

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo se describe los materiales y equipos que se emplearon en los análisis físico-químicos y microbiológicos del agua a tratar; además, se desarrolla de manera sistemática y secuencial las diferentes etapas del proceso investigativo. Se inicia con la descripción de los componentes más relevantes del área de estudio y sus condiciones climáticas, se diagnostican las condiciones físico-químicas y microbiológicas del agua para posteriormente desarrollar un sistema prototipo de filtración y desinfección de este elemento usando la energía solar, a efecto de que permita obtener agua apta para el consumo humano. Finalmente se presenta el procedimiento de capacitación con las familias beneficiarias.

3.1. MATERIALES Y EQUIPOS

En los cuadros 3.1 y 3.2 se detallan los principales materiales y equipos utilizados en la investigación.

Cuadro 3.1 Materiales utilizados.

MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
Construcción del filtro
Manguera de ½ pulg.
Tanque de plástico con tapa
Llave de paso de ½ pulg.
Conector de plástico de ½ pulg.

Tubo PVC de ½ pulg.
Tornillos
Arena fina
Arena Gruesa
Gravilla
Neplo PVC de ½ pulg.
T de PVC de ½ pulg
Teflón
Abrazaderas
Codo PVC de ½ pulg.
Construcción del esterilizador solar
Manguera de ½ pulg.
Válvula de control de temperatura
Llave de paso de ½ pulg.
Tol Galvanizado
Pintura anticorrosiva
Poliuretano
Plancha de Vidrio 2.20 x 1.20m
Tanque de plástico
Empaques de caucho
Tubería de cobre ½ pulg.
Funda de Plástico
Lámina de Aluminio 2.10 x 1.10m
Tornillos de ½ pulg.
Codos de cobre de ½ pulg.
Abrazadera
Tubo hidro3
Flexómetro
Cierra metálica
Destornillador
T de cobre de ½ pulg.
Marco de aluminio
Remaches metálicos
Silicona
Alambre de cobre
Sueldas de plata
Pondo

Cuadro 3.2 Equipos utilizados

EQUIPOS
Cronómetro
Termómetro
Suelda Autógena
Taladro
Cámara digital
GPS

Potenciómetro
EC 10 PORTABLE Conductivity/TDS/Temperature METTER de HACH modelo 50050.
Espectrofotómetro de HACH (modelo DR/2010)
Conductidímetro Mx300
Balanza analítica
Turbidímetro

Elaboración: Los autores

3.2. MANEJO ESPECÍFICO DEL EXPERIMENTO

Se describe en orden cronológico las actividades que se realizaron y la metodología empleada durante el desarrollo del proyecto:

3.2.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Para la investigación se seleccionó un sitio con una población de baja capacidad económica que en su mayoría, no tiene acceso al agua de buena calidad. Además, es necesario que el área de estudio brinde todas las condiciones climáticas favorables como: constante brillo solar, baja nubosidad durante el día y poca precipitación durante todo el año, parámetros que favorecerán a que el prototipo de filtración y desinfección funcione correctamente.

3.2.2. EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS DEL ÁREA SELECCIONADA

Los datos climáticos se obtuvieron de las estaciones meteorológicas más cercanas al área de estudio y se encuentran registrados en los anuarios meteorológicos del INAMHI. El tipo de información recopilada en cada estación es el siguiente:

- Temperatura y Precipitación

Se obtuvo la información de la estación en la Hacienda Irumina de Ambuquí

- **Nubosidad y Humedad Relativa**

Se tomó los datos de la estación Salinas Ex-INNERHI - Imbabura

- **Brillo Solar**

Se recopiló esta información de la estación Ibarra – EX-INNERHI

- **Radiación Solar**

No se encontró información de radiación solar en los registros de los anuarios meteorológicos del INAMHI.

3.2.3. DIAGNÓSTICO FÍSICO-QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DEL AGUA A TRATAR

Para el diagnóstico físico-químico y microbiológico del agua a tratar se recopiló información sobre las necesidades básicas, condiciones y disposición de agua que presenta la población de la playa de Ambuquí. Además, se identificó las principales enfermedades causadas por la ingesta de agua contaminada, en base a la información del subcentro de Salud de Ambuquí.

