

Propuesta de solución a sistemas de tratamiento de aguas en la región sierra ecuatoriana, caso de estudio

Proposal for a solution to water treatment systems in the Ecuadorian highlands, case study

RUIZ, Clara I.¹
MOSCOSO, Ronal E.²
CRUZ, Ronny I.³
PILCO, Ana M.⁴

Resumen

Esta investigación ofrece solución al agudo problema de garantizar sistemas de tratamientos de agua y su potabilización en el sostenimiento de parroquias en la región sierra ecuatoriana. Son declaradas investigaciones exploratorias, descriptivas, explicativas y estudio de caso. Se adoptan métodos científicos de gestión y análisis de información, de expertos, de las contradicciones dialécticas, matemáticos estadísticos. Se concluye la factibilidad de ejecución del proyecto a partir del estudio de caso y su generalización en otras parroquias, atendiendo a su contexto particular

Palabras clave: tratamiento de aguas, potabilización, salud humana, sostenibilidad parroquias

Abstract

This research offers a solution to the acute problem of guaranteeing water treatment systems and making them drinkable in the support of parishes in the Ecuadorian highlands. Exploratory, descriptive, explanatory, and case study investigations are declared. Scientific methods of management and analysis of information, of experts, of dialectical contradictions, statistical mathematicians are adopted. The feasibility of project execution is concluded from the case study and its generalization in other parishes, taking into account their particular context

key words: water treatment, purification, human health, local sustainability

1. Introducción

La necesidad de garantizar el consumo de agua potable en los seres humanos es acuciante y pertinente en comunidades y parroquias del Ecuador, en especial asentamientos localizados en la serranía andina, donde mestizos e indígenas conviven socialmente. Esta garantía de agua potable, está definida en el Ecuador según requisitos de la norma técnica INEN-1108. (INEN-1108, 2011).

Sostener la vida humana, salud, desarrollo social y cultural comunitario, depende en gran medida de un suministro de agua adecuado y de calidad. Sin embargo, este vital recurso ha sido degradado y amenazado entre otros factores, por las situaciones climáticas y falta del cuidado humano, a tenor de los criterios de (Gil, Soto, &

¹ Especialista Seguridad Trabajo. Empresa Asesoría FISSO. Correo: claribel_rs2389@hotmail.com

² Docente Investigador. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Correo: ronal.moscoso@epetroecuador.ec

³ Docente Investigador. Universidad Nacional de Chimborazo. Correo: ronny.cruz@unach.edu.ec

⁴ Docente Investigador Universidad Nacional de Chimborazo. Correo: maria.pilco@unach.edu.ec

Usma, 2012). Del concepto el agua para consumo humano, esta investigación adopta de instituciones como (WHO, 2011); (SENAGUA, 2012); (ALCORA, 2016); (MINSAP, 2017), como aquella utilizada como bebida directa y/o en la preparación de alimentos y que se encuentra libre de patógenos o de sustancias tóxicas que puedan constituir un factor de riesgo para el individuo. La calidad del agua es un excelente indicador de las condiciones de vida de una población, como bien fundamentan los investigadores (Hernández, Chamizo, & Mora, 2011).

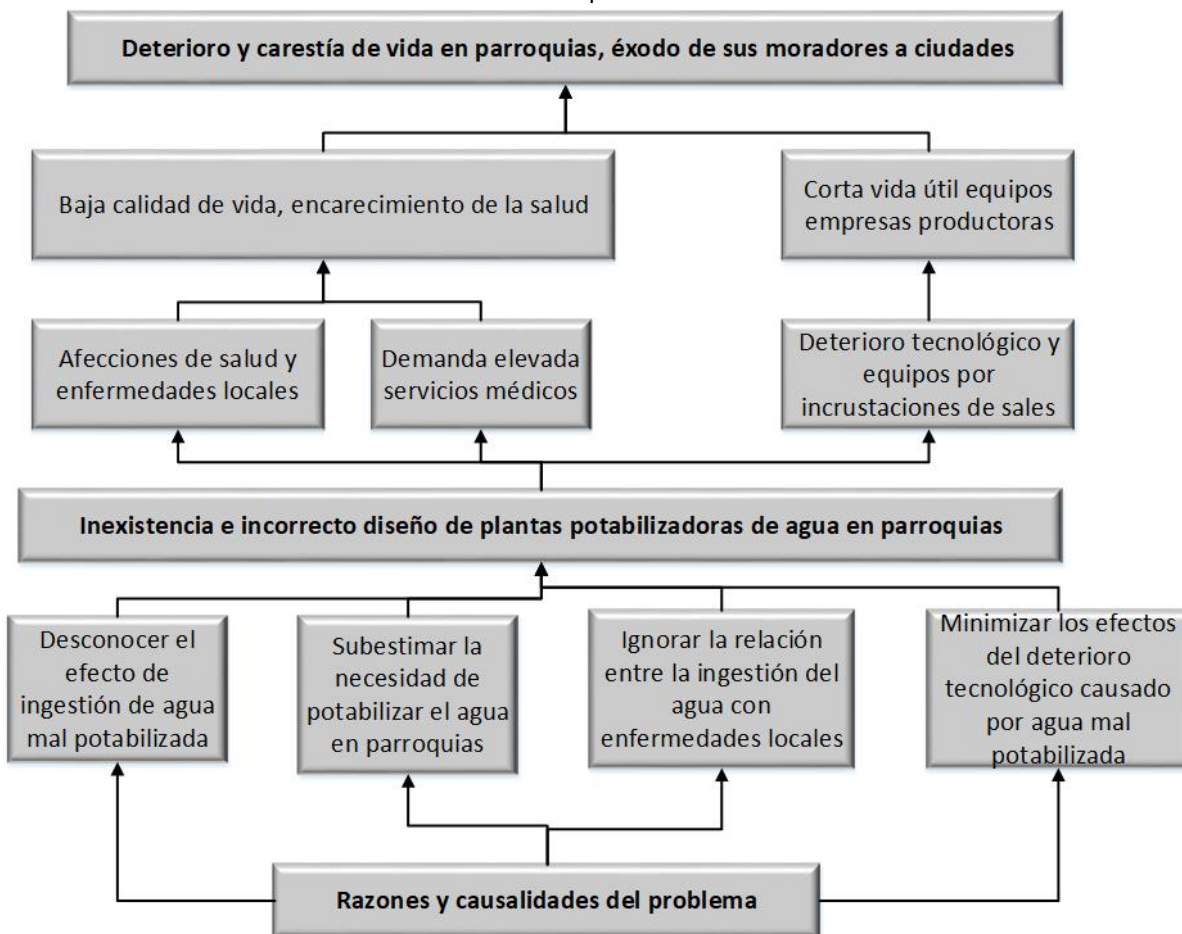
De las afecciones de salud más comunes de salud localizadas en parroquias serranas, donde la ingestión del agua es uno de los factores que influencia en la aparición de estas, y, a tenor de (OMS-UNICEF, 2018); (UNICEF, 2019), se citan, entre otras, las diarreas entre niños y niñas; envenenamiento con arsénico creando lesiones en la piel o queratosis y puede derivar en cáncer de piel, de pulmón, de vejiga y de riñón; fluorosis esquelética, la cual es una enfermedad grave de los huesos causada por una alta concentración natural de fluoruro en las aguas subterráneas; parasitismo; esquistosomiasis, donde los parásitos penetran la piel de las personas que están nadando, bañándose o lavando en fuentes de agua contaminadas y pueden provocar infecciones que, a la larga, dañan el hígado, los intestinos, los pulmones y la vejiga; tracoma, es una infección de los ojos que se propaga principalmente a causa de las malas prácticas higiénicas debidos a la falta de un suministro de agua adecuado y a la existencia de condiciones insalubres de saneamiento ambiental.

