

OPTIMIZACIÓN DE UNA PLANTA POTABILIZADORA COMPACTA DE FILTRACIÓN RÁPIDA PARA TRATAR EL AGUA DEL RÍO BABAHOYO.
OPTIMIZATION OF A COMPACT RAPID FILTRATION WATER TREATMENT PLANT TO TREAT WATER FROM THE BABAHOYO RIVER.

Autor: ¹Isidoro Pacífico Merino Acosta.

¹ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-0509-9531>

¹E-mail de contacto: isidoro.merinoa@ug.edu.ec

Afiliación: ¹Universidad de Guayaquil, (Ecuador).

Artículo recibido: 4 de Octubre del 2023

Artículo revisado: 6 de Noviembre del 2023

Artículo aprobado: 31 de Diciembre del 2023

¹Ingeniero Químico, graduado de la Universidad de Guayaquil (Ecuador). Posee una maestría en Gestión Ambiental graduado de la Universidad de Guayaquil (Ecuador).

Resumen

La presente investigación se trató de la Optimización de una planta potabilizadora compacta de filtración rápida para tratar el agua del río Babahoyo. Los procesos que se realizan para la potabilización del agua son: coagulación-floculación, filtración y desinfección. Con el empleo del método de muestreo, se recolectaron muestras en épocas de invierno y de verano, para su posterior caracterización, utilizando técnicas recomendadas por el Estándar Methods, siendo estas volumétricas, instrumentales y gravimétricas; se utilizó equipos portátiles de laboratorio para análisis in situ con sus respectivos kits de reactivos para la determinación cuantitativa de cada parámetro en las muestras. La información obtenida, analizada y comprendida, es la base para estructurar el marco teórico y diseñar la parte experimental del trabajo. En los análisis preliminares para determinar el estado actual de la planta se obtuvo resultados de remoción de turbiedad del agua en un 65%, siendo su valor de salida un promedio de 5.5 NTU, para el color el porcentaje de remoción está en el orden de 65% y los valores del agua de salida tienen un promedio de 25 unidades de Pt-Co, en el contenido de organismo coliflores se logró una remoción del 70% de los organismos. Estos resultados indican que la calidad del agua del efluente no cumple con la normativa NTE INEN 1108: 2014 Quinta Revisión Agua Potable Requisitos. En base a estos resultados se optimizó la planta potabilizadora la misma que cuenta con las etapas: coagulación-floculación, filtración y desinfección. La misma que consistió en el

acondicionamiento de las alturas de los lechos porosos de los filtros, para un caudal de operación de 54.5 m³/día. Se espera con esto mejorar la calidad de vida en los sectores emergentes, garantizando así el consumo de este recurso.

Palabras clave: Potabilización del Agua, Sectores emergentes, Filtración, Desinfección, Optimización.

Abstract

The present research was about the Optimization of a compact rapid filtration water treatment plant to treat water from the Babahoyo River. The processes carried out to purify water are coagulation-flocculation, filtration and disinfection. Using the sampling method, samples were collected in winter and summer, for subsequent characterization, using techniques recommended by Standard Methods, these being volumetric, instrumental and gravimetric; Portable laboratory equipment was used for in situ analysis with their respective reagent kits for the quantitative determination of each parameter in the samples. The information obtained, analyzed and understood is the basis for structuring the theoretical framework and designing the experimental part of the work. In the preliminary analyzes to determine the current state of the plant, 65% water turbidity removal results were obtained, with its output value being an average of 5.5 NTU, for color the removal percentage is in the order of 65 % and the values of the outlet water have an average of 25 Pt-Co units, in the cauliflower organism

content a removal of 70% of the organisms was achieved. These results indicate that the quality of the effluent water does not comply with the NTE INEN 1108: 2014 Fifth Revision of Drinking Water Requirements regulations. Based on these results, the water treatment plant is optimized, which has the stages: coagulation-flocculation, filtration and disinfection. This consisted of conditioning the heights of the porous beds of the filters, for an operating flow rate of 54.5 m³/day. This is expected to improve the quality of life in emerging sectors, thus guaranteeing the consumption of this resource.

Keywords: Water Purification, Emerging Sectors, Filtration, Disinfection, Optimization.

Sumário

A presente pesquisa tratou da Otimização de uma estação compacta de tratamento de água de filtração rápida para tratar água do rio Babahoyo. Os processos realizados para purificar a água são: coagulação-floculação, filtração e desinfecção. Utilizando o método de amostragem, foram coletadas amostras no inverno e no verão, para posterior caracterização, utilizando técnicas recomendadas pelos Métodos Padrão, sendo estas volumétricas, instrumentais e gravimétricas; Para análise in situ foram utilizados equipamentos laboratoriais portáteis com seus respectivos kits de reagentes para determinação quantitativa de cada parâmetro nas amostras. A informação obtida, analisada e compreendida constitui a base para a estruturação do enquadramento teórico e desenho da parte experimental do trabalho. Nas análises preliminares para determinar o estado atual da planta foram obtidos resultados de remoção de turbidez da água de 65%, sendo seu valor de saída em média de 5,5 NTU, para cor o percentual de remoção é na ordem de 65% e os valores da água de saída tem em média 25 unidades de Pt-Co, no conteúdo de organismos da couve-flor foi alcançada uma remoção de 70% dos organismos. Estes resultados indicam que a qualidade da água efluente não cumpre os regulamentos NTE INEN 1108: Quinta Revisão

dos Requisitos de Água Potável de 2014. Com base nesses resultados é otimizada a estação de tratamento de água, que possui as etapas: coagulação-floculação, filtração e desinfecção. Esta consistiu em condicionar as alturas dos leitos porosos dos filtros, para uma vazão operacional de 54,5 m³/dia. Espera-se que isto melhore a qualidade de vida nos setores emergentes, garantindo assim o consumo deste recurso.

Palavras-chave: Purificação de Água, Setores Emergentes, Filtração, Desinfecção, Otimização.

Introducción

El agua es la sustancia más importante para los seres vivos, después del oxígeno. En pleno siglo XXI, todavía casi 800 millones de personas en el mundo no cuentan con acceso a este bien; teniendo una cobertura, alrededor del 84% de la población en países en vías de desarrollo tienen accesos a fuentes de abastecimiento de agua potable como es el caso de América Latina y el Caribe están en ese orden de magnitud de cobertura; sin embargo, todavía el 37% de la población se encuentran sin acceso a las fuentes de abastecimiento de agua potable mejoradas como las que vive en África subsahariana (Acosta Pacheco, 2024).

