

**Universidad de El Salvador
Facultad de Ciencias Agronómicas
Escuela de Posgrado y Educación Continua**

Programa de Posgrado en Agronomía Tropical Sostenible



“Evaluación del sistema de tratamiento para la remoción de hierro y manganeso en agua de abastecimiento de la colonia Guadalupe, municipio de Tejutla departamento de Chalatenango”

Lic. Oscar Arnulfo Alfaro Mendoza

Tesis

Presentada como requisito para obtener el Grado de:

Maestro

en Gestión Integral del Agua

San Salvador, El Salvador, Centro América, 2017.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

M. Sc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL:

LIC. CRISTOBAL HERNAN RIOS BENITEZ

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS

DECANO:

ING. M. Sc. JUAN ROSA QUINTANILLA QUINTANILLA

SECRETARIO:

ING. M. Sc. LUIS FERNANDO CASTANEDA ROMERO

Este Proyecto de Tesis fue realizado bajo la dirección del Tribunal Evaluador de Tesis indicado, ha sido aprobado por el mismo y aceptado como requisito para la obtención del grado de:

Maestro

en Gestión Integral del Agua

San Salvador, El Salvador, Centro América, 2017

Tribunal Evaluador de Tesis

Lic. M. Sc. Ada Yanira Arias de Linares

Asesor de Tesis y Presidente del Tribunal Evaluador de Tesis

Lic. M. Sc. Blanca Lorena Bonilla de Torres

Secretario y Miembro del Tribunal Evaluador de Tesis

Lic. M. Sc. Freddy Alexander Carranza Estrada

Vocal y Miembro del Tribunal Evaluador de Tesis

Ing. M. Sc. Mario Antonio Orellana Núñez

Director de la Escuela de Posgrado y Educación Continua

Dedicatoria

A Dios, por ser mi guía y mi luz, por poner las ideas y razonamiento que han permitido culminar esta investigación.

A mi familia aunque pequeña pero luchadora y sobre todo unida.

A mi madre, Estasnislaa de Jesús Alfaro Flores, por ser una madre fuerte, alegre, humilde, visionaria y sobre todo un ejemplo en mi vida, por sus consejos y sabiduría que han contribuido al logro de todas mis metas.

A mis hermanas, hermanos y sobrinas, por ayudarme en la búsqueda del conocimiento y alimentar mis sueños.

A mis compañeros y compañeras de estudio por sus aportes que enriquecieron el proceso de enseñanza y aprendizaje.

Agradecimientos

A los miembros del tribunal evaluador de tesis Lic. M. Sc. Ada Yanira Arias de Linares, Lic. M. Sc. Blanca Lorena Bonilla de Torres, Lic. M. Sc. Freddy Alexander Carranza Estrada, Ing. M. Sc. Mario Antonio Orellana Núñez, por su apoyo y orientación técnica en todo el proceso de la investigación.

A la Escuela de Posgrado y Educación Continua de la Facultad de Ciencias Agronómicas por permitirme la oportunidad de realizar esta Maestría en Gestión Integral del Agua, que es una área estratégica y de vital importancia para desarrollo del país.

Al Ing. M. Sc. Mario Antonio Orellana Núñez, Director de la Escuela de Posgrado y Educación Continua, por animarme y por todo el apoyo brindado en la investigación.

Al jefe del Departamento de Química Agrícola Ing. Oscar Carrillo, por su apoyo para la realización de los análisis de las muestras de agua en los laboratorios de Química Agrícola de la Facultad de Agronomía de la Universidad de El Salvador.

Al personal del Departamento de Química Agrícola, por todo su apoyo en el proceso de análisis de laboratorio de las muestras de agua y por la amistad que me han brindado.

Al Ing. Miguel Hernández y al Ing. Abel Argueta, por animarme siempre para culminar este proceso y sus aportes en el área de Sistema de Información Geográfica.

Al Lic. Daniel Palacios, por su orientación estadística de esta investigación.

Al Ing. Andrés Jovel Díaz, y a los miembros de la Junta Administradora de Agua de la Colonia Guadalupe, por todo el apoyo en la investigación.

A todas las personas que de buena voluntad contribuyeron en el desarrollo de la investigación, en verdad mil gracias.

Índice General

	Página
Resumen.....	16
Abstract.....	17
I. Introducción.....	18
II. Planteamiento del Problema.....	20
III. Objetivos.....	22
3.1 Objetivo General.....	22
3.2 Objetivos Específicos.....	22
IV. Hipótesis.....	22
V. Marco Teórico Conceptual.....	23
5.1. Acceso al agua en El Salvador.....	23
5.2. Agua y Salud.....	24
5.3. Aguas subterráneas.....	25
5.4. Hierro y manganeso.....	27
5.5. Tratamiento de aguas con presencia de hierro y manganeso.....	28
5.5.1. Tratamiento a través de aireación – filtración.....	31
5.5.2. Tratamiento a través de oxidación-filtración.....	32
5.5.3. Sedimentación de partículas.....	33
5.5.4. Filtración.....	34
5.6. Métodos de desinfección de agua.....	36
VI. Metodología.....	37
6.1. Ubicación del área de estudio.....	37
6.2. Descripción de sistema agua comunitario.....	38
6.2.1. Fuente de agua.....	38
6.2.2. Cloración.....	38
6.2.3. Aireación y sedimentación.....	39
6.2.4. Filtración.....	39
6.2.5. Tanque captación.....	40

6.2.6. Tanque de distribución.....	40
6.2.7. Red de distribución	40
6.3. Encuesta para usuarios del sistema de agua.....	42
6.3.1. Población	42
6.3.2. Tamaño de la muestra	42
6.3.2.1. Criterio de inclusión	42
6.3.2.2. Criterio de exclusión:.....	42
6.3.3. Tipo de estudio	42
6.3.4. Instrumento	43
6.4. Análisis físico químico del agua.....	43
6.4.1. Sitios de muestreo.....	43
6.4.1.1. Sitios para determinar hierro y manganeso a través de pruebas de laboratorio.....	43
6.4.1.2. Sitios para determinar cloro residual	44
6.4.1.3. Sitios para determinar sólidos sedimentables	46
6.4.2. Toma de muestras de agua.....	47
6.4.3. Procedimiento para la lectura de cloro residual.....	47
6.4.4. Método analítico de laboratorio par análisis de hierro y manganeso en agua	48
6.4.5. Método volumétrico para Sólidos sedimentables con cono Imhoff (Ovalle 2014)	48
6.5. Determinación del porcentaje de remoción de hierro y manganeso del sistema	49
6.6. Comparación resultados laboratorio	50
6.7. Implementación de mejoras en el sistema de agua	50
6.7.1. Establecer la dosis de hipoclorito de calcio al 70%	50
6.7.2. Elaboración e instalación de filtro de esponja	53
6.7.3. Elaboración e instalación de depósito sedimentador de sólidos	54
6.7.4. Extracción y lavado del filtro lento de arena	57
6.8. Capacidad de producción del sistema de agua.....	58
6.9. Método estadístico para análisis de concentraciones de hierro y manganeso.....	59
VII. Análisis de resultados	61
7.1. Caracterización del uso del sistema de abastecimiento de agua	61
7.2. Aforo de la capacidad de producción de agua del sistema	67
7.3. Determinación de la dosis de hipoclorito de calcio al 70%	70

