁺)	mg/L	0,45 0,43 0,010	0,57	0,51	0,41	0,57
CROMO (Cr ⁺⁶)	mg/L		0,009	0,007	0,007	0,009
COBRE (Cu)	mg/L	0,03	0,05	0,03	0,04	0,04
DUREZA TOTAL (CaCO ₃)	mg/L	360,00	358,00	364,00	354,00	350,00
ALUMINIO (Al ³⁺)	mg/L	0,006	0,008	0,005	0,007	0,009
CLORUROS (Cl ⁻)	mg/L	6,60	4,82	5,29	5,70	4,96
NÍQUEL (Ni)	mg/L	0,009	0,006	0,008	0,006	0,009
COBALTO (Co)	mg/L	0,005	0,008	0,006	0,003	0,007
PLOMO (Pb ²⁺)	mg/L		< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
ZINC (Zn ²⁺)	mg/L	< 0.01 < 0.10 < 0.20	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10
PLATA (Ag ⁺)	mg/L		< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20
CIANURO (CN ⁻)	mg/L	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02
BARIO (Ba ²⁺)	mg/L	0,23	0,27	0,39	0,37	0,29
BROMO (Br)	mg/L	0,03	0,06	0,04	0,01	0,06
MOLIBDENO (Mo ⁶⁺)	mg/L	0,65	0,42	0,37	0,40	0,49
CROMO TOTAL (Cr)	mg/L	0,009	0,006	0,007	0,008	0,006
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	20	52	57	64	80
COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	4	12	24	8	26

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad del Sistema de Tratamiento de Agua Potable "CHAQUISHCA"

Realizado por: Montenegro, E. (2017)

Tabla 3: Caracterización físico-química y bacteriológica del agua cruda que ingresa a la Planta del Terminal de Productos Limpios, Riobamba, Semana 2.

PARÁMETROS	UNIDAD	SEMANA MONITOREADA				
		11-jul	12-jul	13-jul	14-jul	15-jul
COLOR	UTC	10,00	15,00	1,00	15,00	1,00
TURBIEDAD	NTU	5,43	7,65	6,64	6,50	0,65
pH	.....	7,30	7,28	7,18	7,36	7,27
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	102,36	116,27	105,89	105,80	107,89
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	40,80	41,49	42,96	41,42	42,68
TEMPERATURA	° C	17,50	18,06	17,54	17,90	17,83
NITRATOS (N-NO ₃ ⁻)	mg/L	4,62	3,81	4,27	3,45	4,86
NITRITOS (N-NO ₂ ⁻)	mg/L	0,006	0,008	0,007	0,007	0,005
FOSFATOS (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	0,98	0,48	0,62	0,57	0,86
NITRÓGENO AMONICAL (NH ₃ -N)	mg/L	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
SULFATOS (SO ₄ ²⁻)	mg/L	5,00	3,00	5,00	4,00	4,00
FLUORUROS (F ⁻)	mg/L	0,98	0,74	0,85	0,78	0,80
HIERRO TOTAL (Fe ³⁺)	mg/L	0,46	0,52	0,67	0,38	0,54
MANGANESO (Mn ²⁺)	mg/L	0,68	0,74 0,007	0,59	0,62	0,71
CROMO (Cr ⁺⁶)	mg/L	0,009		0,007	0,008	0,008
COBRE (Cu)	mg/L	0,06	0,04	0,07	0,08	0,08
DUREZA TOTAL (CaCO ₃)	mg/L	350,00	348,00	354,00	346,00	358,00
ALUMINIO (Al ³⁺)	mg/L	0,009	0,008	0,009	0,009	0,007
CLORUROS (Cl ⁻)	mg/L	4,50	3,67	4,28	3,89	4,97
NÍQUEL (Ni)	mg/L	0,004	0,006	0,008	0,004	0,006
COBALTO (Co)	mg/L	0,006	0,008	0,006	0,009	0,007
PLOMO (Pb ²⁺)	mg/L	< 0.01		< 0.01	< 0.01	< 0.01
ZINC (Zn ²⁺)	mg/L	< 0.10	< 0.01 < 0.10 < 0.20	< 0.10	< 0.10	< 0.10
PLATA (Ag ⁺)	mg/L	< 0.20		< 0.20	< 0.20	< 0.20
CIANURO (CN ⁻)	mg/L	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02
BARIO (Ba ²⁺)	mg/L	0,31	0,28	0,37	0,34	0,29
BROMO (Br)	mg/L	0,02	0,04	0,02	0,02	0,05
MOLIBDENO (Mo ⁶⁺)	mg/L	0,70	0,64	0,68	0,73	0,59
CROMO TOTAL (Cr)	mg/L	0,007	0,007	0,009	0,008	0,009
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	26	22	26	24	16
COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	12	10	6	18	8

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad del Sistema de Tratamiento de Agua Potable "CHAQUISHCA"

Realizado por: Montenegro, E. (2017)

Tabla 4: Caracterización físico-química y microbiológica del agua cruda que ingresa a la Planta del Terminal de Productos Limpios, Riobamba, Semana 3.