En el año 2000 las Naciones Unidas acordaron ocho metas de desarrollo humano, denominadas “Objetivos de Desarrollo del Milenio” (ODM) para cumplirse en el 2015. Una de ellas, que busca garantizar el sustento del medio ambiente, implicaba la reducción a la mitad de la proporción de las personas sin acceso sostenible al agua potable y a servicios básicos de saneamiento.

El agua es un recurso renovable, pero distribuido de forma irregular, lo que le convierte en algunas zonas en un bien escaso. La creciente necesidad de ingerir agua segura para el ser humano y el constante crecimiento

poblacional lleva a las empresas prestadoras de este servicio optimizar sus procesos, y garantizar un producto inocuo exento de cualquier contaminante en su composición ya sea este físico, químico y bacteriológico (Alvarado, 2024).

En el Ecuador, a principios las empresas del Estado dedicadas a prestar servicio de agua a la población, se suministraba agua entubada, no presentaba ningún tipo de tratamiento cual reflejaba un alto índice de enfermedades hídricas ocasionadas por la ingesta de estas aguas, no existía control alguno, simplemente porque no contaban con técnicos especializados en cuanto a tratamientos de agua potable. Con el paso del tiempo los gobiernos se fueron preocupando, los mismo que crearon leyes reglamentos y normas (NTE INEN) de calidad para que sean regulados por entidades de control (MSP) y así contrarrestar el alto número de personas contagiadas por la ingesta de agua cruda no apta para el consumo humano.

En vista de que en las partes rurales carecen de este servicio y son afectadas por el fenómeno del niño se ha enfocado esta investigación en dotar de agua segura, para comunidades formadas por 80 familias las mismas que desconocen sobre el tratamiento de las aguas origen superficial, las cuales están ocasionando enfermedades por el mal hábito de consumo de dichas aguas (Mancheno, 2024).

Desarrollo

Tratamiento de las aguas superficiales para el proceso de potabilización.

La Investigación de la calidad del agua y los Ensayos de Tratabilidad se efectúan, en el presente Estudio, siguiendo los procedimientos establecidos en los Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater, última edición de la APHA – WPCF – AWWA, introduciendo las innovaciones establecidas en

papers, del Congreso de Ingeniería Sanitaria, AIDIS, en relación con las pruebas de jarras.

Se utiliza en las pruebas de floculación Sulfato de Aluminio tipo A, calidad comercial para uso en Plantas de Agua Potable, $Al_2(SO_4)_2 \cdot 14H_2O$, conocido también –erróneamente- como alumbre o sulfato de alúmina. Los principios básicos del diseño de la Planta consideran la mezcla rápida con el coagulante en el resalto hidráulico del medidor de Venturi (Castañeda, 2024).

El tratamiento de las aguas de origen superficial tiene como objetivo básico el de proteger la salud y promover el bienestar de las personas miembros de una sociedad (Muñoz, 2024).

Fuentes de abastecimiento

El Agua al igual que la energía, no se crea ni se destruye por lo que la cantidad total presente en el planeta es constante. Sin embargo. Al nivel local la cantidad y, particularmente, la calidad no es constante. Por conveniencia la humanidad ha hecho uso de las fuentes de mejor calidad para abastecer sus necesidades por requerir menor tratamiento para su uso. Estas, las subterráneas y superficiales, se conocen como fuentes convencionales (Medina, 2024).

Aguas superficiales

Se define como cualquier cuerpo de agua abierto a la atmosfera susceptible de fluir o permanecer en reposo como corrientes, ríos, lagunas y embalses. Estas fuentes se alimentan de precipitación directa. O bien por la descarga de agua de algún manto freático. Son susceptibles de introducir y transportar contaminantes hacia la red de suministro de agua, las aguas superficiales por lo general son menos duras, tienen mayor concentración de oxígeno disuelto y no contienen ácido sulfúrico (Muñoz, 2024).

Aguas subterráneas

Se forman a partir del agua que percola (infiltra) y precipita al suelo, por acción de la gravedad hasta alcanzar un estrato impermeable y constituir un acuífero. Se caracterizan por tener un patrón de flujo relativamente estable en términos de dirección y velocidad. Por lo general los acuíferos por estar cubiertos, presentan una buena calidad de agua, libre de sólidos suspendidos. No requieren grandes sistemas de potabilización y la simple desinfección es suficiente.

Comparación de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas

Tabla 1 Principales diferencias entre las aguas superficiales y las aguas subterráneas.

Agua superficial	Agua subterránea
Alto contenido de sólidos.	Bajo contenido de sólidos.
Muy oxigenadas.	Poco oxigenada.
Presencia de bacterias.	Poco contenido de bacterias.
Aguas blandas.	Aguas duras: alto contenido de carbonatos y sulfatos.
Presencia de sales disueltas: bicarbonatos y sulfatos.	Libres de impurezas orgánicas.
Contaminadas con sustancias orgánicas.	Aguas de formación son muy salinas y contienen residuos de crudo.

Fuente. Degremont, 1979

Componentes del sistema de agua potable:

El sistema de tratamiento consiste por un sin número de operaciones unitarias:

Sistemas de captación

Las aguas de origen se pueden clasificar según su presencia en aguas superficiales, y aguas subterráneas. El sistema de captación utilizado para aguas subterráneas es el bombeo, mientras para las aguas superficiales, se utilizan distintos métodos, si hablamos de tomas de embalses, ríos, o mar.

Para la optimización de la planta de agua potable se captó de la fuente superficial del río Babahoyo para realizar los ensayos de tratabilidad.

Sistema de aducción

Al proceso de conducir el agua desde su captación a la planta de tratamiento, se denomina aducción. Se puede distinguir dos tipos de conducciones, dependiendo de las alturas del punto de toma y la entrada de la planta.

Conducción forzada: (tuberías). Se utilizan cuando el punto de toma está situado a una cota más baja que la entrada en la planta, para salvar las diferencias de alturas, se emplean grupos de bombeos.

Tratamiento

Un sistema de tratamiento es un conjunto de procesos en la que se trata el agua para transformarla apta para el consumo humano. Una planta de tratamiento de agua potable completa está en función a la calidad de agua de origen a tratarse.