Se añaden las advertencias de la (OMS, 2017) referidos a los servicios de agua, saneamiento e higiene pueden evitar una amplia gama de enfermedades como las helmintiasis transmitidas por el suelo que se deben a la deficiencias de saneamiento e higiene; las enfermedades que, como el paludismo y el dengue, transmiten vectores que se reproducen en el agua; y otras enfermedades, como la legionelosis, que son causadas por aerosoles que contienen determinados microorganismos.

Esta investigación, expone los resultados del estudio para el diseño de potabilización a partir de aguas subterráneas. La mayoría de parroquias en este sector andino, disponen de fuentes de agua, provenientes de vertientes subterráneas. Hoy, se califican de agudos, disímiles y perentorios los problemas acumulados con el tratamiento del agua en parroquias rurales serranas.

El caso de estudio, se ejecuta en la parroquia rural de San Isidro, perteneciente al cantón Guano de la provincia de Chimborazo, al diseñar la capacidad y requisitos a satisfacer de la demanda existente en este sector. En el caso de estudio, la fuente de agua abastece a tres comunidades y dos barrios, lo cual representa aproximadamente unos 280 habitantes que hacen uso de este líquido vital. La situación problema descrita, se resume en la figura 1.

Figura 1
Árbol de problemas



Fuente: Autores

Sin embargo, los moradores de estos poblados no tienen acceso al servicio de agua potable, solo disponen de agua entubada la cual es recolectada desde la vertiente hidrográfica mediante cisternas de hormigón, y conducida mediante un sistema de tuberías bastante deplorables hasta una caseta de cloración, sin verificar otros parámetros que determinan la calidad del agua, como bien lo fundamenta (Ruiz, 2013).

1.1. Ciclo hidrológico en las parroquias rurales serranas

Es conocido de la continua circulación del agua, a través del interminable ciclo hidrológico de precipitación o lluvia, escurrimiento, infiltración. Adoptando los presupuestos de (Guerrero, 1969, pág. 2), se entiende por fuente de abastecimiento de agua “aquel punto o fase del ciclo natural del cual se desvía o aparta el agua, temporalmente para ser usada, regresando finalmente a la naturaleza”. (p.2)

Generalmente, las comunidades más pequeñas en la sierra ecuatoriana, son las que emplean abastecimientos subterráneos de agua, por lo limitado que resulta el volumen de un acuífero. Un inconveniente de los abastecimientos subterráneos, es su tendencia a proveer aguas excesivamente duras, producto a que los constituyentes que causan la dureza son lavados de los depósitos minerales. La dureza del agua y la ausencia de mantenimientos preventivos, provocan deterioro, obstrucciones de tuberías, y equipos como bien afirman los investigadores (Moscoso, 2017); (Moscoso, Rivas, & Núñez., 2019).

Más, este abastecimiento subterráneo, goza de la ventaja de proporcionar aguas que requieren menor grado de tratamiento, pues las impurezas se eliminan en forma natural a medida que el agua atraviesa las capas del suelo

y el subsuelo. Entonces, es preciso asumir que lo mencionado puede variar de acuerdo a las características y condiciones de la zona. Significa que, las parroquias rurales no poseen idéntico hábitat o entorno acuífero, y se precisa caracterizar la localidad previo al diseño de proyecto, además de velar por la calidad del agua, como bien fundamentan (Weber & Borchardt, 2003).

1.2. De las etapas asumidas en la propuesta del proyecto

Desde el comienzo del proceso de potabilizar el agua, la captación se ejecuta por medio de tomas de agua en los ríos o diques. Esta agua, está expuesta a la incorporación de materiales y microorganismos, lo que implica un proceso más complejo para su tratamiento físico-químico y microbiológico. Referido a las variables inherentes tales como turbiedad, el contenido mineral y el grado de contaminación, varían según la época del año. La captación de aguas subterráneas, se efectúa por medio de pozos de bombeo o perforaciones adoptando los autores de esta investigación los preceptos de (Brito, 2004).

Al proceso de conducir el agua desde su captación hasta la planta de tratamiento, se le denomina aducción, caracterizado por conjunto de elementos, tales como tuberías, canales, túneles y otros dispositivos. La aducción permite el transporte de agua desde el punto de captación hasta un tanque de almacenamiento, o la planta de tratamiento. Son evidenciados casos, que, valoradas las condiciones como aptas o buenas, el agua llega directamente hasta el primer punto previo a la distribución en la red local.

Ya el agua almacenada en tanques de quietamiento, con la pre-sedimentación, se logran eliminar las partículas sólidas y la turbidez. Se retienen los sólidos sedimentables (arenas), y los sólidos pesados caen al fondo. En su interior, las piletas pueden contener placas que permiten mayor contacto con estas partículas, donde el agua fluye a través del desborde.

Referido a la etapa de aireación, permite inyectar oxígeno del aire; eliminar gases disueltos (bióxido de carbono y ácido sulfhídrico); eliminar las sustancias volátiles causantes de olor y sabor. Se ejecuta esta aireación por métodos diversos, resaltando la eficacia de aspersores por medio de los cuales el agua se pulveriza en la atmósfera, como bien apunta (Romero, 2002), hasta formar una neblina o gotas muy pequeñas.

A continuación, en la etapa de mezcla rápida, se logra dispersar sustancias químicas y gases contenidos en el agua. Generalmente en las plantas de purificación de agua, se aplica esta operación para permitir que el coagulante sea dispersado uniformemente en la masa de agua, y este proceso se realiza mediante turbulencia de tipo hidráulica o mecánica. La etapa de coagulación se refiere a las reacciones que suceden al agregar un reactivo químico (coagulante) en agua, originando productos insolubles. Las operaciones de coagulación y floculación desestabilizan los coloides y consiguen su sedimentación. Esto se logra por lo general con la adición de agentes químicos y aplicando energía de mezclado.

Ya, en la etapa de la Sedimentación, las partículas en suspensión, como flóculos, la arena y la arcilla, se eliminan del agua, mediante la fuerza de gravedad. Existen dos formas de sedimentación usadas en los procesos de purificación del agua, sedimentación simple y sedimentación después de coagulación y floculación o ablandamiento. En cuanto a la etapa de la Filtración, y asumiendo los preceptos de (Arboleda, 2002), es un proceso de remoción de materia suspendida o separación sólido-fluido mediante el cual el sólido es separado del fluido en una suspensión al utilizar un lecho poroso, denominado medio filtrante.

Acerca del ablandamiento del agua, y según estudios de (Araújo, 2017), es una técnica que sirve para eliminar los iones que caracterizan a un agua ser dura, definida según (AQUAE, 2013); (ClickMica, 2018). Este procedimiento es importante en la potabilización del agua, ya que la dureza puede ocasionar desagradable sensación de resequedad en la piel y en el cabello después de un baño con esta agua o después de usarla continuamente. Se basa el ablandamiento, como bien de explican en (Aquatech, 2017), la transformación de

los productos solubles que son responsables de la dureza del agua, en compuestos insolubles con el uso de compuestos químicos o resinas.