7.4.	Cloro residual en el sistema de agua.....	73
7.5.	Sólidos sedimentables en el sistema de agua.....	76
7.6.	Concentraciones de hierro y manganeso en el sistema de agua.....	79
7.6.1.	Concentraciones de hierro en diferentes puntos del sistema.....	81
7.6.2.	Concentraciones de manganeso en diferentes puntos del sistema	84
7.6.3.	Porcentaje de remoción de hierro y manganeso	86
7.6.4.	Comparación de resultados de laboratorio con la norma salvadoreña de agua potable NSO 13.07.01:08	90
7.6.5.	Análisis estadístico de las concentraciones de hierro y manganeso del sistema.....	92
IV.	Conclusiones	96
V.	Recomendaciones.....	98
VI.	Bibliografía.....	100
VII.	Anexos.....	104

Índice de Cuadros

	Página.
Cuadro 1. Resultados de muestras de agua después del tratamiento.....	21
Cuadro 2. Norma Obligatoria de Agua Potable, valores para sustancias químicas.....	24
Cuadro 3. Causas de deterioro de calidad de agua subterránea.....	26
Cuadro 4. Tratamientos para el hierro y manganeso en el agua potable.....	29
Cuadro 5. Parámetros de diseño y dimensiones de una planta para tratar agua a través de Filtración Múltiples Etapas.....	35
Cuadro 6. Sitios de muestreo para determinar hierro y manganeso.....	44
Cuadro 7. Sitios de muestreo para determinar cloro residual.....	45
Cuadro 8. Sitio de muestreo para determinar sólidos sedimentables.....	46
Cuadro 9. Materiales y costos para elaboración de filtro de esponja.....	53
Cuadro 10. Materiales y costos para elaboración de depósito sedimentador de sólidos.....	55
Cuadro 11. Miembros que forman parte del grupo familia.....	61
Cuadro 12. Fuentes de agua que dispone para abastecerse las familias.....	62
Cuadro 13. Usos que se le dan al agua del sistema comunitario.....	63
Cuadro 14. Gasto adicional por compra de agua para el consumo humano al mes.....	64
Cuadro 15. Características percibidas por usuarios del agua del sistema.....	65
Cuadro 16. Resultados de aforos del sistema de agua comunitario.	69
Cuadro 17. Cálculo de dosis de hipoclorito de calcio 70%.....	71
Cuadro 18. Registro de cloro residual en sistema de agua..	74
Cuadro 19. Registro de sólidos sedimentables a través de Cono Imhoff.....	76

	Página.
Cuadro 20. Medias de concentraciones de hierro en los puntos muestreados ...	81
Cuadro 21. Medias de concentraciones de manganeso en los puntos muestreados.....	84
Cuadro 22. Porcentaje de remoción de hierro total sin mejoras en el sistema.....	87
Cuadro 23. Porcentaje de remoción de hierro total con mejoras en el sistema...	87
Cuadro 24. Porcentaje de remoción de manganeso sin mejoras en el sistema....	88
Cuadro 25. Porcentaje de remoción de manganeso con mejoras en el sistema...	88
Cuadro 26. Comparación de concentración de hierro del sistema con la norma salvadoreña de agua potable NSO 13.07.01:08	90
Cuadro 27. Comparación de concentración de manganeso del sistema con la norma salvadoreña de agua potable NSO 13.07.01:08.....	91
Cuadro 28. Prueba T (muestras pareadas) Concentración de hierro del sistema sin mejoras.....	93
Cuadro 29. Prueba T muestras pareadas, concentración de hierro del sistema con mejoras.....	93
Cuadro 30. Prueba T muestras pareadas, concentración de manganeso del sistema sin mejoras.....	94
Cuadro 31. Prueba T muestras pareadas, concentración de manganeso de sistema con mejoras.....	94
Cuadro 32. Características del sistema de agua comunitario.....	106
Cuadro 33. Lista de usuarios del sistema de agua comunitario.....	109
Cuadro 34. Sitios de muestreo de agua.....	112
Cuadro 35. Muestreo de agua para análisis de metales.....	113

	Página.
Cuadro 36. Proceso de elaboración de filtro de esponja.....	118
Cuadro 37. Construcción de depósito sedimentador de sólidos.....	119
Cuadro 38. Lavado del filtro lento de arena.....	120
Cuadro 39. Formas de adquirir el agua las familias que no consumen agua del sistema.....	121
Cuadro 40. Pago mensual aproximado del servicio de agua comunitario.....	121
Cuadro 41. Satisfacción del usuario con el servicio de agua de la comunidad...	122
Cuadro 42. Confianza de consumir el agua del sistema comunitario.....	123
Cuadro 43. Observación de usuario de manchas en ropa y otros materiales.....	123
Cuadro 44. Tratamiento extra en el agua del sistema comunitario.....	124
Cuadro 45. Efecto en la salud por el consumo del agua del sistema.....	125
Cuadro 46. Conoce alguna medida para el buen uso y manejo del agua.....	125
Cuadro 47. Medidas que aplican los usuarios del sistema para ahorrar agua.....	126
Cuadro 48. Considera importante el ahorro del agua en su casa.....	127
Cuadro 49. Responsabilidad de cuidar el agua en la comunidad.....	127
Cuadro 50. Resultado de laboratorio concentraciones de hierro y manganeso en agua.....	129