PARÁMETROS	UNIDAD	SEMANA MONITOREADA				
		25-jul	26-jul	27-jul	28-jul	29-jul
COLOR	UTC	10,00	15,00	1,00	20,00	1,00
TURBIEDAD	NTU	5,51	6,70	6,80	7,80	0,37
pH	.....	6,79	7,08	7,24	7,17	7,42
CONDUCTIVIDAD	uS/cm	88,30	92,67	98,20	100,57	108,59
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	42,80	38,42	41,24	39,68	40,38
TEMPERATURA	° C	17,40	18,24	17,97	18,16	18,09
NITRATOS (N-NO ₃ ⁻)	mg/L	1,00	1,18	0,98	1,12	0,87
NITRITOS (N-NO ₂ ⁻)	mg/L	0,004	0,006	0,008	0,005	0,005
FOSFATOS (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	0,81	0,54	0,79	0,52	0,54
NITRÓGENO AMONICAL (NH ₃ -N)	mg/L	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01
SULFATOS (SO ₄ ²⁻)	mg/L	1,00	1,00	2,00	1,00	2,00
FLUORUROS (F ⁻)	mg/L	0,36	0,38	0,42	0,39	0,40
HIERRO TOTAL (Fe ³⁺)	mg/L	0,54	0,40	0,38	0,51	0,67
MANGANESO (Mn ²⁺)	mg/L	0,47	0,37	0,40	0,39	0,44
CROMO (Cr ⁺⁶)	mg/L	0,006	0,006	0,008	0,007	0,007
COBRE (Cu)	mg/L	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01
DUREZA TOTAL (CaCO ₃)	mg/L	350,00	342,00	348,00	352,00	338,00
ALUMINIO (Al ³⁺)	mg/L	0,009	0,007	0,009	0,009	0,006
CLORUROS (Cl ⁻)	mg/L	0,36	0,42	0,58	0,54	0,48
NÍQUEL (Ni)	mg/L	0,004	0,007	0,008	0,008	0,006
COBALTO (Co)	mg/L	0,006	0,008	0,007	0,007	0,008
PLOMO (Pb ²⁺)	mg/L	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
ZINC (Zn ²⁺)	mg/L	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10	< 0.10
PLATA (Ag ⁺)	mg/L	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20	< 0.20
CIANURO (CN ⁻)	mg/L	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02	< 0.02
BARIO (Ba ²⁺)	mg/L	0,20	0,26	0,24	0,34	0,30
BROMO (Br)	mg/L	0,04	0,06	0,04	0,07	0,07
MOLIBDENO (Mo ⁶⁺)	mg/L	0,65	0,52	0,60	0,54	0,56
CROMO TOTAL (Cr)	mg/L	0,008	0,008	0,007	0,008	0,009
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	35	24	19	36	40
COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	20	10	8	20	12

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad del Sistema de Tratamiento de Agua Potable "CHAQUISHCA" **Realizado por:** Montenegro, E. (2017)

Tabla 5: Parámetros fuera de norma

PARÁMETROS		UNIDAD	SEMANAS MONITOREADAS			LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	PROMEDIO
			1ra. Semana	2da. Semana	3ra. Semana		
FÍSICOS	TURBIEDAD	NTU	5,23	5,37	5,44	5	5,35
QUÍMICOS	NITRITOS (N-NO ₂ ⁻)	mg/L	0,007	0,007	0,006	0,0	0,01
	FOSFATOS (P-PO ₄ ³⁻)	mg/L	0,71	0,70	0,64	0,1	0,68
	HIERRO TOTAL (Fe ³⁺)	mg/L	0,50	0,51	0,50	0,30	0,50
	MANGANESO (Mn ²⁺)	mg/L	0,498	0,668	0,414	0,10	0,53
	DUREZA TOTAL (CaCO ₃)	mg/L	357,20	351,20	346,00	300	351,47
MICROBIOLÓGICOS	COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	15	23	31	<2*	23,00
	COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	15	11	14	<2*	13,33

Realizado por: (Montenegro, 2017)

Durante la caracterización físico-química y microbiológica del agua cruda, la cual fue muestreada durante 3 semanas consecutivas, se encontraron parámetros fuera de límites permisibles de acuerdo a la norma para diseño y construcción de plantas de tratamiento de agua potable NTE NORMA INEN 1108:2006, segunda revisión, agua y requisitos, estos son: Turbiedad, Nitritos, Fosfatos, Hierro Total, Manganeso, Dureza Total, Coliformes Fecales y Coliformes Totales, mientras que los demás parámetros analizados se encuentran dentro de límites permisibles

Tabla 6: Validación de los resultados obtenidos después de las pruebas de jarras del rediseño de la planta.