Respecto a la desinfección del agua, y según (EPA, 2017), significa una disminución de la población de bacterias hasta una concentración inocua, en contraste con la esterilización en la cual se efectúa una destrucción total de la población bacteriana. Para el presente proyecto, se asumen los indicadores de la calidad del agua en calidad de alertas que permiten asignar un valor de calidad al medio a partir del análisis de diferentes parámetros. Su combinación da una visión más precisa del estado ecológico y el estado del medio biológico.

Los parámetros más comúnmente utilizados para establecer la calidad de las aguas son los siguientes: oxígeno disuelto, pH, sólidos en suspensión, DBO, fósforo, nitratos, nitritos, amonio, amoniaco, compuestos fenólicos, hidrocarburos derivados del petróleo, cloro residual, cinc total y cobre soluble.

1.3. Problematicación, objetivos y justificación de la investigación

La inexistencia de una propuesta técnica, racional y viable, que permita resolver la calidad del abasto de agua potable a las parroquias rurales, constituye el problema central o general de la investigación. De las preguntas específicas son citadas la viabilidad de diseño de proyectos racionales al identificar las fuentes hidrográficas y sus parámetros de calidad que resuelvan el problema de la calidad de agua; validar el diseño de ingeniería a través de la caracterización final del agua tratada; la capacidad de extrapolar el diseño a otras parroquias serranas rurales y generalizarlo, atendiendo a las particularidades propias locales; la posibilidad de socializar y diseminar esta propuesta a través de canales académicos y públicos. Se parte de la hipótesis que, la propuesta del proyecto de tratamiento de aguas a parroquias rurales, conlleva al aumento de la calidad de vida de sus habitantes

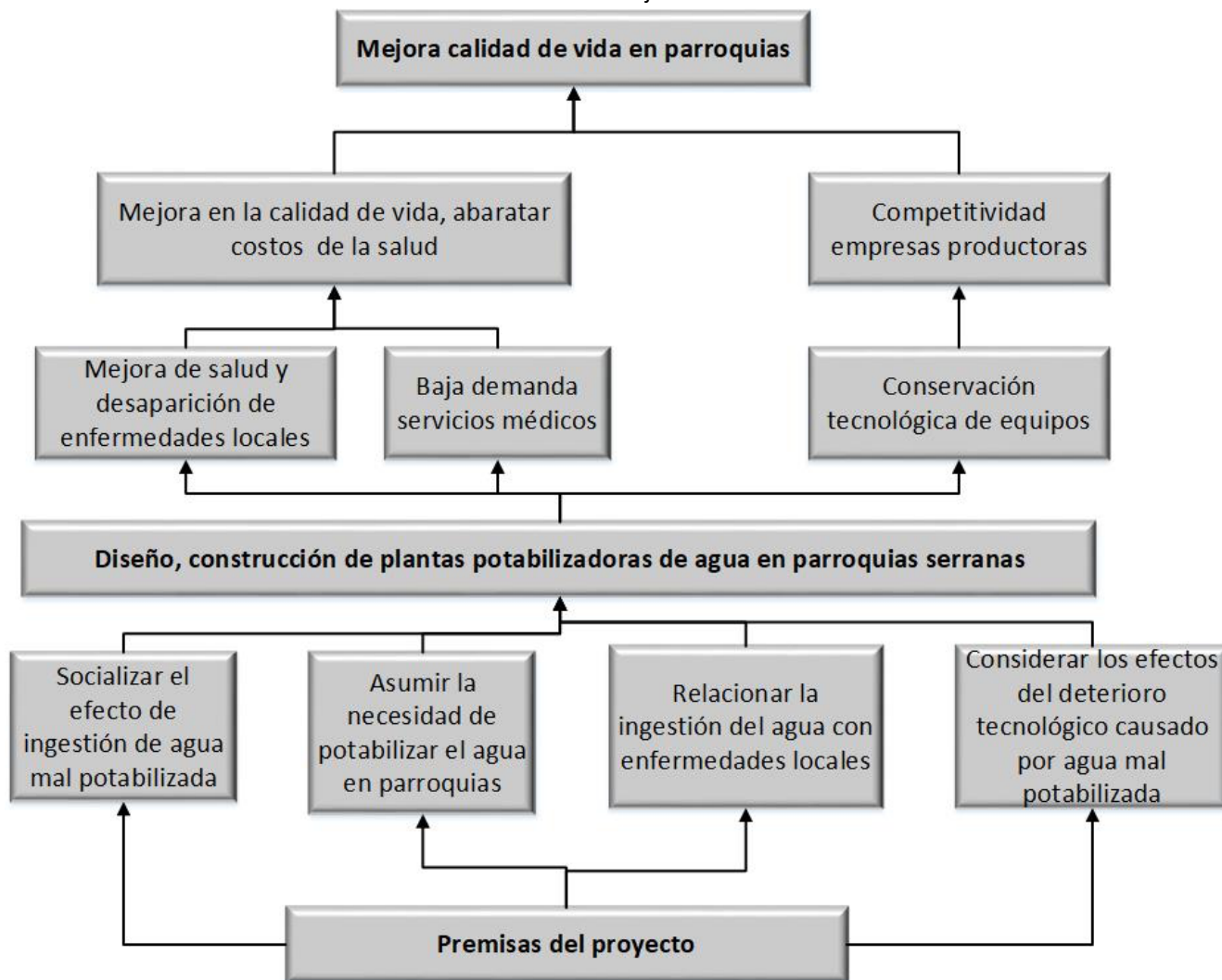
El objetivo central logrado es la propuesta técnica, racional y viable, que permite resolver la calidad del abasto de agua potable a las parroquias rurales. Como objetivos específicos, se logra el diseño de proyecto racional al identificar las fuentes hidrográficas y sus parámetros de calidad que resuelvan el problema de la calidad de agua; es validado el diseño de ingeniería a través de la caracterización final del agua tratada; se demuestra la capacidad de extrapolar el diseño a otras parroquias serranas rurales y generalizar este, atendiendo a las particularidades propias locales; y por último es demostrada la posibilidad de socializar y diseminar esta propuesta a través de canales académicos y públicos.

Se justifica esta investigación, según el modelo formulado por (Hernández, A., & Baptista, 2006) y su conveniencia, pues la necesidad de mejorar la calidad de vida de los habitantes, a partir del tratamiento del agua, es fundamental para la salud y las actividades productivas y sociales. Este presupuesto, está afectado por el progresivo deterioro de las fuentes hidrográficas y el consumo de aguas no aptas para el ser humano.

Así, la justificación socioeconómica se expresa al aportar calidad a los recursos hídricos al sector de consumo y suministro agua para la población. Por tanto, surge la necesidad de diseñar proyectos viables, sustentables para el tratamiento de las aguas y de tal manera, mejorar la vida de las poblaciones locales rurales.

La relevancia social de la investigación, estriba en la mayor participación de actores privados y públicos a la hora de ejecutar el proyecto de tratamiento de las aguas. Los actores beneficiados son las personas, el suelo, el entorno, la sociedad en general. Las implicaciones prácticas de esta investigación residen en la solución de transferir la propuesta de diseño a los actores encargados de los Gobiernos Autónomos Descentralizados y líderes comunitarios. Se resume esta justificación en la figura 2.