Índice de Figuras

	Página
Figura 1. Porcentaje de hogares con acceso y tendencia a agua por cañería.....	23
Figura 2. Alternativas para la remoción de hierro y manganeso.....	30
Figura 3. Planta típica de tratamiento ZeeWeed para aguas subterráneas complejas.....	31
Figura 4. Procesos que integran la filtración en múltiples etapas.....	34
Figura 5. Localización de la comunidad Colonia Guadalupe.....	37
Figura 6. Diagrama de flujo del agua del sistema de abastecimiento comunitario.....	41
Figura 7. Conos Imhoff.....	48
Figura 8. Aforo por método volumétrico.....	59
Figura 9. Miembros de la familia de la comunidad Colonia Guadalupe.	61
Figura 10. Fuentes de agua disponibles para abastecer las familias.	62
Figura 11. Usos del agua del sistema comunitario.	63
Figura 12. Gasto adicional mensual por compra de agua para consumo humano.....	64
Figura 13. Características percibidas en el agua del sistema comunitario.....	66
Figura 14. Graduación de tubo pvc para medir altura del agua en tanque.....	68
Figura 15. Lectura de nivel de agua en medición de caudal.....	68
Figura 16. Medición de tiempo para determinar caudal.	69
Figura 17. Fontanera aplicando cloro en dispositivo de cloración tipo T.....	70
Figura 18. Pesado de dosis de hipoclorito de calcio al 70% en balanza.....	72

	Página
Figura 19. Medida para facilitar la cloración en el sistema de agua.....	72
Figura 20. Fontanera monitoreando cloro residual en el agua del sistema.	73
Figura 21. Monitoreando cloro residual antes del filtro lento de arena.....	75
Figura 22. Instalación de filtro de esponja en tanque aireado – sedimentador.....	77
Figura 23. Muestra de agua en purga de lodos antes de instalar filtro de esponja y sedimentador.	78
Figura 24. Muestra de agua en purga de lodos después de instalar filtro de esponja y sedimentador.	78
Figura 25. Toma de muestra con Cono Imhoff en tubería de lavado de filtro.....	79
Figura 26. Toma de muestra agua en pozo.....	80
Figura 27. Toma de muestra en grifo usuario	80
Figura 28. Concentraciones de hierro en el sistema sin mejoras.....	82
Figura 29. Concentraciones de hierro en el sistema con mejoras.....	83
Figura 30. Concentraciones de manganeso en el sistema sin mejoras.....	85
Figura 31. Concentraciones de manganeso en el sistema con mejoras.....	86
Figura 32. Filtro de esponja reteniendo partículas de hierro y manganeso.....	89
Figura 33. Filtro lento de arena sin mantenimiento.....	89
Figura 34. Filtro lento de arena después de las mejoras.....	90
Figura 35. Informe de análisis de agua de pozo, Sistema de Agua Colonia Guadalupe.....	104
Figura 36. Sistema de abastecimiento de agua de la comunidad.....	105
Figura 37. Componentes del sistema de agua.....	107

	Página
Figura 38. Especificaciones del filtro lento de arena.....	108
Figura 39. Formas de adquirir el agua las familias que no consumen agua del sistema.....	121
Figura 40. Pago mensual del servicio de agua.....	122
Figura 41. Nivel de satisfacción del servicio de agua comunitario.....	122
Figura 42. Confianza de consumir el agua del sistema comunitario.....	123
Figura 43. Observación de manchas en ropa, artefactos como lavamanos e inodoros.....	124
Figura 44. Tratamiento extra en su hogar al agua del sistema comunitario.....	124
Figura 45. Efectos en la salud por consumo de agua del sistema.....	125
Figura 46. Conoce algunas medidas para el buen uso y manejo del agua del sistema.....	126
Figura 47. Medidas que aplican los usuarios para ahorrar agua.....	126
Figura 48. Valoración de la importancia del ahorro de agua.....	127
Figura 49. Responsabilidad de cuidar el agua en la comunidad.....	128
Figura 50. Tríptico para la comunidad.....	130

Índice de Anexos

	Página
Anexo 1. Informe de análisis de agua de pozo, Sistema de Agua Colonia Guadalupe.....	104
Anexo 2. Sistema de abastecimiento de agua de la comunidad.....	105
Anexo 3. Características del sistema de agua comunitario Colonia Guadalupe....	106
Anexo 4. Componentes del sistema de agua.....	107
Anexo 5. Especificaciones del filtro lento de arena.....	108
Anexo 6. Lista de usuarios del sistema de agua comunitario Colonia Guadalupe.....	109
Anexo 7. Encuesta a usuario del sistema de agua.....	110
Anexo 8. Sitios de muestreo de agua.....	112
Anexo 9. Muestreo de agua para análisis de metales.....	113
Anexo 10. Determinación de hierro en agua por espectrofotometría de absorción atómica.....	114
Anexo 11. Determinación de manganeso. Método 14770 (Test con reactivos ref. Merck 1.14770.0001/ 1.14770.0002).....	116
Anexo 12. Proceso de elaboración de filtro de esponja.....	118
Anexo 13. Construcción de depósito sedimentador de sólidos.....	119
Anexo 14. Lavado del filtro lento de arena.....	120
Anexo 15. Información de encuesta.....	121
Anexo 16. Resultado de laboratorio concentraciones de hierro y manganeso en agua.....	129
Anexo 17. Tríptico para la comunidad.....	130

Resumen

Alfaro Mendoza, OA. 2017. Evaluación de la remoción de hierro y manganeso en agua del sistema de abastecimiento de la comunidad colonia Guadalupe, municipio de Tejutla departamento de Chalatenango, El Salvador. Tesis de Maestría. San Salvador, El Salvador, Universidad de El Salvador.131p.

El presente trabajo de investigación se realizó en la colonia Guadalupe; municipio de Tejutla departamento de Chalatenango, dicha comunidad posee un sistema de abastecimiento de agua cuya fuente es un pozo perforado, el agua extraída presenta en su composición química concentraciones de hierro y manganeso que sobrepasa los límites permisibles establecidos en la norma salvadoreña de agua potable; por tal motivo se ha implementado un sistema de tratamiento para la remoción de estos metales. El objetivo del estudio fue evaluar la eficiencia en la remoción de hierro y manganeso del sistema de abastecimiento de agua, con que cuenta la comunidad para satisfacer la demanda de sus usuarios.

Se establecieron diferentes puntos de muestreo tomando en cuenta cada proceso unitario de tratamiento, lo que permitió obtener datos del comportamiento de las concentraciones de hierro y manganeso a lo largo del proceso de tratamiento.