Pruebas de tratabilidad agua cruda

La Investigación de la calidad del agua y los Ensayos de Tratabilidad se efectúan, en el presente Estudio, siguiendo los procedimientos establecidos en los Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater, última edición de la APHA – WPCF – AWWA, introduciendo las innovaciones establecidas en papers, del Congreso de Ingeniería Sanitaria, AIDIS, en relación con las pruebas de jarras.

Se utiliza en las pruebas de floculación Sulfato de Aluminio tipo A, calidad comercial para uso en Plantas de Agua Potable, Al₂(SO₄)₂ 14H₂O, conocido también –erróneamente- como alumbre o sulfato de alúmina. Los principios básicos del diseño de la Planta consideran la

mezcla rápida con el coagulante en el resalto hidráulico del medidor de Venturi (Feria, 2020)

Prueba de jarras

La determinación de los parámetros de los procesos mediante simulación en el laboratorio es necesaria en la fase de proyecto para determinar las dimensiones de las unidades de la planta o para rehabilitar u optimizar sistemas existentes. Durante la evaluación de un sistema, ello servirá para determinar si las unidades están operando de acuerdo con las condiciones que el agua requiere y durante la operación de una planta, permitirá ajustar los procesos a las mencionadas condiciones. Determinar las cantidades óptimas de los productos químicos: regulador de pH, coagulante y polímero floculante y tiempo de sedimentación, necesarios para lograr la mejor clarificación de una muestra de agua (Rubio Dávila, 2020)

Un agitador mecánico provisto con tres a seis paletas, capaz de operar a velocidades variables (de 0 a 100 revoluciones por minuto; actualmente pueden obtenerse equipos que operan con velocidades de hasta 400 revoluciones por minuto).

Parámetros de calidad del agua cruda y tratada

La caracterización del agua tiene como objetivo conocer sus atributos físicos, químicos y biológicos con el propósito de definir sus aptitudes para uso humano, agrícola, industrial, recreacional entre otras.

Parámetros físicos

Se refieren en general a mediciones indirectas de componentes químicos presentes en el agua que pueden o no ser tóxicos. Dentro este tipo de parámetros se encuentran aquellos relacionados con la calidad estética, cuya importancia residen que el agua debe agradar a los consumidores y no provocarles desconfianza.

- Color. El valor máximo de color se fija en 300 unidades de color, una cifra menor señala una calidad aceptable para el tratamiento, si se sobrepasa dicha cifra puede ser necesario un tratamiento especial para que el agua satisfaga las normas de agua potable.
- Olor y sabor. Con frecuencia ocurren juntos y en general son prácticamente indistinguibles. Las causas más comunes materia orgánica en solución, H₂S, cloruro de sodio, sulfato de sodio y magnesio, hierro, manganeso, fenoles, diferentes especies de algas, hongos, etc. La determinación de estas variables en el agua es útil para evaluar la calidad de esta y su aceptabilidad por parte del consumidor.
- Conductividad y resistividad. La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad del agua para conducir electricidad. Es indicativo de la materia ionizable total presente en el agua. Las sales disueltas son las que permiten al agua conducir electricidad. Depende de la concentración total de las sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura del agua al momento de la medición. El agua pura contribuye mínimamente a la conductividad, la cantidad de sales solubles en agua se mide por la electro-conductividad (EC), la resistividad es la medida recíproca de la conductividad.
- Sólidos totales disueltos. Indica la cantidad de sales disueltas en el agua y está relacionada con la tendencia corrosiva o incrustante del agua, se lo expresa en (ppm), se determina mediante el método gravimétrico o conductividad eléctrica.
- Sólidos suspendidos. Es un criterio sobre la cantidad de partículas sólidas suspendidas y material coloidal del agua (limo, arcilla), influye directamente sobre la turbidez, las

aguas turbias contienen gran cantidad de sólidos suspendidos, se los expresa en (ppm) y se los determina por método gravimétrico.

- **Turbiedad.** Es la dificultad del agua para transmitir la luz debido a materiales insolubles en suspensión, que varían en tamaño desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, entre otras arcillas, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, organismos planctónicos y microorganismos.
- **PH.** El pH de un agua mide su acidez o alcalinidad. La escala de valores es de 0 a 14 unidades de pH. Las aguas que tienen un pH inferior a 7 son ácidas y las superiores a 7 son básicas.

Parámetros químicos

El agua como solvente universal, puede contener cualquier elemento de la tabla periódica. Sin embargo, pocos son los elementos significativos para el tratamiento del agua cruda con fines de consumo o los que tienen efectos en la salud del consumidor. Sin embargo, cuando se altera el equilibrio de estos elementos debido a su ausencia o exceso, también se modifica la calidad del cuerpo de agua y puede limitar su uso.

- **Alcalinidad.** La alcalinidad es una medida de la capacidad para neutralizar ácidos. Contribuyen a la alcalinidad los iones bicarbonato, CO_3H -carbonato, $\text{CO}_3=$ y oxhidrilo, OH^- , pero también los fosfatos y ácidos de carácter débil.
- **Coloides.** Es una medida del material en suspensión en el agua que por su tamaño de alrededor de los 10^{-4} – 10^{-5} mm, se comporta como una solución verdadera y atraviesa el papel del filtro.
- **Cloruros.** El ion cloruro (Cl) forma sales muy solubles, suele asociarse con el ion

Na^+ , esto en aguas muy salinas. Las aguas dulces contienen entre 10 y 250 ppm de cloruros, pero también se encuentran valores muy superiores fácilmente.