Posteriormente se realizó la caracterización del agua a tratar mediante análisis físico-químicos y microbiológicos, para lo cual se estructuró el siguiente plan de muestreo:

a) Selección de puntos de muestreo

Para obtener muestras para los análisis físico-químicos y microbiológicos del agua se ubicaron tres puntos de muestreo, en el sistema de tratamiento, mismos que se indican a continuación (Fotografía 3.1.):

Fotografía N° 3.1. Puntos de muestreo



Fuente: Autores

- **Primer punto:** se encuentra ubicado en la entrada del sistema de filtración, aquí se recoge la muestra de agua en estado original, antes de ser filtrada.
- **Segundo punto:** se encuentra localizado a la salida del sistema de filtración en un tanque colector y permite obtener información sobre la eficiencia del filtro.
- **Tercer punto:** El último punto se localiza a la salida del esterilizador solar, antes del almacenamiento del agua en el recipiente de arcilla pondo. (Anexo 3 Fotografía 1)

Se utilizó un pondo para almacenar el agua, en base a las costumbres de nuestros ancestros, ya que de acuerdo a la historia este tipo de recipiente les permitía mantener el agua fresca y protegida de contaminación.

b) Frecuencia

En cada punto se tomaron muestras de agua en tres fechas diferentes.

c) Parámetros analizados

Los parámetros físicos, químicos y microbiológicos medidos en el agua se detallan en el cuadro 3.3.

Cuadro 3.3 Parámetros analizados

<u>PARÁMETRO</u>	<u>FUNDAMENTO</u>	<u>MÉTODO APLICADO</u>
Temperatura(*)	Característica que nos permite conocer el grado o nivel térmico del agua.	Método APHA 2550 B
Turbiedad(**)	Determina la presencia de sólidos coloidales suspendidos en el agua. Se utiliza la refracción de la luz.	Método APHA 2130 B
pH(**)	Es el potencial de hidrógeno que determina el medio ácido o básico del agua.	Método APHA 4500 – H ⁺ B
Sólidos suspendidos totales(**)	Es la materia suspendida en el agua. Las aguas con alto contenido de sólidos producen reacciones de rechazo por su sabor en caso de agua de bebida.	Método APHA 2540 D
Sólidos disueltos totales(**)	Son sustancias químicas que se encuentran disueltas en el agua.	Método APHA 2540 D
Oxígeno disuelto(**)	Contenido de oxígeno disuelto que se encuentra en el agua.	Método APHA 4500 O-G
Demanda bioquímica de oxígeno(**)	Es el requerimiento bioquímico de oxígeno que necesitan los microorganismos para degradar la materia orgánica que se encuentra presente en el agua	Método APHA 5210 B
Demanda química de oxígeno(**)	La prueba de DQO es usada para medir el material orgánico e inorgánico presente en las aguas, susceptible a ser oxidado químicamente.	Método APHA 5220 B
Recuento aerobios totales(**)	Con este tipo de análisis se determina el número de bacterias presentes en el agua así como la presencia o ausencia de bacterias del grupo coliforme o presencia de cepas microbianas patógenas responsables de enfermedades.	Método I.S.O. – 622 (55)
Recuento coliformes totales(**)		Método E.P.A. – 40 CFR
Recuento <i>Escherichia coli</i>(**)		Método E.P.A. – 40 CFR

(*): Realizados in situ

(**): Análisis efectuados en el laboratorio del Gobierno provincial de Antonio Ante.

d) Toma de muestras, conservación y transporte

- Se tomó muestras instantáneas en los puntos seleccionados.
- Las muestras se recogieron en envases de vidrio de un litro de capacidad, lavados y esterilizados.
- Los envases para la recolección de muestras fueron rotulados con la siguiente información:
 - Datos del colector
 - Origen del agua
 - Lugar
 - Fecha
 - Hora de recolección

e) Condiciones de muestreo.- Se enjuagó de 2 a 3 veces el recipiente con el agua a muestrear con el fin de homogenizarlo. Las muestras se recogieron entre cinco y quince centímetros por debajo de la superficie del agua para no presentar errores al momento de ser analizadas en laboratorio.