El sistema se evaluó en dos momentos:

- Sistema funcionando sin mejoras, refleja que los valores de hierro y manganeso en el agua fluctúan en relación al límite máximo permisible ya que en algunos registros cumple con la norma salvadoreña de agua potable NSO 13.07.01:08 y en otros registros no cumple, esto genero desconfianza en el usuario en relación al agua de consumo humano.
- Sistema funcionando con mejoras; mediante determinación de dosis de hipoclorito de calcio, se elaboraron filtros contruidos con esponjas para remover sólidos, se instaló un depósito colector que sirvió de barreras para mejorar la retención de hierro y manganeso, además se realizó limpieza del filtro de arena para remover el hierro y manganeso precipitado, estas mejoras permitieron que los valores de las concentraciones de hierro se mantuvieran abajo de 0.30 mg/l y manganeso abajo de 0.10 mg/l, cumpliendo con la norma salvadoreña obligatoria de agua potable, permitiendo a los usuarios hacer uso del agua para consumo humano.

Palabras Clave: Agua potable, aireación, cloración, contaminación, filtración, metales pesados, tratamiento.

Abstract

Alfaro Mendoza, OA. 2018. Evaluation of the removal of iron and manganese in the water supply system of the Colonia Guadalupe community, municipality of Tejutla, Chalatenango, El Salvador. Master's Thesis. San Salvador, El Salvador, University of El Salvador.131p.

The present research work was carried out in the Guadalupe colony; Municipality of Tejutla department of Chalatenango, said community has a water supply system whose source is a drilled well. The extracted water shows, in its chemical composition, concentrations of iron and manganese that exceeds the permissible limits established in the Salvadoran water norm; For that reason, a removal treatment system of these metals has been implemented. Therefore, the objective of the study was to evaluate the efficiency in the removal of iron and manganese from the water system supply that the community counts on to satisfy the demand of its users. Different sampling points were established, taking into account each unit treatment process, which allowed to obtain behavioral data of iron and manganese concentrations throughout the treatment process.

The system was evaluated in two moments:

- System operating without improvements reflects that the iron and manganese values in the water fluctuate in relation to the maximum permissible limit since, in some registries, it complies with the norm NSO 13.07.01:08 and in other registries it does not comply. This generates distrust in the user in relation to the human consumption of water.
- System working with improvements; By means of determination of calcium hypochlorite doses, filters were constructed with sponges to remove solids, a deposit was installed that served as barriers to improve the retention of iron and manganese, in addition the sand filter was cleaned to remove the iron and precipitated manganese, these improvements allowed the values of iron concentrations to remain below 0.30 mg/l and manganese below 0.10 mg/l, complying with the obligatory Salvadoran standard of drinking water, allowing users to make use of water for human consumption.

Key words: Drinking water, aeration, chlorination, contamination, filtration, heavy metals, treatment.

I. Introducción

El agua es un recurso importante para la salud humana y necesaria para el desarrollo de las comunidades pequeñas y grandes ciudades, aunque es un recurso limitado y vulnerable a diferentes factores socio - ambientales que hacen cada vez más difícil encontrar fuentes de agua con abundancia y que reúnan los parámetros de calidad requeridos para el abastecimiento humano.

En El Salvador el 93.5% de los hogares del área urbana cuentan con acceso al agua por cañería, el 3.9% se abastece con agua de pozo y el 2.6% se abastece por otros medios. En contraste, en el área rural solo el 69.8% de los hogares cuentan con acceso al servicio de agua por cañería, mientras que el 15.0% se abastece de agua de pozo y el 15.2% se abastece por otros medios. (DIGESTYC 2012).

En relación a la calidad del agua en El Salvador es también un problema crítico, ya que aproximadamente el 90% del agua superficial se encuentra altamente contaminada por desechos orgánicos, agroquímicos e industriales. (Barry 1994). Por lo que para suplir la demanda de abastecimiento humano ha sido necesario recurrir a otras fuentes como el caso de agua subterránea a través de pozos perforados.

Mourato (1998), expresa que el agua de pozo a menudo contiene hierro y manganeso, los que se deben remover para el consumo humano. Muchas comunidades pequeñas dependen de abastecimientos comunales de agua subterránea y requieren sistemas que aseguren la remoción de metales, turbiedad, sulfuro de hidrógeno y microorganismos, al mismo tiempo que minimicen el uso de productos químicos y la generación de lodo.

Burbano (2007), manifiesta que el agua que contiene hierro y el manganeso representa problemas estéticos y operacionales en sistemas de agua, además que estos compuestos no tienen consecuencias adversas para la salud pero son posibles las intoxicaciones por dosis agudas de hierro entre 300-600 miligramos por cada kilogramo de peso corporal causando

depresión, respiración agitada, convulsiones, problemas cardíacos, coma; para el manganeso los efectos ocurren en el tracto respiratorio y en el cerebro.

Por tanto, la escasez y la presencia de metales como el hierro y manganeso en el agua hace necesario realizar investigaciones y procesos de tratamiento que garanticen la calidad del agua para consumo humano.

En esta investigación se determinó la eficiencia de la remoción de hierro y manganeso en el sistema de agua comunitario, comparando los valores obtenidos del agua de la fuente con los datos obtenidos después del tratamiento, paralelo a esto se realizó una comparación de los datos obtenidos de las muestras de agua que se suministran al usuario, con los valores permisibles de la Norma Salvadoreña Obligatoria Agua Potable NSO 13.07.01:08

Los análisis de laboratorio se realizaron en el laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

Esta investigación se realizó en Colonia Guadalupe, Municipio de Tejutla Departamento de Chalatenango.

II. Planteamiento del Problema

La presencia de hierro y manganeso en el agua de abastecimiento supone un problema por diferentes razones de operación y mantenimiento, además que debe cumplir con parámetros de calidad establecidos en la norma de agua potable vigente en el país, para utilizarse en el consumo humano, algunos pozos como los casos de comunidades El Coyolito cuentan con pozo perforado que presenta concentraciones de hierro total de 1.1 mg/l y manganeso total 0.62 mg/l, en el caso de la comunidad Copinolito el pozo presenta concentraciones de hierro total de 2.8 mg/l y manganeso total de 0.9 mg/l (ambas comunidades ubicadas alrededor de la comunidad) por lo que cuando se presentan estas características el agua debe someterse a procesos de tratamiento para poder suministrar al usuario.