- **Sulfatos.** El ion sulfato (SO_4^{2-}), corresponde a sales moderadamente solubles a muy solubles. Las aguas dulces entre 2 y 250 ppm y el agua de mar alrededor de 3000 ppm.
- **Nitratos.** El ion nitrato (NO_3) forma sales muy solubles y estables. En un medio reductor puede pasar a nitritos, nitrógeno gas e incluso amoníaco. Las aguas normales tienen menos de 10 ppm y el agua de mar hasta 1 ppm.
- **Fosfatos.** El ion fosfato (PO_4^{3-}) en general forma sales muy poco solubles y precipita fácilmente como fosfato cálcico. Como procede de un ácido débil contribuye a la alcalinidad del agua.
- **Fluoruros.** El ion fluoruro (F), corresponde a sales de solubilidad muy limitada, suele encontrarse en cantidades superiores a 1 ppm, alrededor de dicha concentración puede resultar beneficioso para la dentadura
- **Sílice.** La sílice, (SiO_2) se encuentra disuelta en el agua como ácido silícico SiO_4H_4 y como materia coloidal; contribuye a provocar algo de alcalinidad en el agua. Las aguas naturales contienen entre 1 y 40 ppm, pudiendo llegar a las 100 ppm (si son aguas carbonatadas sódicas).
- **Bicarbonatos y carbonatos.** Las aguas dulces suelen contener entre 50 y 350 ppm de ion bicarbonato, y si el pH es inferior a 8.3, no habrá ion bicarbonato. El agua de mar contiene alrededor de 100 ppm de ion bicarbonato.
- **Sodio.** El ion sodio (Na^+), corresponde a sales de solubilidad muy elevada y difíciles de precipitar, suele estar asociado al ion cloruro. El contenido de las aguas dulces

esta entre 1 y 150 ppm, pero se pueden encontrar casos de hasta varios miles de ppm.

- Potasio. El ion potasio K^+ , corresponde a sales de muy alta solubilidad y difíciles de precipitar. Las aguas dulces no suelen tener más de 10 ppm y el agua de mar alrededor de 400 ppm.
- Calcio. El ion calcio (Ca^{++}) forma sales desde moderadamente solubles a muy insolubles. Precipita fácilmente como carbonato de calcio (CO_3Ca). Es el principal componente de la dureza del agua y causante de incrustaciones.
- Magnesio. El ion magnesio (Mg^{++}), tiene propiedades muy similares a las del ion calcio, aunque sus sales son un poco más solubles y difíciles de precipitar. El hidróxido de magnesio es, sin embargo, menos soluble. Las aguas dulces suelen contener entre 1 y 100 ppm
- Hierro. Es un catión muy importante desde el punto de vista de contaminación, aparece en dos formas: ion ferroso (Fe^{++}), o más oxidado como ión férrico (Fe^{+++}). La estabilidad y aparición en una forma u otra depende del pH, condiciones oxidantes o reductoras, o composición de la solución
- Manganeso. El ion manganeso se comporta en la mayoría de los casos muy parecido al ion hierro, además de poder ser bivalente y trivalente positivo puede también presentarse con valencia +4 formando el MnO_2 que es insoluble.
- Arsénico. Este se pasa al agua por contacto con ella. Es bien conocido desde hace siglos como tóxico, ya que afecta a la salud humana produciendo daños al sistema nervioso y respiratorio, produce graves consecuencias en la piel, hígado y riñones. Uno de los principales síntomas de una ingestión prolongada de arsénico es la

hiperqueratosis de las palmas de pies y manos.

- Gases disueltos. El dióxido de carbono (CO_2), es un gas relativamente soluble que se hidroliza formando iones bicarbonato y carbonato en función del pH del agua. Las aguas subterráneas profundas pueden contener hasta 1500 ppm pero las superficiales se sitúan entre 1 y 30 ppm, un exceso hace que el agua sea corrosiva. Se elimina por desgasificación o descarbonatación.
- Dureza. Corresponde a la suma de los cationes polivalentes expresados como la cantidad equivalentes de carbonato de calcio, de los cuales los más comunes son los de calcio y lo de magnesio.

Parámetros microbiológicos

Son los que determina la carga de contaminación biológica del agua a ser tratadas.

- Coliformes totales. Los coliformes totales son ampliamente utilizados a nivel mundial como indicadores de potabilidad por ser fácil de detectar y cuantificar. Los coliformes totales son eliminados del agua mediante procesos de desinfección como la cloración, radiación UV y ozonización. El valor guía de la OMS es de ausencia en 100 ml.
- Coliformes fecales. Son todos los bacilos que difieren del grupo coliformes total por su capacidad de crecer a una temperatura de entre de 44 y 45°C. los coliformes fecales no se encuentran en aguas y suelos que no han estado sujetos a contaminación fecal.

Plantas de tratamientos para potabilizar agua cruda

Una planta potabilizadora es una instalación donde ha combinado una serie de componentes y equipos con el fin de purificar las impurezas del agua a tratar.

Proceso de tratamiento convencional

Martínez Federico (2010) define los procesos que componen el sistema:

Un proceso de coagulación y mezcla rápida seguido de la floculación a través de una mezcla lenta que pretende aglutinar las sustancias coloidales del agua ganando peso a través de la adición de un químico coagulante.

El siguiente proceso corresponde al de sedimentación de las partículas coaguladas en un proceso físico donde se aprovecha el peso adquirido por las partículas que superan el peso específico del agua dirigiéndose al fondo del tanque.

Por otra parte, se realiza el proceso de filtración el cual consiste en conducir el agua sedimentada a través de un medio filtrante que puede ser de arena, antracita o mezcla de ambos. En este proceso se eliminan algunas sustancias y partículas presentes en el agua que se adhieren al lecho filtrante de gran área superficial. Por último, se lleva a cabo el proceso de desinfección del agua con la adición de un desinfectante el cual puede ser cloro.

Tipos de plantas potabilizadoras

Una planta de tratamiento es una secuencia de operaciones o procesos unitarios, convenientemente seleccionados con el fin de remover completamente los contaminantes microbiológicos presentes en el agua cruda y parcialmente los fisicoquímicos hasta llevarlos a límites aceptables estipulados por las Normas de Calidad del Agua.

- Plantas de filtración lenta. Los filtros lentos operan con tasas que normalmente varían entre 0.10 y 0.30 m/h; esto es, con tasas como 100 veces menores que las tasas promedias empleadas en los filtros rápidos: se les conoce con el nombre de filtros

ingleses, por su lugar de origen. Los filtros lentos simulan los procesos de tratamiento que se efectúan en la naturaleza en forma espontánea.