Figura 2
Árbol de objetivos



Fuente: Autores

Esta investigación, devenida propuesta de diseño ingeniero, resuelve problemas de diversas naturalezas al optimizar recursos laborales, humanos. Del valor teórico contenido en esta investigación, se cita el propio proyecto, revelado como herramienta al aportar al estado del arte en este campo de las soluciones a tratamientos hídricos. El aporte teórico radica en rellenar el hueco del conocimiento relativo a los tratamientos del agua y la mejora de la salud humana en las zonas rurales serranas.

De las contradicciones dialécticas que originan esta investigación, cito la voluntad del estado ecuatoriano en promover acciones de mejora de la calidad de vida, y la ausencia de propuestas técnicas para potabilizar el agua; del reclamo de habitantes de parroquias rurales a los gobiernos autónomos municipales ante el tratamiento de las aguas y la ausencia de propuestas concretas; de la presencia de universidades e instituciones técnicas en la provincia de Chimborazo, y el insuficiente aporte de propuestas de solución al tema del agua potable.

2. Metodología

Esta investigación, devenida proyecto técnico, declara su carácter científico, como la serie de pasos que conducen a la búsqueda de conocimientos mediante la aplicación de métodos y técnicas de corte científico. Así, se aplican técnicas e instrumentos, cálculos y descripciones, diseño y selección de tecnologías, además del procedimiento metodológico implícito en el propio proyecto.

2.1. Tipos de estudios declarados

Se adoptan y declaran estudios de tipo exploratorio, pues el objetivo o tema a investigar de propuestas para tratamientos de aguas en parroquias rurales serranas es poco estudiado y no ha sido abordado con la profundidad requerida con anterioridad. Se evidencian insuficientes existencias de fuentes referenciales sobre este campo investigativo, de la ausencia de estudios y propuestas factibles que permitan gestar este proyecto y resolver la problemática del agua potable.

La investigación descriptiva permite identificar conceptos y variables que permiten establecer prioridades para investigaciones posteriores o sugerir afirmaciones en cuanto a la adecuación de instrumentos para la determinación del proyecto en cuestión. La gestión informacional ejecutada, revela que existen nichos no investigados acerca de la disponibilidad propuesta de proyectos de tratamiento de aguas en las parroquias rurales serranas del Ecuador.

Énfasis en esta investigación, en el marco metodológico, que a tenor de (Hurtado & Toro, 2007, pág. 90), “el diseño del marco metodológico constituye la medula de la investigación, se refiere al desarrollo propiamente del trabajo investigativo” (p.90). El estudio de tipo descriptivo, se aplica a tenor de los postulados de (Hernández, A., & Baptista, 2006, pág. 119) donde “la investigación descriptiva busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice” (p.119).

Así, se especifica la propuesta diseñada y validada, revelado en fases y acciones, de tal manera se logran evaluar dimensiones y componentes del problema científico. Referido al estudio explicativo, se logra desbordar la mera descripción de conceptos y fenómenos asociados al tratamiento del agua y complementado con enfoque multidisciplinar y sistémico propuesto como herramienta replicable en otras parroquias, atendiendo a los contextos específicos. De tal manera, pueden responderse o explicarse enfoques y visiones desde disímiles campos de estudio, como es el económico, salud, ambiental, social.

Se clasifica esta investigación como proyecto factible tipo propuesta. Se pretende solucionar problemas, requerimientos y necesidades a un problema específico, al diseñar, validar e implementar este proyecto expresado como propuesta viable a ser generalizado por investigadores e instituciones encargadas.

Referido a la factibilidad de realización de esta investigación, y asociado a proyecto factible, adoptando los criterios de (Arias, 2006, pág. 134), el cual señala que “se trata de una propuesta de acción para resolver un problema práctico o satisfacer una necesidad. Es indispensable que dicha propuesta se acompañe de una investigación, que demuestre su factibilidad o posibilidad de realización” (p.134).

El estudio de caso o de campo es declarado y ejecutado a tenor de los presupuestos de (Roldán, 2000), en calidad de análisis sistemático de problemas con el propósito de detallarlos, explicar sus causas y efectos, entender su naturaleza y los factores contribuyentes y predecir su ocurrencia en el propio medio donde se suscitan los eventos investigados. Así, este estudio parte del análisis a nivel técnico, químico, microbiológico, civil, ya validado al establecer y explicitar las variables físico-químicas y microbiológicas del agua para su consumo.

2.2. Métodos científicos adoptados

Asociado al conjunto de técnicas y procedimientos empleados para producir conocimiento, -el método científico, se mencionan el análisis y síntesis bibliográfico de las fuentes estructuradas y no estructuradas, logrando conocer y contextualizar las mejores prácticas y estado del arte del campo de estudio y en específico del problema científico; método de consulta a expertos, al apelar a especialistas que evacuen las dudas y permitan reorientar

el experimento del diseño del proyecto y que provean del criterio de validez de la propuesta del conocimiento; método de las contradicciones dialécticas, lo que permite descubrir la génesis del problema científico y los elementos conflictuales que en ellos se revelan, desmembrando los efectos y razones.

Se adicionan el método del enfoque sistémico, permitiendo enlazar, relacionar de manera ínter e intra-disciplinar los procesos implícitos en este proyecto, adoptando las relaciones y prácticas dependientes entre estos; el método histórico al obtener información de la zona relacionada con los cambios y acontecimientos hidrológicos ocurridos en el transcurso de los años y que consecutivamente permite evaluar la veracidad o falsedad de los datos obtenidos.

El método deductivo se revela en el contexto general de la unidad hidrográfica al determinar las particularidades de la zona de estudio, mediante el razonamiento lógico, es decir, mediante la deducción de la información generada de fuentes de información primarias y fuentes secundarias. De las técnicas implícitas en el método empírico, la observación permite identificar fenómenos, hechos, casos, acciones, situaciones, que se desarrollan en la localidad de las parroquias rurales serranas, con el cual se obtuvo información necesaria para la investigación. Los instrumentos utilizados en esta técnica fueron registros de campo y de laboratorio.

2.3. Del procedimiento investigativo

Cada método científico declarado, se aplica según procede, en las diferentes etapas del procedimiento investigativo, según la figura 3

Figura 3
Etapas procedimiento investigativo



Fuente: Autores investigación

Referido al plan y técnicas de muestreo del agua, la recolección de muestras se fundamenta en las normas Standard Methods *2310 A y B, según (StandardMethods, 2017). Se ejecuta plan de muestro de tipo simples o de sondeo, ya que la fuente o masa de agua de la que se recogió las muestras, es bastante constante en su composición en tiempo y espacio. En el Anexo I son descritos los métodos de caracterización del agua.