El sistema de abastecimiento de agua de la comunidad funciona desde hace 2 años y medio, sin embargo cuando se perforo el pozo y se extrajo por primera vez el agua, se observaba transparente, aunque presentaba sabor metálico; por lo que las Instituciones cooperantes realizaron análisis químicos para determinar la calidad del agua sobre todo de los parámetros de hierro y manganeso para abastecer los usuarios con agua de buena calidad, debido a la presencia de hierro y manganeso, las Alcaldía Municipal, Asociación de Comunidades para el Desarrollo de Chalatenango (CCR) y SOLIDAR Suiza/Ayuda Obrera Suiza (AOS) invirtieron un monto de \$ 6871.51 dólares para implementar el sistema artesanal para la remoción de hierro y manganeso.

El 15 de Marzo del año 2016 en coordinación con la Junta Administradora de Agua, se tomó una muestra de agua del pozo sin pasar por ningún tratamiento, cuyos resultados reflejan una concentración de hierro total de 2.4 mg/l y una concentración de manganeso total de 0.7 mg/l por lo tanto estos valores están fuera del rango de norma permitido (Anexo 1).

Una vez implementado el sistema de tratamiento para la remoción de hierro y manganeso, se realizaron nuevamente pruebas de laboratorio para determinar si el agua es apta para el consumo humano tal como se muestra a continuación.

Cuadro 1. Resultados de muestras de agua después del tratamiento.

Fecha	Hierro mg/l	Manganeso mg/l	Valor permisible Norma Agua		Observaciones
			Fe mg/l	Mn mg/l	
21/02/14	0.12	Menor que 0.04882	0.3	0.1	Agua apta para el consumo humano
22/04/14	0.15	0.42	0.3	0.1	Agua no es apta para el consumo humano, excede el limite permisible
22/05/14	0.042	0.152	0.3	0.1	Agua no es apta para el consumo humano, excede el limite permisible
27/01/15	0.1	Menor que 0.04882	0.3	0.1	Agua apta para el consumo humano

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los resultados presentados en el cuadro, se observan algunas variaciones en el comportamiento de las concentraciones de hierro y manganeso en el agua, además los usuarios se quejan por la presencia de partículas oscuras que precipitan en las pilas utilizadas para almacenar agua y que de una forma u otra les genera desconfianza para utilizarla en el consumo humano, según lo expresado por miembros de la Junta Administradora de Agua.

Esta desconfianza del agua y el miedo a padecer de enfermedades por la presencia de hierro y manganeso, ha llevado a los usuarios a buscar otras opciones de abastecimiento como: abastecerse del nacimiento de agua a orilla del río Amayo, comprar el agua envasada, representando un costo adicional que supera el costo que pagan por el agua del sistema.

Otros aspectos es que la comunidad espera 28 años para poder acceder a un proyecto de agua, no cuenta con fuentes de agua que reúnan los parámetros de cantidad y calidad, además tienen limitados recursos económicos para acceder a otras opciones de abastecimiento de agua.

La investigación se realizó en la Colonia Guadalupe, evaluando el sistema de tratamiento del agua sin mejoras y con mejoras, determinando la eficiencia de remoción de hierro y manganeso, comparándolo con la norma salvadoreña de agua potable, en el sistema con mejoras los valores de hierro y manganeso están por debajo del límite máximo permisible, por lo que el agua se puede consumir.

III. Objetivos

3.1 Objetivo General

Evaluar el sistema de tratamiento para la remoción de hierro y manganeso en agua de abastecimiento de la colonia Guadalupe, municipio de Tejutla departamento de Chalatenango.

3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar el uso del agua del sistema de abastecimiento comunitario mediante la realización de encuesta.
- Determinar la concentración de hierro y manganeso presente en el agua del pozo y en el sistema de abastecimiento de agua.
- Elaborar e instalar filtro artesanal a base de esponja y un colector de sólidos sedimentable para mejorar la remoción de hierro y manganeso.
- Determinar el porcentaje de remoción de hierro y manganeso en el agua del sistema de tratamiento mejorado.
- Comparar los resultados de hierro y manganeso obtenidos en el estudio con la Norma Salvadoreña Obligatoria de Agua Potable (NSO 13.07.01:08) para comprobar si es apta para consumo humano.
- Determinar si existe diferencia significativa entre los resultados obtenidos antes y después del mejoramiento del sistema.

IV. Hipótesis

La utilización de los procesos de tratamiento a través de la cloración, aireación, sedimentación y filtración son suficientes para disminuir la concentración de hierro y manganeso del agua a concentraciones permitidas para el consumo humano.

V. Marco Teórico Conceptual

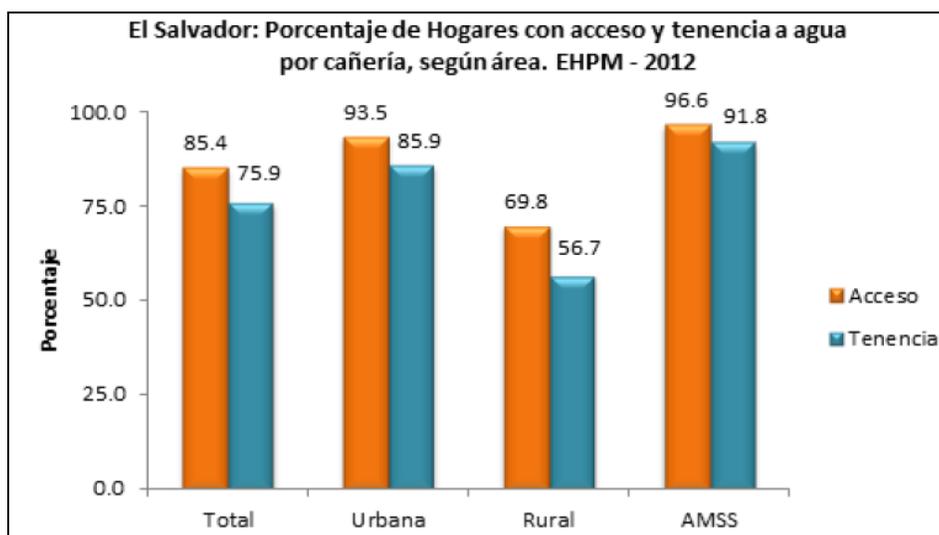
5.1. Acceso al agua en El Salvador

A nivel nacional los hogares que cuentan con el acceso al servicio de agua por cañería son el 85.4%. Los que se abastecen con agua de pozo, representan el 7.7%; mientras los que lo hacen mediante otros medio (incluye ojo de agua, río o quebrada, camión, carreta o pipa, manantial protegido y no protegido, colecta agua lluvia y otros medios) son el 7.0%.