- Plantas convencionales antiguas. Este tipo de sistema es el más antiguo en nuestro medio. Se ha venido utilizando desde principios del siglo pasado (1910–1920). Se caracteriza por la gran extensión que ocupan las unidades donde se producen los procesos de tratamiento.
- Plantas de filtración rápida. Las plantas de este tipo están básicamente constituidas por las unidades de mezcla rápida, floculadores, decantadores y filtros. Estas plantas están conformadas por filtros que operan con velocidades altas, entre 80 y 300 m³/m².d, de acuerdo con las características del agua, del medio filtrante y de los recursos disponibles para operar y mantener estas instalaciones. Como consecuencia de las altas velocidades con las que operan estos filtros, se colmatan en un lapso de 40 a 50 horas en promedio. En esta situación se aplica el retro lavado o lavado ascensional de los filtros, para descolmar el medio filtrante devolviéndole su porosidad inicial y reanudar la operación de la unidad.
- Planta de filtración rápida completa. Estas plantas normalmente están integradas por los procesos de coagulación, decantación, filtración y desinfección. El proceso de coagulación se realiza en dos etapas: una fuerte agitación del agua para obtener una dispersión instantánea de la sustancia coagulante en toda la masa del agua (mezcla rápida), seguida de una agitación lenta para promover la rápida aglomeración y crecimiento del floculo. La coagulación tiene de mejorar la eficiencia de remoción de las partículas coloidales en el proceso de decantación (sedimentación de partículas

floculentas). El proceso final de filtración desempeña una labor de acabado, le da el pulimento final del agua.

- Planta de filtración directa. Es una alternativa a la filtración rápida, conformada por los procesos de mezcla rápida y filtración, apropiada solo para aguas claras.

Componentes de la planta potabilizadora (Descripción de las unidades de la planta de tratamiento)

Para este propósito se realiza la optimización de una planta potabilizadora móvil que puede ser trasladada a los diferentes sectores emergentes para dotar de agua de consumo humano (inocua).

El caudal de la planta es de 54.5 m³/día, la cual entrega agua potable aproximadamente a 80 familias conformadas por 3 personas cada una de ellas (240 personas), con una dotación per cápita de 150 litros/personas-día, que es la dotación mínima en la parte rural impuesta por la OPS/OMS.

La planta opera solo 16 horas en el día, y los procesos que se llevan a cabo son: coagulación, floculación, filtración y desinfección. Para la captación del agua bruta al ser tratada se utilizó una bomba sumergible de marca PREDATORST MYERS de ½ Hp que a un caudal de 54.5 m³/día.

Mediante la prueba de tratabilidad (prueba de jarras) se determinó la dosis óptima de coagulante (Sulfato de Aluminio Tipo A), a ser aplicado al agua bruta cuya turbiedad era de 225 NTU en época de invierno, para el tratamiento de potabilización. La inactivación microbiana (desinfección), se realizó utilizando pastillas de cloro las mismas que son ubicadas en la unidad de cloración y son dosificadas por contacto directo entre el agua y las mencionadas

pastillas. Las que son capaces de eliminar hasta el 99% de la carga bacteriana, son de bajo costo y fácil de conseguir y dejan un efecto residual, el mismo que debe estar entre el intervalo de (0.3-1.5) mg/l a la salida de la planta según lo menciona la NTE INEN 1108:2014 Quinta Revisión Agua Potable Requisitos.

La preparación del coagulante se realizó utilizando una caneca de 10lt de capacidad donde está la solución, el mismo que será introducido por acción de la gravedad hacia la unidad de mezcla rápida conformada por el medidor de Venturi (coagulador hidráulico), la misma que consiste en poner en contacto el coagulante con el agua bruta lográndose gracias al estrangulamiento en la sección del Venturi provocando un resalto hidráulico el mismo que sirve para mezclar dicho coagulante. La floculación y la sedimentación se realizaron utilizando un tanque cilíndrico, que consiste en la formación de las partículas floculantes y por diferencias de gravedad específica estas se sedimentan con facilidad. Para determinar la velocidad de sedimentación de las partículas, la misma que fue obtenida mediante un Test de Jarras.

Las unidades de filtración formadas por dos tanques cilíndricos, los mismos que tienen en cada unidad los lechos porosos (antracita, arena de sílice y grava de distintas granulometrías), que sirven para retener las partículas sedimentadas en la primera unidad de filtración y la segunda unidad servirá como pulimento del agua tratada, para la filtración se utilizan tanques a presión, lo cual hace que puedan trabajar a una mayor velocidad de filtración y ocupen un menor espacio.

La limpieza de los filtros colmatados se realizó con el agua tratada que se encuentra en los reservorios de 1 m³ de capacidad cada uno,

consiste en utilizar 250 lts de agua tratada para eliminar los sólidos sedimentados y que fueron retenidos en los filtros esto se hace cada vez cuando la turbiedad del efluente está por encima de los 5 NTU. En la optimización de las unidades de filtración se determina la velocidad de filtración que es el parámetro que determina el dimensionamiento de los filtros.

Para alimentar la planta de tratamiento seleccione una bomba sumergible de marca PREDATORST MYERS de ½ Hp, que a un caudal de trabajo de 54.5 m³/día. La planta completa tiene unas dimensiones: largo (2.15m), ancho (1.25m) y altura (2.35m), la que le permite ser movilizadada hacia los sectores emergentes.

Etapas del proceso de potabilización.

Las etapas que corresponden para el proceso de potabilización son las siguientes (coagulación, floculación, filtración, desinfección.)

Coagulación

Es un proceso químico, por el cual se añade una sustancia química (coagulante), al agua con el objeto de destruir la estabilidad de los coloides y promover su agregación y floculación. Los coagulantes son aquellos compuestos de hierro o aluminio capaces de formar un floc y que pueden efectuar coagulación al ser añadidos

➤ Tipos y usos

Los coagulantes más usados son: El sulfato de Aluminio, sulfato Ferroso y la Cal, Cloruro férrico, el aluminato de Sodio y la cal.

- *Sulfato de aluminio* (alumbre). Es el coagulante estándar empleado en tratamientos de agua. cuando se añaden soluciones de sulfato de aluminio al agua, las moléculas se disocian en Al⁺⁺⁺ y SO₄. El Al⁺⁺⁺ puede combinarse con coloides cargados negativamente para

neutralizar parte de la carga de la partícula coloidal, reduciendo así el potencial zeta.