Por su parte, las técnicas de caracterización del agua, se ejecutan según compilación de (Baird, Eaton, Rice, & Eugene, 2017) citando a: Standard Methods *2550 B; Standard Methods *1060 C; Standard Methods *2130 A y B; Standard Methods *4500 HB; Método HACH DR 2800; Standard Methods *2340 B y C; Standard Methods

*2320 C; Standard Methods *4500 B y D. Referido a la determinación de la contaminación microbiológica, se apela a Standard Methods *PEE/M-03 PEE-M-01

3. Resultados

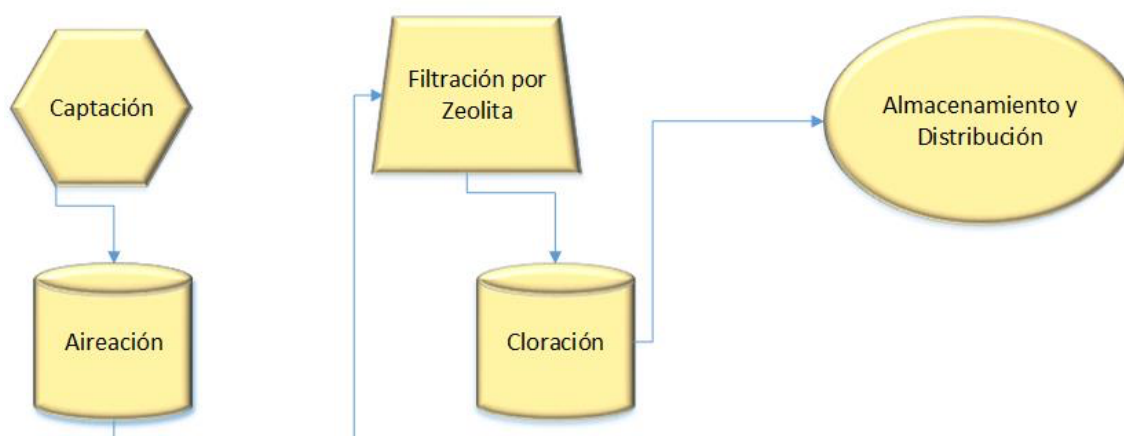
El desarrollo del proyecto, incluida la metodología de diseño, cálculos y tomas de decisiones atendiendo al contexto particular del caso de estudio, es posible acceder en (Ruiz, 2013). De manera sintética, es expuesto el enfoque del proyecto en este artículo científico, siempre adecuado a las características locales.

3.1. Referido al diseño del proyecto

La pretensión es simplificar diseño tecnológico a partir del correcto uso de los aditivos y sales filtrantes, además de la optimización de recursos resultado de los cálculos. Entonces, la captación parte de fuentes subterráneas, demostrando en Anexo II y Anexo III la necesidad del tratamiento, al determinar parámetros físico químicos y microbiológicos fuera de las especificaciones establecidas en las normas ecuatorianas NTE INEN 1108:2011.

Los autores de esta investigación, afirman que, cualquier proyecto de esta naturaleza que no contemple el análisis de las aguas y las tendencias de crecimiento poblacional, además de otras características locales, nunca responderá a las necesidades actuales y futuras de la parroquia rural serrana. Esta advertencia es válida a partir de descubrir proyectos de tratamiento de aguas sin previos estudios, y se exige un enfoque sistémico e interdisciplinar para cada propuesta.

Figura 4
Operaciones implícitas en la propuesta del proyecto
Diagrama del Proceso de tratamiento de Agua Potable, según Propuesta



Fuente: Autores

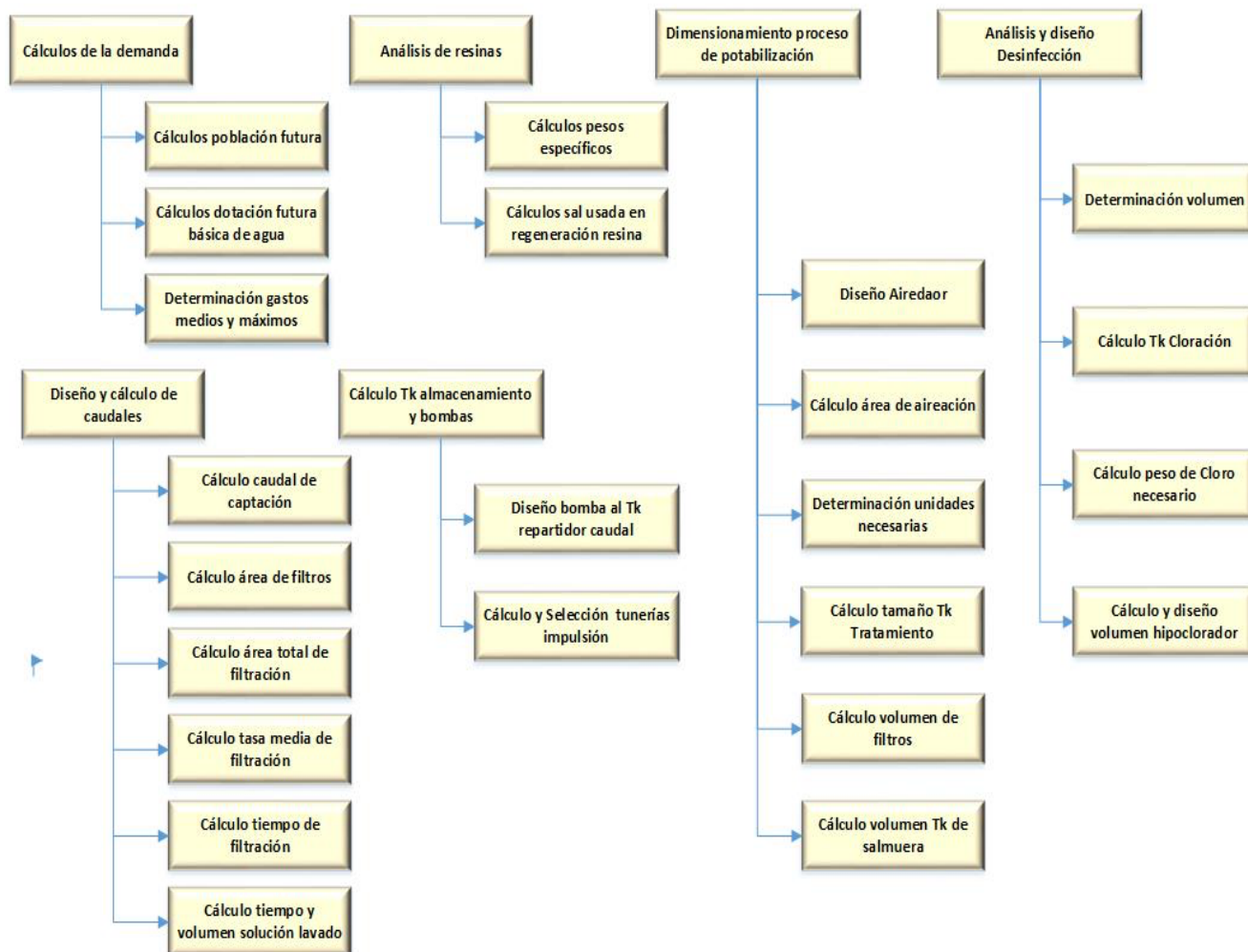
En el presente proyecto, goza de particular relevancia la aireación del agua al inyectar oxígeno y lograr eliminar el bióxido de carbono y sustancias volátiles presentes que influyan en las características organolépticas. Referido a la Filtración, se logra separar de la mezcla de sólidos y fluidos a través del medio poroso, en este caso la Zeolita. Una vez determinada la calidad de agua presente en la Parroquia San Isidro del Cantón Guano, y conociendo que los parámetros que la afectan son la dureza, magnesio, alcalinidad, bicarbonatos y fosfatos, se procede a realizar pruebas que permitan corregir sus valores, mediante método de ablandamiento, por intercambio iónico, y para el efecto, se aplica zeolita natural.