Área urbana el 93.5% de los hogares cuentan con acceso al agua por cañería, el 3.9% se abastece con agua de pozo y el 2.6% se abastece por otros medios.

Área rural solo el 69.8% de los hogares cuentan con acceso al servicio de agua por cañería, mientras que el 15.0% se abastece de agua de pozo y el 15.2% se abastece por otros medios.

Área Metropolitana de San Salvador (AMSS), el 96.6% de los hogares cuenta con el acceso al agua por cañería, los que se abastecen con agua de pozo es el 0.4% y el 2.9% por otros medios (DIGESTYC 2012).



Fuente: DIGESTYC 2012.

Figura1. Porcentaje de hogares con acceso y tendencia a agua por cañería.

5.2. Agua y Salud

La CEPIS/OPS a través del estudio realizado por Rojas (2002), expresa que el objetivo de la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano debe estar enfocado a las estrategias que puedan hacer posible la detección, predicción y prevención de la contaminación del agua de bebida con el fin de minimizar la incidencia de enfermedades transmitidas por el agua.

El agua para consumo humano no debe ser un vehículo de transmisión de enfermedades, por lo que es importante establecer parámetros y sus límites máximos permisibles para garantizar que sea sanitariamente segura. Por tanto se establece que el agua potable es aquella apta para el consumo humano y que cumple con los parámetros físicos, químicos y microbiológicos establecidos en la norma salvadoreña de agua potable NSO 13.07.01:08 (CONACYD, 2009).

En el caso de los parámetros de hierro y manganeso que son los de interés de esta investigación los valores máximos permisibles aparecen en el siguiente cuadro.

Cuadro 2. Norma Obligatoria de Agua Potable, valores para sustancias químicas.

PARAMETRO	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE (mg/l)
Aluminio	0.2
Antimonio	0.006
Cobre	1.3
Dureza Total como (CaCO ₃)	500
Fluoruros	1.00
Plata	0.07
Sodio	200.00
Sulfatos	400.00
Zinc	5.00
Hierro Total	0.30
Manganeso	0.1

Fuente: NSO13.07.01:08, CONACYT (2009).

Cuando los valores de hierro y manganeso superen el límite máximo permisible establecido en esta norma y no se sobrepasen los valores máximos sanitariamente aceptables de 2.0 mg/l para el hierro y de 0.5 mg/l para el manganeso, se permitirá el uso de quelantes para evitar los problemas estéticos de color, turbidez y sabor que generan. Por tanto las aguas deben ser estabilizadas de manera que no produzcan efectos corrosivos, ni incrustantes en los acueductos, por ello se ha establecido los límites máximos permisibles (LMP) que representan el valor de la concentración de cualquier característica de calidad del agua, arriba del cual, el agua no es adecuada para el consumo humano (Gutiérrez et al. 1994).

El hierro y el manganeso son compuestos comúnmente encontrados en todas partes de la tierra y representan un problema en las aguas subterráneas pues están asociados a problemas estéticos y operacionales. Estos compuestos no tienen consecuencias adversas para la salud pero son posibles las intoxicaciones por dosis agudas de hierro entre 300-600 miligramos por cada kilogramo de peso corporal causando depresión, respiración agitada, convulsiones, problemas cardiacos, coma; en el caso del manganeso los efectos ocurren en el tracto respiratorio y en el cerebro (Burbano et al. 2007).

5.3. Aguas subterráneas

La mayor parte del agua subterránea se origina del agua de lluvia infiltrada hasta los acuíferos después de fluir a través del subsuelo. Durante la infiltración, el agua puede cargar muchas impurezas; tales como, partículas orgánicas e inorgánicas, detritus de plantas y animales, microorganismos, pesticidas, fertilizantes, entre otros. Sin embargo, durante su recorrido por el subsuelo mejora significativamente su calidad: las partículas suspendidas y microorganismos se retienen por filtración natural y las sustancias orgánicas se degradan por oxidación. Por otro lado, las sales disueltas, causantes de problemas como dureza y salinidad, no se remueven e incluso, se pueden incrementar considerablemente por la disolución de minerales del subsuelo. Otras sustancias o elementos frecuentemente presentes en las aguas subterráneas son: sulfatos, nitratos, hierro, manganeso, arsénico y flúor (OPS Y CEPIS 2005).

Las aguas subterráneas cumplen un rol importante, y en numerosos casos vital, para el suministro de agua potable de muchas áreas urbanas y rurales de la Región de América Latina y el Caribe (Foster et al. 1987). Presentando algunas causas comunes de deterioro de la calidad del agua subterránea tal como se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 3. Causas de deterioro de calidad de agua subterránea.

Tipo de problema	Causa subyacente	Contaminantes de interés
Contaminación del acuífero	Protección inadecuada de acuíferos vulnerables contra descargas y lixiviados provenientes de actividades urbanas/industriales e intensificación de cultivos agrícolas	Patógenos, nitratos o amoniacos, cloruro, sulfato, boro, arsénico, metales pesados, carbono orgánico disuelto, hidrocarburos aromáticos y halogenados, algunos pesticidas.
Contaminación de la cabecera del pozo	Construcción/diseño inadecuado del pozo que permite el ingreso directo de agua superficial o subterránea poco profunda contaminada.	Principalmente patógenos
Intrusión salina	Aguas subterráneas saladas, y a veces contaminada inducida a fluir hacia acuíferos de agua dulce como resultado de una extracción excesiva	Principalmente cloruro de sodio, pero puede incluir además contaminantes persistentes provenientes de la acción del hombre
Contaminación que ocurre naturalmente	Relacionado con la evolución química del agua subterránea y la solución de minerales (puede estar agravado por la contaminación antrópica y extracción excesiva)	Principalmente hierro y flúor solubles, a veces sulfato de magnesio, arsénico, manganeso, selenio y otras especies inorgánicas

Fuente: Foster et al. 1987.

5.4. Hierro y manganeso

El hierro es un elemento químico de número atómico 26 situado en el grupo 8, periodo 4 de la tabla periódica de los elementos. Su símbolo es Fe (del latín ferrum) y tiene una masa atómica de 55.6 uma. Este metal de transición es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre, representando un 5%. Igualmente es uno de los elementos más importantes del Universo, y el núcleo de la Tierra está formado principalmente por hierro y níquel, generando al moverse un campo magnético.

Se encuentra en las aguas corrientes naturales en concentraciones que varían de 0.5 a 50 mg/l.

Esquemáticamente el hierro total puede encontrarse como:

- Hierro en suspensión (en estado férrico principalmente).
- Hierro disuelto: Hierro en estado férrico solubilizado.