f) Conservación y transporte.- Obtenidas las muestras se transportaron al laboratorio para su análisis, manteniendo la temperatura del recipiente en 10°C.

g) Procesamiento de resultados.- Los resultados obtenidos de los análisis físico-químicos y microbiológicos se sometieron a tratamiento estadístico con la finalidad de determinar los parámetros que se encuentran dentro o fuera de los límites deseables o máximos permisibles, en concordancia con la norma INEN 1108 para agua apta para consumo humano.

3.2.4. DISEÑO DEL FILTRO CASERO PARA LA CLARIFICACIÓN DEL AGUA

Se diseñó un filtro casero para clarificar el agua, acorde a las características físico-químicas y microbiológicas de la fuente de agua a tratar en el área de estudio. El filtro permite clarificar el agua turbia para su posterior paso de desinfección.

Para el diseño del filtro casero se empleó la técnica de filtración lenta de agua en arena por gravedad adoptada por la Organización Panamericana de la Salud (OPS) División de Salud y Ambiente.

(www.salonhogar.com/ciencias/naturaleza/elagua/filtrosdeagua.htm)

Esta técnica indica que la velocidad de filtración debe ser inferior a $5 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$, este filtro se utiliza para aguas poco turbias, con una turbiedad no mayor a 50 UTN. El filtro requiere una granulometría fina de la arena y las retenciones se producen principalmente en la superficie del lecho filtrante.

3.2.4.1. Construcción del filtro:

1. El filtro es un tubo PVC, con un diámetro de 30cm, y una altura de 93cm (Fotografía 3.2.) Al tubo se acopló una base de plástico, usando un empaque de caucho y tornillos de $\frac{1}{2}$ pulgada. Finalmente se selló el exterior de la base con silicona para evitar la fuga de agua (Fotografía 3.3.)

Fotografía N° 3.2. Recipiente del filtro



Fotografía N° 3.3. Base del filtro



2. El conducto de drenaje del filtro es un tubo PVC de ½ pulgada de diámetro, con orificios de 3mm de diámetro distribuidos uniformemente. Este tubo está colocado en el interior del filtro a 5cm de altura sobre la base, unido a un conector PVC de ½ pulgada, dándole salida al exterior del filtro a través de un agujero de ¾ de pulgada de diámetro, el conector está acoplado a una T de PVC de ½ pulgada permitiendo obtener dos salidas (Fotografía 3.4.), la primera adherida hacia una manguera transparente con llave de paso que distribuye el agua filtrada hacia el tanque colector donde se deposita y la segunda conectada a otra llave de paso que permite dar mantenimiento al filtro (Fotografía 3.5.)

Fotografía N° 3.4. Conducto de drenaje



Fotografía N° 3.5. Salidas del agua



3. En el interior del filtro se encuentra un lecho filtrante (Fotografía 3.6.) compuesto por tres capas: una inferior de 0.05m de gravilla (¼ a ½ pulgadas), una intermedia de 0.05m de arena gruesa (2 a 6mm), y una superior de 0.40m de arena fina (0.5 a 2mm) Los materiales del lecho filtrante fueron previamente lavados por separado. El lavado de la gravilla, la arena fina y gruesa se realizó en cuatro pasos:

Primer paso: se realizó utilizando solamente agua, para eliminar la mayor cantidad de impurezas (Fotografía 3.7.)

Segundo paso: se efectuó para eliminar toda la materia orgánica presente, utilizando peróxido de hidrógeno al 10% (Agua oxigenada) (Fotografía 3.8.)

Tercer paso: se lo hizo para eliminar los carbonatos presentes en los lechos filtrantes, empleando ácido clorhídrico (Fotografía 3.9.)