Por su parte, la cloración corresponde a la etapa de Desinfección, y significa una disminución de la población de bacterias hasta una concentración inocua, en contraste con la esterilización en la cual se efectúa una destrucción total de la población bacteriana. La capacidad de la estación de cloración, depende de una serie de

factores entre los cuales deben considerarse la demanda de cloro, dosis de cloro que se necesite para la desinfección; punto de aplicación del cloro

El diseño y cálculo ingeniero contenidos en cada etapa de la figura 2, se detallan en la metodología expresada en la figura 5.

Figura 5
 Secuencia de diseños y cálculos ingenieros
 para la planta de tratamiento de aguas
 Diseño de Ingeniería



Fuente: Autores

Resulta clave durante la captación de datos primarios, de la tendencia y evolución demográfica, además de la tasa de crecimiento poblacional como base de los cálculos. La dotación de agua básica, se expresa en litros por personas al día y la OMS, recomienda que para zonas rurales en clima frío donde el número de habitantes es menor a 2000 la dotación de agua sea de 100 L/habitantes/día cuando la población oscile entre 2000 y 10 000 habitantes la dotación de agua debe ser de 120 L/habitantes/día.

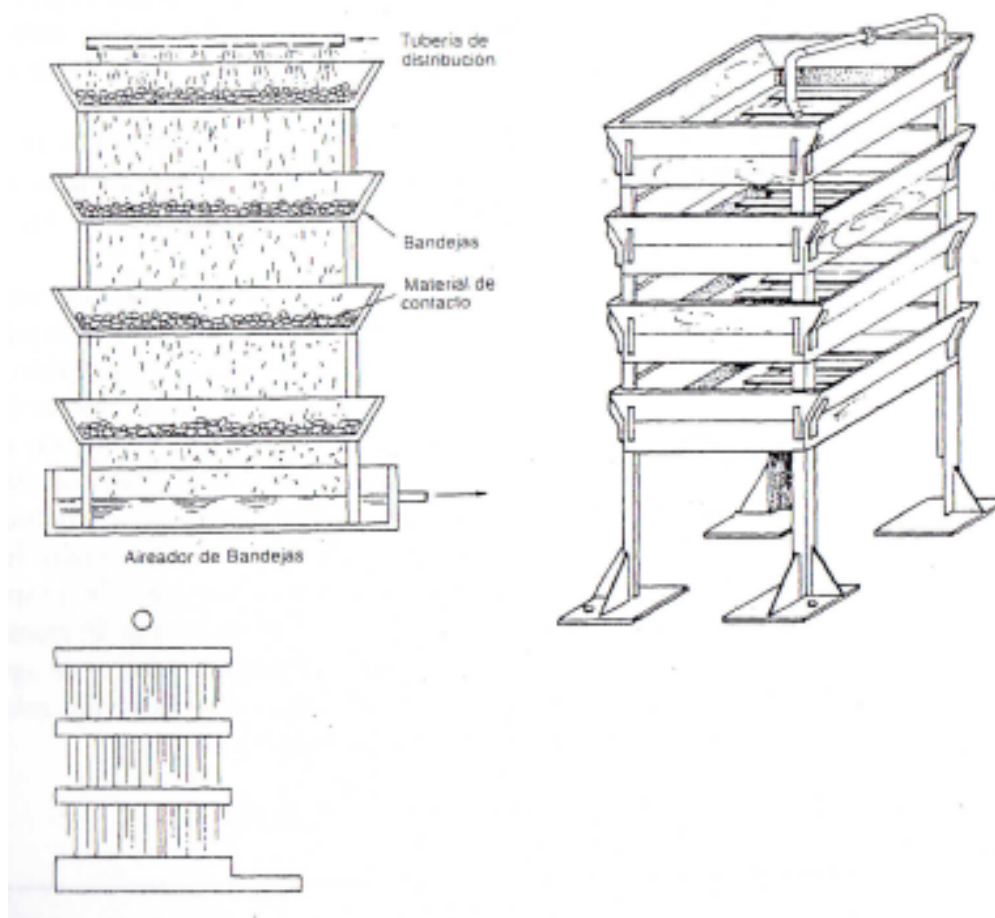
Los caudales de diseño son calculados a partir del caudal de captación, ya conocido el gasto máximo horario y diario. Así, el caudal de planta de tratamiento, arroja valores de 21,3 L/s en el caso de estudio. Para el cálculo de las bombas y su potencia, se asumen las variables de altura de carga, altura estática de succión y de descarga, la presión de succión y descarga, velocidades de succión y descargas, además de las pérdidas de energía en tuberías

y accesorios. Respecto a la potencia, se asume la potencia requerida, la energía transferida obteniendo la rapidez del flujo de peso.

De los análisis de la resina, se calcula el consumo para volumen de metro cúbico, determinando además el peso específico. Con estos datos es calculada la cantidad de sal utilizada en la regeneración de la resina, tiempo de recirculación del sistema, cálculo del tanque de almacenamiento y potencia de la bomba.

Resulta clave el diseño del aireador, comprendido en el dimensionamiento de los procesos de potabilización, al incorporar oxígeno al agua y oxidar los compuestos ferrosos. Este caso de estudio arrojó cuatro torres de aireación, con tres bandejas por torre, logrando que toda el agua captada fluya por este proceso como muestra la figura 6.

Figura 6
Diseño aireador de bandejas



Fuente: Autores investigación

Una vez terminada la etapa de filtración, el afluente sigue a la etapa de cloración. Esta desinfección es directa al añadir hipoclorito de calcio. Se precisa conocer su concentración al adicionar al agua y que, para el caso de estudio, hubo de considerarse la contaminación existente subterránea. En el caso del cálculo de volumen del Hipoclorador, se asumen la concentración actual y la dosis de cloro necesaria. Durante el día, la dosificación será automática, y para las noches se decide almacenar la solución utilizada en la desinfección de ocho horas.

Este diseño del proyecto, demuestra su viabilidad en los resultados expresados en Anexo IV de los efluentes del agua tratada. El análisis de resultados y comparar los valores obtenidos en la caracterización final con aquellos de la caracterización inicial, de los cinco parámetros que no cumplían con lo estipulado en la norma NTE INEN 1108:2011, se constató la corrección de las especificaciones, transformando el agua inicial cuyas características la hacían poco aceptable, en agua aceptable, una vez concluido el tratamiento aplicado.

Por otro lado, la corrección de valor de aquellos parámetros que no cumplen con la norma NTE INEN 1108:2011, se alcanza mediante el intercambio iónico para lo cual se utiliza un filtro cuyo lecho consta de zeolitas naturales. La activación del lecho se consigue mediante el lavado con solución de cloruro de sodio, a este proceso se lo denomina sodificación, de esta manera se logra eliminar los iones de calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}), que son los principales causantes de la dureza del agua, ya que esta sustancia tiene la propiedad de absorber dichos elementos, debido a que sus bases son permutables.

4. Conclusiones

Sobre la base de los objetivos propuestos se concluye que se ha diseñado y validada la propuesta técnica, racional y viable, que permite resolver la calidad del abasto de agua a las parroquias rurales, atendiendo que, de un total de veinte parámetros, de ellos cinco físico-químicos y dos microbiológicos no cumplen con la norma NTE INEN 1108:2011, determinando como agua poco aceptable para el consumo humano.