- *Sulfato ferroso*. el sulfato ferroso comercial, FeSO₄ · 7H₂O, reacciona con la alcalinidad del agua para formar bicarbonato ferroso, (Fe (HCO₃)₂), el cual es bastante soluble. Para que sea útil como coagulante debe existir la oxidación del ion ferroso en ion férrico insoluble.
- *Sulfato ferroso y cal*. El tratamiento con sulfato ferroso y cal añade dureza al agua. Este proceso puede ser más barato que el de coagulación con alumbre, pero la dosificación de dos reactivos químicos diferentes lo hace más difícil. Vale la pena anotar que la precipitación depende del oxígeno disuelto presente en el agua.
- *Sulfato ferroso y cloro*. La coagulación con sulfato ferroso y cloro es útil en plantas donde se requiere pre cloración, permite una remoción efectiva de color, en este caso se usa cloro para oxidar el sulfato ferroso, produciendo cloruro férrico, y sulfato férrico, los que actúan como coagulantes.
- *Cloruro férrico*. El cloruro férrico reacciona con la alcalinidad del agua o con la cal para formar floc de hidróxido férrico. Se usa más en tratamiento de aguas residuales que en aguas de consumo humano, sin embargo, produce buenos resultados en aguas subterráneas con alto contenido de hierro.
- *Sulfato férrico*: No es tan corrosivo como el cloruro férrico, pero debe manejarse con equipos resistentes a la corrosión. Actúa en un intervalo amplio de pH, es usado en tratamiento de aguas con un alto contenido de manganeso.
- *Cal*. La cal viva es el producto resultante de la calcinación de la piedra caliza, compuesto principalmente de óxidos de

Calcio y magnesio. La cal hidratada (cal apagada) es por lo general un polvo seco, obtenido mediante el tratamiento de la cal viva con suficiente agua para satisfacer su afinidad química por el agua, en las condiciones de su hidratación.

- Aluminato de sodio. Es un compuesto usado como coagulante, debido a la presencia del sodio, su uso puede resultar benéfico para ablandar aguas duras o para tratar aguas coloreadas blandas, utilizado conjuntamente con el alumbre sirve para reducir la dosis de este último.

Tabla 2 Características físicas, sustancias inorgánicas NTE INEN 1108: Quinta revisión 2014-01

Parámetro	Unidad	Límite máximo permisible
Temperatura	°C	Ambiente
Ph	u	6.5 - 8.5
Color Verdadero	Upt-Co	15
Turbiedad	UNT	5
Fosforo (P04)	mg/l	0.39
Olor	-	No objetable
Sabor	-	No objetable
Nitratos (NO3 - N)	mg/l	50
Nitritos (NO2 - N)	mg/l	3.0
Antimonio (As)	mg/l	0.02
Arsénico	mg/l	0.01
Bario Ba	mg/l	0.7
Boro (B)	mg/l	2.4
Cadmio (Cd)	mg/l	0.003
Cianuro	mg/l	0.07
Cloro libre residual	mg/l	0.3 – 1.5
Cobre	mg/l	2.0
Cromo total	mg/l	0.05
Fluoruros	mg/l	1.5
Mercurio	mg/l	0.006
Níquel	mg/l	0.07
Plomo	mg/l	0.01
Radiación total alfa	Bg/l	0.5
Radiación total Beta	Bg/l	1.0
Selenio	mg/l	0.04

Fuente: El autor

Tabla 3 Requisitos microbiológicos NTE INEN 1108: Quinta revisión 2014-01

Parámetro	Unidad	Límite máximo permisible
Coliformes fecales (1) Tubos múltiples	NMP/100ml	< 1.1*
Filtración por membrana	Ufc/100ml	<1**
Cryptosporidium,	NMP/100ml	Ausencia
Guardia	NMP/100ml	Ausencia
<1.1 significa que en el ensayo del NMP, utilizando 5 tubos de 20cm3 o 10 tubos de 10cm3 ninguno es Positivo		
** <1 significa que no se observan colonias		

Fuente: El autor

Resultados

Pruebas de tratabilidad del agua cruda

Tabla 4 Caracterización del agua cruda (Influyente).

Fecha de análisis: 30/07/2013		Caudal de promedio: 10GPM		Tiempo de operación: 16 horas	
Parámetro	Expresado como	Unidad	Agua cruda valor obtenido	Limite máximo permisibles tulas	Método de análisis **
Temperatura	T	°C	27,5	Condición Natural + o - 3grados	APHA 2550-B
Potencial Hidrógeno	pH	u	7,79	6 hasta 9	APHA 4500-B
Alcalinidad a la Fenoltaleina (CaCO3)	(CaCO3)	mg/l	-	-	APHA 2320-B
Alcalinidad Total (CaCO3)	(CaCO3)	mg/l	39	-	APHA 2320-B
Cloruros (Cl)	(Cl-)	mg/l	6	250	4500-CL-B
Color Verdadero	Pt-Co	Upt-Co	82	100	APHA 2120-C
Conductividad (eléctrica)	uS/cm	mmohs/cm	114	-	APHA 2510-B
Dureza Total (CaCO3)	(CaCO3)	mg/l	-	500	APHA 2340-C
Cloro Libre	Cl2	mg/l	-	-	DPD-Comparador
Hierro Total (Fe)	Fe	mg/l	0,81	1	HACH
Calcio (Ca++)	(Ca++)	mg/l	11,4	-	HACH
Magnesio (MgH)	(MgH)	mg/l	5,83	-	HACH
Nitrógeno Amoniacal (N - NH3)	(N - NH3)	mg/l	-	1	HACH
Sulfatos (SO4)	(SO4)	mg/l	1	400	HACH
Sólidos Disueltos Totales	SDT	mg/l	51	1000	Medidor Portátil
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	18	-	APHA 2540-B
Sólidos Totales	ST	mg/l	69	-	Gravimétrico
Turbiedad	U.N.T	UNT	16	500	APHA 2130-B
Fosforo (P04)	(P04)	mg/l	0,39	-	HACH
Materia Orgánica (D.Q.O)	DQO	mg/l	-	3	APHA 5220-D
Nitratos (NO3 - N)	(NO3 - N)	mg/l	0,3	10	HACH
Nitritos (NO2 - N)	(NO2 - N)	mg/l	0,006	1	HACH
Aluminio (Al+3)	(Al+3)	mg/l	0,021	0,2	HACH

Fuente: El autor

Examinando los diferentes parámetros de las tablas se observó lo siguiente:

- Temperatura. Cumple con la norma TULAS
- Potencial Hidrógeno. Cumple con la norma
- Cloruros. Cumple con la norma TULAS (
- Color Verdadero. Cumple con la norma TULAS
- Hierro Total. Cumple con la norma TULAS
- Sulfatos. Cumple con la norma TULAS
- Sólidos Disueltos Totales. Cumple con la norma TULAS
- Turbiedad. Cumple con la norma TULAS

➤ Nitratos. Cumple con la norma TULAS

Conclusión: (agua cruda)

De acuerdo con el Registro Oficial Edición Especial No 2, Marzo 31 del 2003, Decreto No 3516,

Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiente (TULAS).

Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico que únicamente Requieran tratamiento convencional (Coagulación, Floculación,

Sedimentación, Filtración y Desinfección). Los resultados obtenidos en los análisis Físicoquímico y microbiológicos correspondientes a la muestra analizada No 1, con Fecha de Ingreso 30/Julio/2013, si cumplen con los límites máximos permisibles, para efectuar el tratamiento convencional previo, al

consumo humano y uso doméstico; y se refieren exclusivamente a la muestra analizada.

Métodos utilizados: Estándar Methods for the examination of wáter, wasterwater 22 ND edición 2012.

Tabla 5 Caracterización del agua cruda (Influente).

Fecha de análisis: 20/08/2013		Caudal de promedio: 10GPM		Tiempo de operación: 16 horas	
Parámetro	Expresado como	Unidad	Agua cruda valor obtenido	Límite máximo permisibles tulas	Método de análisis **
Temperatura	T	°C	26,1	Condición Natural + o -3grados	APHA 2550-B
Potencial Hidrógeno	pH	u	7,45	6 hasta 9	APHA 4500-B
Alcalinidad a la Fenolftaleina (CaCO3)	(CaCO3)	mg/l	-	-	APHA 2320-B
Alcalinidad Total (CaCO3)	(CaCO3)	mg/l	35	-	APHA 2320-B
Cloruros (Cl)	(Cl-)	mg/l	3	250	4500-CL-B
Color Verdadero	Pt-Co	Upt-Co	62	100	APHA 2120-C
Conductividad (eléctrica)	uS/cm	mmohs/cm	107	-	APHA 2510-B
Dureza Total (CaCO3)	(CaCO3)	mg/l	-	500	APHA 2340-C
Cloro Libre	Cl2	mg/l	-	-	DPD-Comparador
Hierro Total (Fe)	Fe	mg/l	0,42	1	HACH
Calcio (Ca++)	(Ca++)	mg/l	12,3	-	HACH
Magnesio (MgH)	(MgH)	mg/l	1,33	-	HACH
Nitrógeno Amoniacal (N - NH3)	(N - NH3)	mg/l	-	1	HACH
Sulfatos (SO4)	(SO4)	mg/l	6	400	HACH
Sólidos Disueltos Totales	SDT	mg/l	39	1000	Medidor Portátil
Sólidos Totales	ST		53	-	APHA 2540-B
Turbiedad	U.N.T	mg/l	12	500	Gravimétrico
Fosforo (P04)	(P04)	UNT	0,47	-	APHA 2130-B
Materia Orgánica (D.Q.O)	DQO	mg/l	-	3	HACH
Nitratos (NO3 - N)	(NO3 - N)	mg/l	0,5	10	APHA 5220-D
Nitritos (NO2 - N)	(NO2 - N)	mg/l	0,004	1	HACH
Aluminio (Al+3)	(Al+3)	mg/l	0,92	0,2	HACH

Fuente: El autor

SI CUMPLEN con los límites máximos permisibles, para efectuar el tratamiento convencional previo, al consumo humano y uso doméstico; y se refieren exclusivamente a la muestra analizada

Fecha de análisis: 20/08/2013		Caudal de promedio: 10GPM		Tiempo de operación: 16 horas	
Parámetro	Expresado como	Unidad	Agua cruda valor obtenido	Límite máximo permisibles tulas	Método de análisis **
Temperatura	T	°C	26	Condición Natural + o -3grados	APHA 2550-B
Potencial Hidrógeno	pH	u	7,42	6 hasta 9	APHA 4500-B
Alcalinidad a la Fenolftaleína (CaCO ₃)	(CaCO ₃)	mg/l	-	-	APHA 2320-B
Alcalinidad Total (CaCO ₃)	(CaCO ₃)	mg/l	42	-	APHA 2320-B
Cloruros (Cl)	(Cl ⁻)	mg/l	4	250	4500-CL-B
Color Verdadero	Pt-Co	Upt-Co	33	100	APHA 2120-C
Conductividad (eléctrica)	uS/cm	mmohs/cm	109	-	APHA 2510-B
Dureza Total (CaCO ₃)	(CaCO ₃)	mg/l	-	500	APHA 2340-C
Cloro Libre	Cl ₂	mg/l	-	-	DPD-Comparador
Hierro Total (Fe)	Fe	mg/l	0,82	1	HACH
Calcio (Ca ⁺⁺)	(Ca ⁺⁺)	mg/l	12,03	-	HACH
Magnesio (MgH)	(MgH)	mg/l	2,91	-	HACH
Nitrógeno Amoniacal (N - NH ₃)	(N - NH ₃)	mg/l	-	1	HACH
Sulfatos (SO ₄)	(SO ₄)	mg/l	5	400	HACH
Sólidos Disueltos Totales	SDT	mg/l	53	1000	Medidor Portátil
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	20	-	APHA 2540-B
Sólidos Totales	ST	mg/l	73	-	Gravimétrico
Turbiedad	U.N.T	UNT	11	500	APHA 2130-B
Fosforo (P ₀₄)	(P ₀₄)	mg/l	0,68	-	HACH
Materia Orgánica (D.Q.O)	DQO	mg/l	-	3	APHA 5220-D
Nitratos (NO ₃ - N)	(NO ₃ - N)	mg/l	0,4	10	HACH
Nitritos (NO ₂ - N)	(NO ₂ - N)	mg/l	0,04	1	HACH
Aluminio (Al ⁺³)	(Al ⁺³)	mg/l	0,09	0,2	HACH

Fuente: El autor

SI CUMPLEN con los límites máximos permisibles, para efectuar el tratamiento convencional previo, al consumo humano y uso doméstico; y se refieren exclusivamente a la muestra analizada.