Cuarto paso: se realizó para eliminar todos los residuos que hayan quedado de los procesos anteriores aplicando únicamente agua. (Fotografías 3.10.) Efectuado todo el proceso de lavado se secó al aire libre, para posteriormente colocar los materiales por capas dentro del filtro.

Fotografía N° 3.6. Lecho filtrante



Fotografía N° 3.7. Lavado con agua



Fotografía N° 3.8. Lavado con peróxido de hidrógeno



Fotografía N° 3.9. Lavado con ácido clorhídrico

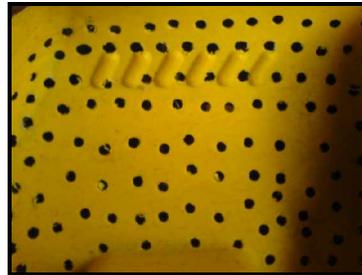


Fotografía N° 3.10. Lavado con agua



4. Al filtro se adicionó un plato difusor, una lámina de plástico con perforaciones de $\frac{1}{4}$ de pulgada colocada a 20cm sobre el lecho filtrante. Este dispositivo tiene la finalidad de recibir el agua sin filtrar y distribuirla uniformemente, para evitar los disturbios que se provocaría en la capa de arena, si se descargara el agua directamente sobre ella. (Fotografía 3.11.)

Fotografía N° 3.11. Plato difusor



5. La tapa del filtro es de material plástico, en su centro se halla una pequeña perforación de $\frac{1}{2}$ pulgada de diámetro conectada a una manguera por donde ingresa el agua a ser filtrada. La tapa permite asegurar y mantener hermético al filtro, evitando la introducción de polvo, insectos y otros contaminantes indeseables. (Fotografía 3.12.)

Fotografía N° 3.12. Tapa del filtro



3.2.4.2. Volumen de agua a tratar:

El volumen de agua está en relación a la cantidad de litros de agua por hora que se obtienen en la operación de filtro, y está estimado para cubrir las necesidades básicas de agua para una familia.

3.2.4.3. Pruebas de eficiencia del filtro:

Las pruebas de eficiencia del filtro están dadas por los siguientes parámetros de control, mismos que determinan el óptimo funcionamiento del filtro casero y se describen a continuación:

a) Parámetros de entrada:

- Caudal.- Se lo determinó midiendo en una probeta la cantidad de agua que ingresa al filtro durante un minuto.
- Velocidad de filtración (V).- Es el caudal de agua filtrada por unidad de superficie y por hora. Se calcula dividiendo los metros cúbicos de agua filtrada en una hora por los metros cuadrados de superficie de filtración:

$$V = \frac{Q}{Sf}$$

Donde:

V = Velocidad de filtración ($m^3 / m^2 \cdot h$)

Q = Caudal (m^3/h)

S_f = Superficie de filtración (m^2)

$$S_f = 2\pi r(r + h)$$

Donde:

S_f = Superficie de filtración (m^2)

π = pi

r = Radio del filtro (m)

h = Altura del lecho filtrante (m)

- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5)
- Turbidez
- Sólidos Disueltos Totales (SDT)
- Sólidos Suspensión Totales (SST)

b) Parámetros de salida:

- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5)
- Turbidez
- Sólidos Disueltos Totales (SDT)
- Sólidos Suspensión Totales (SST)

3.2.5. DISEÑO DEL DISPOSITIVO PARA LA DESINFECCIÓN DEL AGUA FILTRADA, USANDO ENERGÍA SOLAR

El diseño y construcción del dispositivo solar se basa en el proceso térmico de pasteurización, en donde, las bacterias patógenas mueren por acción del calor, al calentar un líquido a $63^\circ C$ durante un tiempo de 30 minutos.

3.2.5.1. Construcción del esterilizador solar

Para la construcción del esterilizador solar se adoptaron las características de un colector solar.