Además, se logra el diseño de proyecto racional al identificar las fuentes hidrográficas y sus parámetros de calidad que resuelvan el problema de la calidad de agua. De los resultados de caracterización y de las pruebas de tratamiento del agua de alimentación se procedió a realizar el diseño de ingeniería para el sistema de tratamiento el cual constara de las operaciones siguientes etapas: captación, aireación por bandejas, filtración por zeolitas, cloración, almacenamiento y distribución para usuarios.

Se valida el diseño de ingeniería a través de la caracterización final del agua tratada. Una vez realizadas la prueba de tratamiento y diseñado el sistema de tratamiento, se puede garantizar un agua de buena calidad y apta para el consumo humano, en base a los resultados de caracterización final, que, al compararlos con los valores obtenidos en la caracterización inicial del agua de alimentación, indican una reducción significativa.

Es demostrada la capacidad de extrapolar el diseño a otras parroquias serranas rurales y generalizar este, atendiendo a las particularidades propias locales. Al Gobierno Autónomo Descentralizado de la Parroquia San Isidro del cantón Guano, se recomienda continuar con la presente investigación, de tal manera que se llegue a la construcción e implementación del sistema de Potabilización, pues ello garantizara en la actualidad y a futuro la cantidad y calidad de agua de suministro para la población.

La localización final de la planta, exige de un estudio de impacto social, económico y ambiental, valorando aspectos tales como: facilidades de acceso, cercanías a la fuente de captación y distribución, topografía del área del proyecto entre otros. Por último, es demostrada la posibilidad de socializar y diseminar esta propuesta a través de canales académicos y públicos.

Referencias bibliográficas

Agencia de protección Ambiental de Estados Unidos. EPA. (2017). *Desinfección de agua potable en situaciones de emergencia*. Sitio Oficial. Recuperado de: <https://espanol.epa.gov/espanol/desinfeccion-de-agua-potable-en-situaciones-de-emergencia>

Alcora (2016). *Agua apta para el consumo humano*. Zaragoza. España. Recuperado de: <https://alcora.es/blog/agua-apta-consumo-humano/#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20el%20agua%20apta,de%20distribuci%C3%B3n%20p%C3%BAblicas%20o%20privadas.&text=Las%20aguas%20suministradas%20para%20el,la%20actividad%20p%C3%BAblica%20o%20comercial>.

Araújo U., K. D. (2015). *Diseño de unidades de desmineralización del agua como medio de enfriamiento*. Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ingeniería Química. Recuperado de: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/4583/1/T-UCE-0017-119.pdf>

- Arboleda V., J. (2002). *Teoría y Práctica de la Purificación del agua*. McGraw-Hill. Colombia. Edición Tercera. Recuperado de: <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=AGRIUAN.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=015071>
- Arias F. G. (2006): *El proyecto de la Investigación. Introducción a la metodología científica*. Caracas. Editorial Episteme. Recuperado de: <https://universoabierto.org/2017/05/22/el-proyecto-de-investigacion-introduccion-a-la-metodologia-cientifica/>
- Aquatech Lenntech (2017). Sistemas de ablandamiento de agua. Países Bajos. Recuperado de: <https://www.lenntech.es/processes/softening/softening.htm>
- Baird R. B.; Eaton, A. D.; Rice, E. W. (2017). *Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater*. 23rd edition Recuperado de: https://www.academia.edu/38769108/Standard_Methods_For_the_Examination_of_Water_and_Wastewater_23rd_edition
- Brito, H. (2004). *Texto Básico de Fenómenos de transporte*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/313674527_TEXTO_BASICO_DE_FENOMENOS_DE_TRANSPORTE_I
- Clickmica. Fundación Descubre (2018). *¿Qué es un agua dura?* Fundación Andaluza para la Divulgación de la Innovación y el Conocimiento. Andalucía. España. Recuperado de: <https://clickmica.fundaciondescubre.es/conoce/100-preguntas-100-respuestas/que-es-agua-dura/>
- Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia. UNICEF. (2019). *Enfermedades comunes relacionadas con el agua y saneamiento*. Recuperado de: https://www.unicef.org/spanish/wash/wes_related.html
- Fundación AQUAE (2013). Dureza del agua. Madrid. España. Recuperado de: <https://www.fundacionaquae.org/dureza-del-agua/>
- Gil, M. J.; Soto, A. M.; Usma, J. I.; Gutiérrez, O. D. (2012). *Contaminantes emergentes en aguas, efectos y tratamientos posibles*. SCIELO. Julio - diciembre. No.2-52-73. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v7n2/v7n2a05.pdf>
- Guerrero T., R. (1969). *Manual de Tratamiento de Aguas*. Editorial Limusa. México. Primera edición. Recuperado de: <https://biblioteca.epn.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=36154>
- Hernández S.; Fernández, A.; y Baptista N. (2006). *Metodología de la Investigación*. Quinta Edición. Mc GRAW-HILL/INTERAMERICANA DE EDITORES. S.A. DE C.V. Recuperado de: https://www.esup.edu.pe/descargas/dep_investigacion/Metodologia%20de%20la%20investigaci%C3%B3n%205ta%20Edici%C3%B3n.pdf
- Hernández V., L.; Chamizo G., H.; Mora A., D. (2011). *Calidad del agua para consumo humano y salud: dos estudios de caso en Costa Rica*. SCIELO.vol.20 n.1. Revista Costarricense de Salud Pública. ISSN 1409-1429. Recuperado de: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-14292011000100004
- Hurtado, I. Toro, G. (2007): *Paradigmas y métodos de investigación en tiempos de cambio*. Episteme. (5ta Edición) Valencia. Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/371098034/Hurtado-y-Toro-paradigmas-y-Metodos-de-Investigacion-en-Tiempos-de-Cambio>

- MINSAP. Colombia (2017). *Agua para consumo humano*. Ministerio de salud y Protección Social. Recuperado de: <https://www.minsalud.gov.co/salud/publica/ambiental/Paginas/agua-para-consumo-humano.aspx>
- Moscoso, J. E. (2017). *El mantenimiento proactivo en equipos mecánicos de transporte de hidrocarburos en Ecuador*. Revista Ciencia y Tecnología. Vol.17, Núm. 14. Recuperado de: <http://cienciaytecnologia.uteg.edu.ec/revista/index.php/cienciaytecnologia/article/view/383>
- Moscoso, J.E.; Rivas T., E.; Núñez S., S. (2019). *Programa de control de mantenimiento proactivo de equipos mecánicos utilizados en transporte de hidrocarburos en Ecuador*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Recuperado de: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/13759>
- Norma Técnica ecuatoriana. NTE INEN-1108 (2011). *Agua Potable. Requisitos*. Instituto Ecuatoriano de Normalización. Cuarta revisión. Recuperado de: <https://bibliotecapromocion.msp.gov.ec/greenstone/collect/promocin/index/assoc/HASH01a4.dir/doc.pdf>
- Organización mundial de la Salud. OMS (febrero 2017). *Enfermedades transmitidas por el agua*. Recuperado de: https://www.who.int/water_sanitation_health/diseases-risks/diseases/es/
- Organización Mundial de la Salud y el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia. OMS-UNICEF (2018). *Preguntas e indicadores principales para el monitoreo de los servicios de agua, saneamiento e higiene en los establecimientos de salud en el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible [Core questions and indicators for monitoring WASH in health care facilities in the Sustainable Development Goals]*. ISBN 978-92-4-351454-3 ©. Recuperado de: https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/core-questions-and-indicators-for-monitoring-wash/es/
- Roldan G., J. L. (2000): *Cómo elaborar un proyecto de investigación*. Universidad de Valladolid. España. Recuperado de: https://alojamientos.uva.es/guia_docente/uploads/2013/429/52504/1/Documento.pdf
- Romero R., J. A. (2002). *Calidad del agua*. Escuela Colombiana de Ingeniería. ISBN 958-8060-32-X. Recuperado de: <https://biblio.uleam.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=1564>
- Ruiz S., C. I. (2013). *Diseño de un sistema de tratamiento de agua potable para la parroquia san Isidro del cantón Guano*. Tesis de grado previo a la obtención del título de ingeniero químico. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba. Ecuador. Recuperado de: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3216>
- Secretaría Nacional del Agua. SENAGUA. (Enero 2012). *Estudio Técnico: DNCA-DHN-12-01; "Análisis de la calidad del agua en la sub-cuenca del Río Coca"*. Recuperado de: <https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/07/InformeCocaFinal1.pdf>
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22nd Edition (2017). Recuperado de: https://beta-static.fishersci.com/content/dam/fishersci/en_US/documents/programs/scientific/technical-documents/white-papers/apha-water-testing-standard-methods-white-paper.pdf
- Weber, W. J.; Borchardt, J. A. (2003). *Control de Calidad del Agua*. Editorial Reverté. ISBN 84-291-7522-9. Madrid. España. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=14086>
- World Health Organization. WHO (2011). *Guías para la calidad del agua de consumo humano*. Cuarta edición. Ginebra. ISBN 978-92-4-354995-8. Recuperado de: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?ua=1>