El hierro es un elemento indeseable en el agua desde el punto de vista estético, como generalmente se encuentra en estado férrico; le confiere al agua un sabor metálico y color rojizo desagradable provocando manchas en la ropa y los artefactos sanitarios (Cordero 2011).

El manganeso es un elemento químico de número atómico 25 situado en el grupo 7 de la tabla periódica de los elementos y se simboliza como Mn. El manganeso es un metal de transición blanco grisáceo, parecido al hierro. Es un metal duro y muy frágil, refractario y fácilmente oxidable. El manganeso metal puede ser ferro magnético, pero sólo después de sufrir un tratamiento especial.

El manganeso llega al agua a través del contacto con el suelo o formaciones rocosas. Importancia sanitaria: Genera manchas en la ropa y en los artefactos sanitarios, de color pardo oscuro si está junto con el hierro, es negro si el manganeso está solo en forma de óxido de manganeso. Al contacto con el oxígeno puede precipitar, formando turbidez desagradable de óxidos insolubles que generan depósitos coloreados en los sistemas de distribución; además su presencia puede causar sabor desagradable (Cordero 2011).

5.5. Tratamiento de aguas con presencia de hierro y manganeso

Las fuentes de abastecimiento de agua subterránea son las que se más ven afectadas por la presencia de hierro (Fe) y manganeso (Mn), los cuales se encuentran en forma soluble, que al oxidarse, ya sea al momento de la cloración o con el oxígeno del aire, se precipitan generando un color oscuro que provoca el rechazo de los consumidores, manchan la ropa, obstruyen tuberías, accesorios y bombas.

El hierro tiene más demanda que el manganeso, aunque, por lo general, se utilizan simultáneamente. Las aguas almacenadas en represas en cuyo fondo quedan sumergidas formaciones mangano - ferruginosas, tienden a acumular hierro y manganeso debido a que la descomposición de la materia orgánica acumulada en la parte más profunda de la presa resulta en la eliminación del oxígeno y CO₂, de tal manera que los compuestos de hierro y manganeso existentes en el suelo y en las rocas sumergidas se convierten en compuestos solubles. Las aguas próximas a la superficie de las represas probablemente tienen menos hierro y manganeso (OPS Y CEPIS 2005).

Mourato (1998), resalta que los pozos con alto niveles de hierro y manganeso son comunes en ciertas partes del mundo, según la formación geológica. Las tecnologías convencionales, tales como la arena verde y la oxidación/sedimentación, son efectivas en concentraciones bajas a medianas. Cuando las aguas de pozo contienen más de 5 mg/l de hierro y más de 1 mg/l de manganeso, las tecnologías convencionales ya no son tan efectivas debido al atascamiento del filtro causado por el hierro precipitado y por las películas de bacterias del hierro.

La eliminación de hierro y manganeso se puede realizar mediante método físico - químico que se pueden combinar para tener mejores resultados en la remoción de estos metales mediante procesos de oxidación con aire seguida de una filtración de arena.

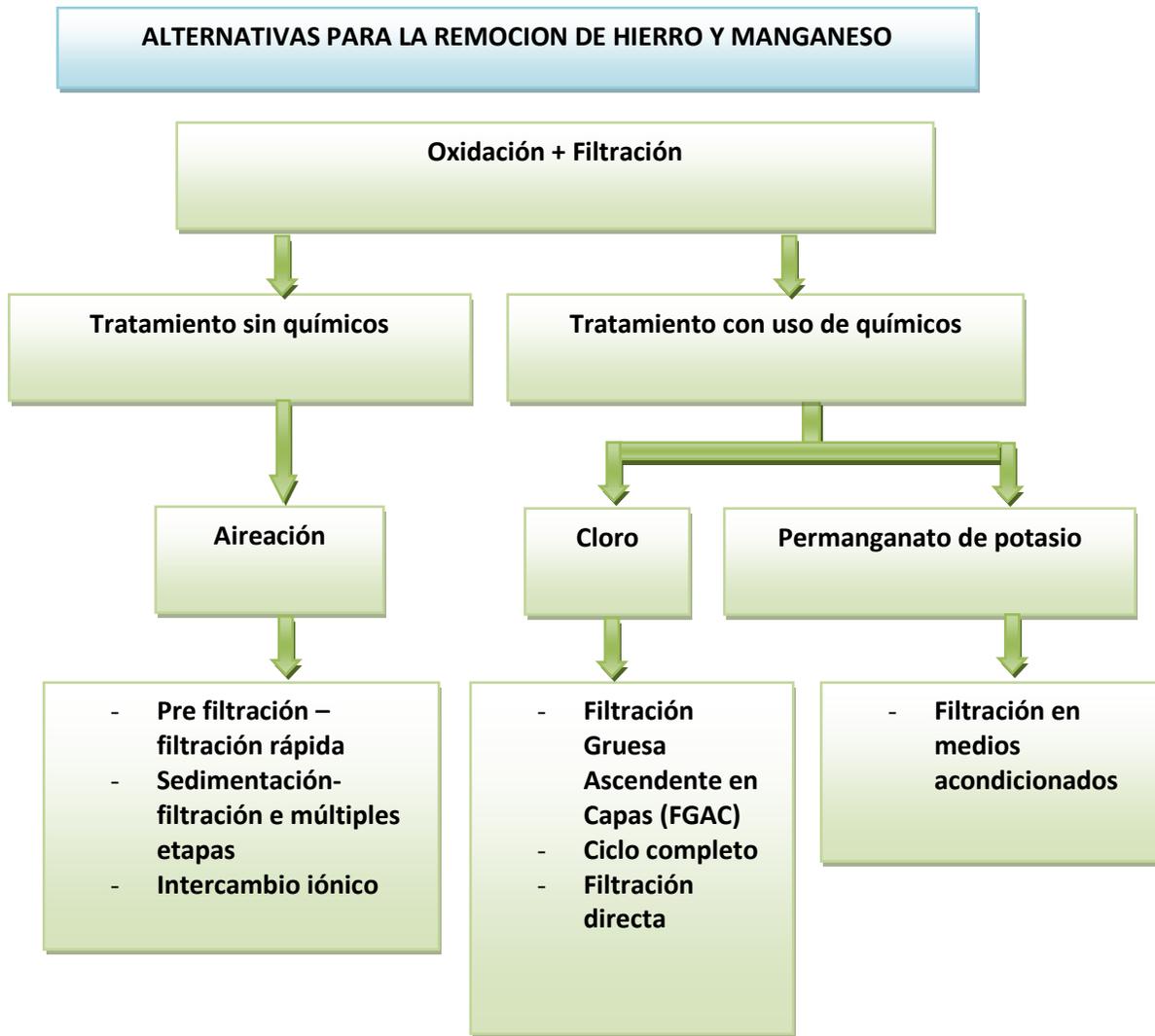
A continuación se muestra un cuadro con los posibles tratamientos cuando el agua presenta hierro y manganeso.