1. El cajón del esterilizador solar es de acero galvanizado, con dimensiones de 2.20m de largo, 1.20m de ancho y 0.10m de altura, (Fotografía 3.13.) Se colocó como base un plástico negro, que está pegado a las paredes internas del cajón (Fotografía 3.14.)

Fotografía N° 3.13. Cajón de acero galvanizado



Fotografía N° 3.14. Base del cajón



2. Se colocó un aislante térmico de poliuretano de 5cm de espesor, en las paredes internas y sobre la base del cajón. (Fotografía 3.15.)

Fotografía N° 3.15. Aislante de poliuretano



3. Sobre el poliuretano se colocó una tubería de cobre unida por codos y tubos de $\frac{1}{2}$ pulgada de diámetro, soldados con plata para evitar posibles aberturas que se ocasionarían por acción del calor (fotografía 3.16.) La tubería se distribuye en forma de serpentín y alcanza 42m de longitud (fotografía 3.17.) Aquí se almacena y circula el agua y gracias al pequeño diámetro del tubo, el agua alcanza rápidamente la temperatura deseada.

Fotografía N° 3.16. Suelta con plata



Fotografía N° 3.17. Tubería en serpentín



4. A continuación viene una lámina de aluminio de 2.10m. de largo y 1.11m. de ancho, la misma que tiene 21 surcos separados entre sí por 4cm. La tubería en serpentín es colocada sobre ésta lámina de manera que cada tubo encaja en un surco (Fotografía 3.18.) La lámina actúa como un receptor capaz de absorber la mayor parte de la radiación solar, permitiendo transferir calor a la tubería de cobre y calentar el agua que está en su interior. La lámina está pintada con pintura negra de rápido secado, anticorrosiva y de fácil aplicación (Fotografía 3.19.)

Fotografía N° 3.18. Lámina de aluminio y tubería de cobre **Fotografía N° 3.19. Pintado de la lámina**



5. Dos placas de vidrio de 1.10m de largo, 1.20m de ancho y 3 líneas de grosor cubren la parte superior del cajón, constituyendo la tapa del esterilizador (Fotografía 3.20.) En el centro se encuentra una tira de madera de 0.20m de largo y 0.05m de ancho, que amortigua y soporta el peso de las placas. Todo el borde del vidrio está protegido con empaque de caucho de 6.80m de longitud, y sobre éste se encuentra un marco de aluminio de 2.20m de largo y 1.20m de ancho, atornillado en el costado exterior del cajón y sellado herméticamente con silicona en todas las hendiduras del marco. Estas placas de vidrio funcionan como una “trampa de radiaciones” impidiendo que la energía radiante del sol que ha atravesado el vidrio vuelva a salir; esta trampa aporta al calentamiento con un “efecto invernadero”.

Fotografía N° 3.20. Placas de vidrio



6. El esterilizador solar tiene dos termómetros con graduación que va desde los 0 a 120 grados centígrados, los termómetros se encuentran ubicados en la entrada y salida del esterilizador (fotografías 3.21. y 3.22.), lo que permite conocer los cambios de temperatura que experimenta el agua.

Fotografía N° 3.21. Termómetro de entrada



Fotografía N° 3.22. Termómetro de salida



7. Dos llaves se encuentran ubicadas a la entrada y salida de la tubería del esterilizador (fotografía 3.23.), para controlar el flujo de agua.