Anexos

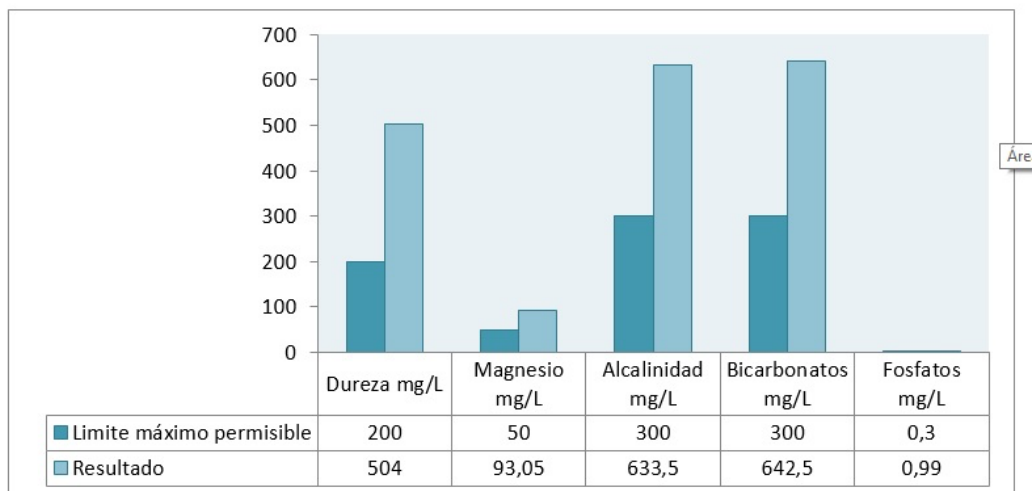
Anexo I. Métodos de Caracterización del Agua

PARÁMETRO	MÉTODO	DESCRIPCIÓN
pH	Electrométrico	Mediante la utilización del pH metro
TURBIEDAD	Nefelométrico	Se emplea el Turbidímetro
COLOR	Comparativo	mediante el comparador de color
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	Electrométrico	Usar el electrodo de cristal adecuado para la lectura de sólidos totales
ALCALINIDAD	Volumétrico	Tomar 25 ml de muestra + 2 gotas de anaranjado de metilo, valorar con ácido sulfúrico 0.02 N (mil valorados x 20.)
DUREZA	Volumétrico	Tomar 25 ml de muestra + 1 ml de buffer de dureza + una porción de negro de ericromo T en polvo, valoramos con EDTA (0.02M) de rojo a azul.
CONDUCTIVIDAD	Electrométrico	Se lo determina con el conductímetro
NITRATOS	Espectrofotométrico	Seleccionar el test 355 Nitratos, llenar una cubeta con la muestra preparada con un sobre de reactivo de nitrato NitraVer 5 en polvo, poner el temporizador y después de 1 minuto, preparamos el blanco limpiamos la cubeta y colocamos el blanco, una vez encendido el equipo colocamos la muestra y leemos el valor.
HIERRO	Espectrofotométrico	Seleccionar el test 265 FerroVer, preparar la muestra y colocar en una cubeta de 10 ml, agregar un sobre de reactivo de hierro FerroVer agitar, pulsar el temporizador en 3 minutos, luego de este tiempo limpiar el exterior de la cubeta y colocar el blanco, una vez encendida realizamos el procedimiento anterior con la muestra y anotamos el valor resultante.
CALCIO	Volumétrico	25 ml de muestra + 1 ml de KCN + 1 ml de NaOH (1N) + pizca de indicador Murexida. Titular con EDTA (0.02 M). De rosado a lila.
CLORUROS	Volumétrico	25 ml de muestra + 4 gotas de K ₂ CrO ₇ Titular con AgNO ₃ (0.01 N). De amarillo a ladrillo.
SULFATOS	Espectrofotométrico	En un balón de 100 ml, colocamos una porción de muestra + 2 ml de solución acondicionadora + aproximadamente 1 g de BaCl ₂ , aforar con la muestra, medir en el fotómetro a 410 nm.
MICROBIOLÓGICOS (Coliformes totales y fecales)	Sembrado	Luego de esterilizar el equipo microbiológico de filtración por membranas, se siembra y se toma la lectura a las 24 horas, se realiza el conteo de las colonias si las hubiere.

Fuente: Técnicas de laboratorio en análisis técnicos. ESPOCH

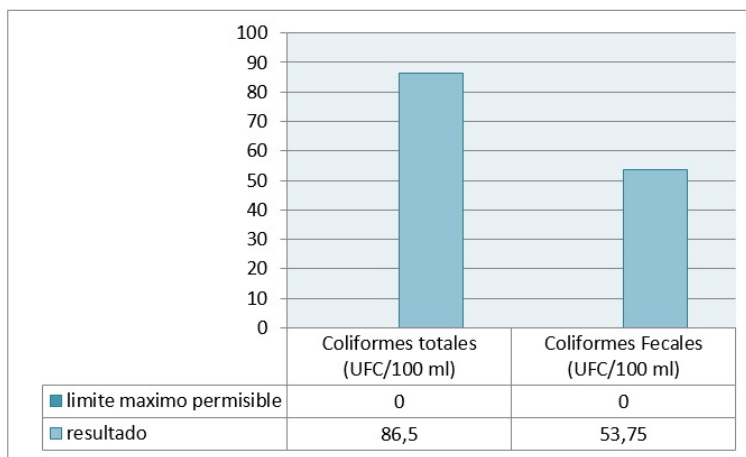
Anexo II. Caracterización aguas subterráneas. Parámetros Físico – Químicos fuera de especificaciones

Parámetros Físicos – Químicos fuera de norma



Anexo III. Caracterización aguas subterráneas. Parámetros microbiológicos fuera de especificaciones

Parámetros Microbiológicos fuera de norma



Anexo IV. Caracterización final del agua tratada

Caracterización final del agua