Discusión

El análisis de resultados mediante la caracterización del efluente tratado se puede apreciar que los mencionados parámetros mediante los análisis físico-químico y microbiológico cumplen las normas establecidas nacionales de control de calidad

del agua, los mismos que están dentro de los parámetros permitidos como son valores de pH, color, turbiedad, alcalinidad, sólidos totales, nitritos y nitratos, logrando disminuir un alto porcentaje mediante el proceso de la filtración. Cabe mencionar en cuanto el resultado de los análisis microbiológicos mencionados en la tabla revelo una alta eficiencia de remoción mediante el proceso de filtración de lecho mixto con un porcentaje de remoción en los indicadores de contaminación fecal siendo estos los coliformes fecales del influente y del

efluente, lo cual demuestra que el sistema de purificación actúa eficientemente.

Con los análisis realizados, ahora se tiene conocimiento de la variación de los parámetros caracterizados, estas variaciones se atribuyen a causas externas como los efectos climáticos (en época de invierno), cabe mencionar que existe una variación en la turbiedad del agua bruta esto se debió a las condiciones climáticas bajo el cual el agua arrastra una mayor cantidad de contaminantes.

En cuanto a los resultados de los análisis microbiológicos arrojó que se encontraron dentro de los parámetros permisibles los mismos que fueron eliminados completamente en la etapa de desinfección demostrándonos la eficiencia de la planta. Todo esto se consiguió mediante la optimización de la planta.

Se determinó la granulometría de los lechos de filtración para la optimización de la planta, lo cual se realizó para mejorar la eficiencia mediante el uso de un lecho mixto (arena y antracita) y un lecho de soporte que es la grava, se varió la altura de los lechos tomando en consideración el espacio libre de expansión para evitar la interferencia del medio poroso en el agua tratada. Los resultados obtenidos demostraron la disminución de los parámetros de calidad para las plantas potabilizadoras demostrando así la eficiencia y eficacia de la planta.

No debemos de dejar de mencionar que los análisis fisicoquímicos y microbiológicos se realizaron en épocas de invierno y verano los mismos que nos permitieron determinar las dosis del químico a utilizar en la floculación y en la etapa de desinfección para cumplir con los estándares de calidad del agua NTE INEN 1108:2014 Quinta revisión.

La dosis del químico está en función de la característica de las aguas ya que son diferentes en épocas de verano e invierno, menciono esto es porque se hace de mayor uso de los químicos que intervienen en el proceso de potabilización del agua, en invierno por la cantidad de impurezas arrastradas en las lluvias lo cual nos representa mayor cantidad de contaminantes.

Conclusiones

Cabe evidenciar que mediante la optimización del proceso de filtración en la planta potabilizadora de filtración rápida con un caudal de tratamiento se encuentra trabajando al máximo de su capacidad que son de 0,63 l/s, esto no implica un aumento de caudal, ya que la fuente de aprovisionamiento es el río Babahoyo.

La caracterización del efluente de la planta potabilizadora, se verificó con el proceso actual, logrando remover la turbiedad del agua en un 99%, siendo el valor del efluente de 1.25 NTU, para el color el porcentaje de remoción es casi removido en su totalidad en un 96% y un porcentaje de remoción de coliformes fecales en el efluente de 100% esto significa ausencia total de microorganismo patógenos.

Estos resultados en el efluente indican que el agua procesada cumple los estándares de calidad establecidas por la Organización Mundial de la Salud (OMS), Organización Panamericana de la Salud (OPS) y de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos de Norteamérica, que resultan compatibles con la Legislación Ambiental nacional vigente y las Norma NTE INEN 1108:2014, quinta revisión.

En la Planta de Potabilización se aplicaron los procesos de Clarificación y Desinfección del Agua. Los procesos de clarificación incluyen tres fases: coagulación, floculación y separación de partículas; las dos primeras son

solamente procesos preparatorios para el tercero, que se hace por sedimentación y filtración.

La coagulación incluye la Mezcla rápida del agua cruda con las sustancias químicas. Se cumplió la optimización de la planta, y se pudo obtener un agua de excelente calidad. Es una planta con un límite de seguridad amplio para trabajar con turbiedades altas y bajas para distintas estaciones del año.

Mediante las muestras experimentalmente analizadas en los laboratorios, se pudo obtener las dosis óptimas del coagulante a través de la prueba de jarras para el agua cruda, en las diferentes estaciones del año, cabe mencionar que dicha dosis fue determinada en los meses de Febrero y Julio, que sirvieron para determinar las diferentes corridas experimentales en la planta; no debemos de dejar de mencionar que la dosis del coagulante varía según la calidad de la fuente.

Se logró determinar las variables de operación mediante los diferentes ensayos en la mencionada planta potabilizadora las mismas que son: turbiedad, pH, color y temperatura.

Referencias Bibliográficas

Acosta Pacheco, M. (2024). Derecho al acceso y consumo del agua potable en el cantón Milagro. (Master's thesis, La Libertad:

Universidad Estatal Península de Santa Elena. 2024).

Alvarado, J. (2024). Análisis de COVID-19 y ahorro de agua potable: una perspectiva multifactorial. *Revista Económica*, 12(1), 33-44.

Castañeda, H. (2024). Gobernanza del agua: humedal Jaboque. *PILEO–PRAE del Colegio Charry Institución Educativa Distrital. Biografía*, 17(32).

Feria, J. (2020). Uso de semillas de *Tamarindus indica* como coagulante natural en el tratamiento de agua cruda. *Revista Espacios. ISSN*, 798, 1015.

Mancheno, A. (2024). Efectos del consumo de agua contaminada en la calidad de vida de las personas. *Polo del Conocimiento*, 9(1), 614-632.

Medina, P. (2024). Tendencias temporales en los niveles de Cloro residual en el Sistema de Aguas de Ciudad Valles de los Años 2020-2022. *Revista de divulgación científica y tecnológica. ISSN*, 2444, 4944.

Muñoz, A. (2024). Influencia de las condiciones ambientales sobre la distribución y tipos de microplásticos en aguas superficiales en la bahía de Tumaco, Pacífico colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 53(1).

Rubio Dávila, D. (2020). Optimización en la remoción de turbidez mediante prueba de jarras empleando Quitosano a partir de las escamas del *Trachurus* Murphyi.



Esta obra está bajo una licencia de **Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional**. Copyright © Isidoro Pacífico Merino Acosta.