Fotografía N° 3.23. Llaves de control



3.2.5.2. Pruebas de eficiencia

- **Volumen de agua a tratar.-** El volumen de agua a tratar se determinó conociendo la cantidad de agua que almacena el esterilizador solar y el tiempo que lleva en desinfectarla, durante un día de operación.
- **Orientación e inclinación.-** Para aprovechar mejor la radiación solar, se buscó la mejor orientación e inclinación del esterilizador solar permitiendo captar la mayor radiación y la menor cantidad de sombra sobre su superficie. El grado de orientación e inclinación dependerán también de la localidad.
- **Horas de operación del esterilizador.-** Para determinar las horas apropiadas de operación del esterilizador solar, se determinó el tiempo de mayor incidencia de brillo solar y la menor cantidad de nubosidad, presente en la zona de estudio.
- **Temperatura óptima de desinfección.-** Se determinó la temperatura que llega alcanzar el agua en el esterilizador solar, mediante lecturas registradas en el termómetro. Esta temperatura llamada “óptima” es la que se maneja para la desinfección del agua.
- **Tiempo en alcanzar la temperatura de desinfección.-** Se tomó el tiempo que el agua llega alcanzar la temperatura óptima de desinfección, utilizando un reloj, durante las horas de operación del esterilizador solar.
- **Tiempo óptimo de desinfección.-** Una vez conocida la temperatura óptima de desinfección, se procedió a conocer el tiempo óptimo para la desinfección del agua, realizando pruebas de exposición en tiempos de: 5, 10, 20 y 30 minutos.

3.2.6. PRUEBAS PILOTO DEL SISTEMA PROTOTIPO DE FILTRACIÓN-DESINFECCIÓN.

3.2.6.1. Instalación del sistema

Realizadas las pruebas requeridas al filtro casero y al esterilizador solar se procedió a montar e instalar el sistema en una vivienda familiar en el sector de la playa de Ambuquí.

3.2.6.2. Operación

Una vez que se realizó individualmente las pruebas de eficiencia al filtro casero y al esterilizador solar se procedió a unirlos, formando el sistema prototipo de filtración y desinfección.

3.2.6.3. Calidad de desinfección

Se recolectó muestras del agua tratada en el sistema prototipo de filtración y desinfección, para realizar análisis físico-químicos y microbiológicos en el laboratorio. Determinando si el agua es apta para el consumo humano, según la norma INEN 1108.

3.2.7. CAPACITACIÓN FAMILIAR.

Para la capacitación en el uso y manejo del sistema de filtración y desinfección se realizaron las siguientes actividades:

- Reuniones con los integrantes de las familias, para involucrarlos con el proyecto (Fotografía N° 3.24.)

Fotografía N° 3.24. Capacitación familiar



- Capacitación a los miembros de las familias sobre el manejo y funcionamiento del sistema prototipo de filtración y desinfección de agua, mediante el aprendizaje práctico y entrenamiento.
- Charlas dirigidas a las familias cercanas al proyecto, orientadas a dar a conocer e incentivar la aplicabilidad del sistema prototipo.

3.2.8. OBTENCIÓN Y PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN

- **Variables evaluadas:**

Las variables que permitieron caracterizar el agua y establecer las condiciones básicas para el desarrollo del sistema prototipo para su filtración y desinfección son:

- pH
- Turbiedad
- Sólidos disueltos totales (SDT)
- Sólidos suspendidos totales (SST)
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)
- Demanda química de oxígeno (DQO)
- Recuento de aerobios totales
- Recuento de coliformes totales

- Recuento de *Escherichia coli*

- **Interpretación y tabulación**

Para la interpretación y tabulación de datos se aplicó: tablas, gráficos de líneas, los mismos que representan los resultados obtenidos en las observaciones desarrolladas en el transcurso de la investigación.

- **Análisis estadístico**

Se realizó dos tratamientos:

T1: Filtración

T2: Desinfección solar

Se utilizó la prueba estadística no paramétrica “t pareada”, para evaluar si existe diferencia significativa en los parámetros físico químicos y microbiológicos del de agua a tratar en la filtración y luego en la desinfección solar. Se determinó si cada parámetro, están dentro de los requisitos establecidos para el agua apta al consumo humano según la norma INEN 1108. Esta prueba se aplicó a intervalos de confianza del 95% y 99%.

Para la prueba de “t” pareada se aplicó la siguiente fórmula:

$$t = \frac{\bar{x} di}{S(\bar{x}1 - \bar{x}2)} \quad S(\bar{x}1 - \bar{x}2) = \sqrt{\frac{\sum di^2 - (\sum di)^2 / n}{n(n-1)}}$$

Donde:

$\bar{x} di$ = media de las diferencias

n = número de observaciones

di = diferencia de las observaciones