	PARÁMETROS	UNIDAD	Límites Permisibles NTE INEN 1108:2006	Límites Permisibles NTE INEN 1108:2014	Caracterización antes del tratamiento	Caracterización después del tratamiento	REMOCIÓN	RENDIMIENTO TOTAL (%)
1	TURBIEDAD	NTU	5,00	5,00	5,37	0,39	4,98	92,80
2	NITRITOS	mg/L	0,00	3,00	0,007	0,00	0,007	100,00
3	FOSFATOS	mg/L	0,10	-	0,71	0,15	0,56	78,87
4	HIERRO TOTAL (Fe)	mg/L	0,30	-	0,50	0,08	0,42	84,00
5	MANGANESO (Mn ²⁺)	mg/L	0,10	-	0,498	0,009	0,489	98,19
6	DUREZA TOTAL	mg/L	300,00	-	357,2	42,00	315,2	88,24
7	COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	< 2*	< 1**	55	< 1**	-	98,18
8	COLIFORMES FECALES	NMP/100 mL	< 2*	-	15	< 1**	-	93,33

Realizado por: Montenegro, E. (2017)

1. La concentración de la turbiedad antes del tratamiento, que se ubica por encima del límite permisible con un valor de 5,37 NTU; y después del tratamiento con PAC, Chemfloc e Hipoclorito de Calcio, se reduce a 0,39 NTU; cumpliendo con la normativa. El porcentaje de rendimiento total para la remoción de turbiedad, es del 92,80%.
2. La concentración de Nitritos antes del tratamiento, que se ubica por encima del límite permisible con un valor de 0,007 mg/L; y después del tratamiento con PAC, Chemfloc e Hipoclorito de Calcio, se reduce a 0,0 mg/L cumpliendo con la normativa. El porcentaje de rendimiento total para la remoción de Nitratos, es del 100,00%.
3. Se muestra la concentración de Fosfato antes del tratamiento, que se ubica por encima del límite permisible con un valor de 0,71 mg/L, y después del tratamiento con PAC, Chemfloc e

Hipoclorito de Calcio, se reduce a 0,15 mg/L, cumpliendo con la normativa. El porcentaje de rendimiento total para la remoción de fosfatos, es del 78,87%.

4. Se muestra la concentración de Hierro Total antes del tratamiento, que se ubica por encima del límite permisible con un valor de 0,5 mg/L; y después del tratamiento con PAC, Chemfloc e Hipoclorito de Calcio, se reduce a 0,08 mg/L; cumpliendo con la normativa. El porcentaje de rendimiento total para la remoción de hierro total, es del 84,00%.
5. Se muestra la concentración de manganeso antes del tratamiento, que se ubica por encima del límite permisible con un valor de 0,5 mg/L; y después del tratamiento con PAC, Chemfloc e Hipoclorito de Calcio, se reduce a 0,009 mg/L; cumpliendo con la normativa. El porcentaje de rendimiento total para la remoción de manganeso, es del 98,19%.
6. Se muestra la concentración de la Dureza antes del tratamiento, que se ubica por encima del límite permisible con un valor de 357,20 mg/L; y después del tratamiento con PAC, Chemfloc e Hipoclorito de Calcio, se reduce a 42,00 mg/L; cumpliendo con la normativa.
7. El porcentaje de rendimiento total para la remoción de manganeso, es del 88,24%.
se muestra la concentración de Coliformes totales antes del tratamiento, que se ubica por encima del límite permisible con un valor de 55 NMP/100 mL, y después del tratamiento con PAC, Chemfloc e Hipoclorito de Calcio, se reduce a <1** NMP/100 mL, cumpliendo con la normativa. El porcentaje de rendimiento total para la remoción de fosfatos, es del 98,18%.
8. Se muestra la concentración de Coliformes fecales antes del tratamiento, que se ubica por encima del límite permisible con un valor de 15 NMP/100 mL, y después del tratamiento con PAC, Chemfloc e Hipoclorito de Calcio, se reduce a <1** NMP/100 mL, cumpliendo con la normativa. El porcentaje de rendimiento total para la remoción de fosfatos, es del 93,33%.

Los resultados de la caracterización físico-químico y bacteriológica del agua que ingresa a las instalaciones de la Terminal de Productos Limpios en Riobamba se dieron las siguientes concentraciones: en Turbiedad 5,37 NTU; Nitritos 0,007 mg/L; Fosfatos 0,71 mg/L; Hierro Total 0,50 mg/L; Manganeso 0,498 mg/L; Dureza 357,20; Coliformes Fecales 15 NMP/100 mL y Coliformes Totales 55 NMP/100mL, los cuales se encuentran fuera de límite permisible según la norma INEN 1108:2006.

Conclusiones

Los sistemas de la planta no se encontraron en óptimas condiciones por lo cual el rediseño de la planta potabilizadora es una necesidad imperativa.

A través de un sedimentador de tasa alta el para la separación de los sólidos y líquidos por gravedad, el mismo que trabajará de forma satisfactoria en el tratamiento de aguas, se conservó el filtro grueso lento de arena y filtro rápido ascendente, los mismos que ayudan a la mejora considerable de la calidad del agua por lo que elimina turbiedad y reducen en un alto porcentaje la presencia de microorganismo, además de disminuir nitritos y fosfatos que se encuentran fuera del límite permisible, se añadió dos ablandadores cuyo lecho filtrante será resina catiónica, la cual ayuda a suavizar el agua y disminuir la dureza; al final se conservó los tanques de dosificación pero se calculó la cantidad óptima de Hipoclorito de Calcio para su correcta desinfección y se añadió PAC que ayudará a la clarificación del agua cruda y CHEMFLOC que es un auxiliar aniónico para el policloruro de aluminio, con este rediseño, el sistema de potabilización será óptimo.

El rediseño que consta de un sistema de aireación, seguido por un sedimentador de tasa alta, un filtro grueso, un filtro lento descendente, dos filtros ablandadores, y finalmente el tanque de desinfección se obtuvo una remoción del 92,80% en turbiedad; 78,87% en fosfatos; 84,00% en hierro; 98,19% en manganeso; 88,24% en dureza; mientras que los coliformes fecales, totales y los nitritos fueron removidos en su totalidad.

Referencias

1. Amoroso, F., & Muñoz, K. (2019). *“Diseño de una planta potabilizadora de agua abastecida por energía solar para la comunidad de pile [Escuela Superior Politécnica del Litoral].* <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/52784/1/T-111132%20AMOROSO%20PARRAGA%2c%20FERNANDO%20-MU%c3%91OZ%20ZAVALA%2c%20KEVIN.pdf>
2. Díaz, C., García, D., & Solís, M. (1999). Abastecimiento de agua potable para pequeñas comunidades rurales por medio de un sistema de colección de lluvia-planta potabilizadora. *Ciencia Ergo Sum.*
3. González, N., Hernández, M., & Vilela, C. (1986). *Léxico hidrogeológico.* Comisión de Investigaciones Científicas de la provincia de Buenos Aires. <https://digital.cic.gba.gov.ar/items/f4b63134-cf91-4b38-9642-9a18ea9fcfec>

4. Hernández, D. (2019). *Estimación del potencial hídrico subterráneo del Valle de Cajamarca - Cajamarca*. <http://190.116.36.86/handle/20.500.14074/3486>
5. Martínez-Orjuela, M., Mendoza, J., Medrano, B., Gómez, L., & Zafra, C. (2020). Evaluación de la turbiedad como parámetro indicador del tratamiento en una planta potabilizadora municipal. *Revista UIS Ingenierías*. <https://doi.org/10.18273/revuin.v19n1-2020001>
6. Montenegro, V. (2017). *Rediseño de la planta potabilizadora de agua para consumo humano en el Terminal de Productos Limpios (EP-PETROECUADOR), cantón Riobamba, provincia de Chimborazo*. [ESPOCH]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6629>
7. Murphy, K., Alperin, M., & Quiroz, I. (2019). Distribución espacial de propiedades químicas del agua subterránea en la ciudad de Pergamino, provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista Del Museo de La Plata*, 4(1), 251–263. <https://doi.org/10.24215/25456377E076>
8. OPS. (2022). *Agua y Saneamiento - Organización Panamericana de la Salud*. OPS. <https://www.paho.org/es/temas/agua-saneamiento>
9. Ramírez, A. O., Durán, L. C., & Molina, L. C. (2020). INTRODUCCIÓN AL USO DE COAGULANTES NATURALES EN LOS PROCESOS DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA. *REVISTA AMBIENTAL AGUA, AIRE Y SUELO*, 11(2), 1–14. <https://doi.org/10.24054/19009178.V2.N2.2020.873>
10. Sánchez, K., Álvarez, T., Pacheco, J., González, R., & Carrillo, L. (2015). Caracterización hidrogeoquímica de las aguas subterráneas del sur del Estado de Quintana Roo, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 32. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1026-87742015000100006&script=sci_arttext