Cuadro 4. Tratamientos para el hierro y manganeso en el agua potable.

Tratamientos para el hierro y manganeso en el agua potable		
Causa	Indicación	Tratamiento
Hierro y manganeso disueltos	<p>El agua está clara cuando es tomada pero aparecen partículas rojizas o negruzcas cuando se estanca.</p> <p>Manchas rojizas-cafés o negras en los accesorios de plomería o en la ropa lavada</p>	<p>Compuestos de fosfato (Úsese para < 3 mg/l)</p> <p>Suavizador de agua (úsese para concentraciones combinadas de hierro y manganeso > 5 mg/l)</p> <p>Filtro oxidante - de arena verde de manganeso o zeolita (úsese para concentraciones combinadas de hierro y manganeso > 15 mg/l)</p> <p>Aireación/filtración (úsese para concentraciones combinadas de hierro y manganeso > 25 mg/l)</p> <p>Oxidación y filtración química (úsese para concentraciones combinadas de hierro y manganeso > 10 mg/l)</p>
Hierro o manganeso disuelto (coloidal) (complejos orgánicos de estos minerales)	El agua del grifo está rojiza o negruzca y el color se mantiene por más de 24 horas (no hay precipitación de partículas)	Oxidación química y filtración
Hierro oxidado en el suministro de agua	El agua del grifo contiene partículas rojizas - cafés que se asientan cuando el agua se estanca	Filtro de partículas
Corrosión de tubería y equipo	El agua del grifo contiene partículas rojizas-cafés que se asientan cuando el agua se estanca	Eleve el pH del agua y use un filtro de partículas
Bacterias de hierro o manganeso	Babas rojizas-cafés en los tanques de los inodoros, y drenajes de los lavamanos y las tinas	Tratamiento de shock y filtración

Fuente: Mc Farland et al. 2004.

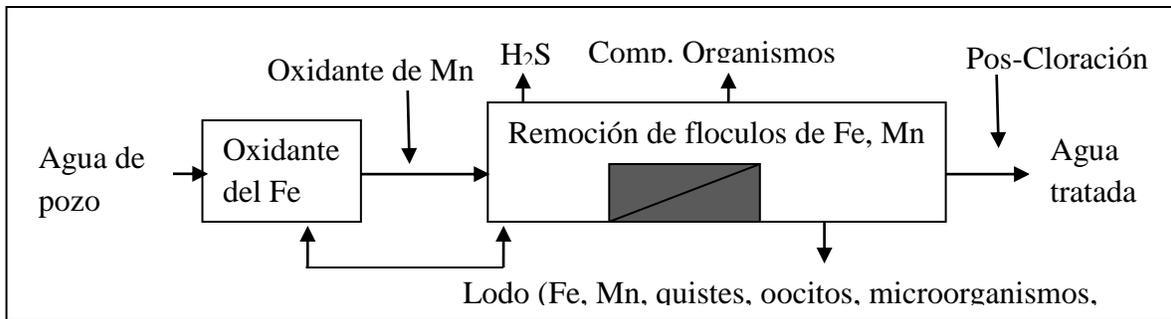
De manera esquemática Burbano et al. (2007), presenta un flujo donde se muestran las opciones de tratamiento para remoción de hierro y manganeso que se pueden implementar.



Fuente: Burbano et al. 2007.

Figura 2. Alternativas para la remoción de hierro y manganeso.

En el caso de Mourato (1998), presenta una planta de tratamiento con su respectivo flujo de acuerdo a las características del agua en relación a la presencia de hierro y manganeso.



Fuente: Mourato 1998.

Figura 3. Planta típica de tratamiento ZeeWeed para aguas subterráneas complejas.

5.5.1. Tratamiento a través de aireación – filtración.

La OMS (2009), manifiesta que la aireación es un proceso de tratamiento en el que el agua entra en contacto con el aire con el propósito primordial de incrementar su contenido de oxígeno. Al tener un mayor contenido de oxígeno:

- Se eliminan las sustancias volátiles, como el sulfuro de hidrógeno y el metano, que afectan el sabor y el olor
- Se reduce el contenido de dióxido de carbono del agua
- Se oxidan los minerales disueltos, como el hierro y el manganeso, para que formen precipitados, que se pueden retirar por decantación y filtración.

La aireación se efectúa mediante caídas de agua en escaleras, cascadas, chorros y también aplicando el gas a la masa de agua mediante aspersión o burbujeo.

El proceso de aireación-filtración se recomienda para agua con alta concentración de hierro (mayor de 5 mg/l) con el fin de disminuir los costos en reactivos. El equipo usado en este proceso incluye comúnmente un aireador, un tanque de retención y filtros. El oxígeno de la atmósfera reacciona con las formas solubles de hierro y manganeso (Fe⁺² y Mn⁺²) del agua cruda para producir óxidos relativamente insolubles (Fe⁺³ y Mn⁺⁴) de estos elementos.

En contacto con el oxígeno disuelto en el agua, las sales ferrosas se convierten en férricas por oxidación y se precipitan en forma de hidróxido férrico. Esta precipitación es inmediata con un pH superior a 7.5. Con un pH mayor de 2.2, el hidróxido férrico es insoluble.

Las principales desventajas del proceso de aireación-filtración son el costo inicial alto, y el requerimiento de un tiempo de retención y tratamiento químico adicionales si la concentración de Mn soluble del agua a tratar es mayor a 1 mg/l (OPS Y CEPIS 2005).

5.5.2. Tratamiento a través de oxidación-filtración

El proceso de oxidación-filtración consiste normalmente de un sistema de dosificación de productos químicos y filtros. Algunas veces se requiere un tanque de retención y un sistema de ajuste de pH con hidróxido de sodio (NaOH), hidróxido de calcio o cal hidratada $\text{Ca}(\text{OH})_2$ o carbonato de sodio (Na_2CO_3). Este proceso opera a pH mayor o igual a 8.4, pero se tienen deficiencias en el proceso de filtración por la formación de precipitados coloidales que pasan a través del filtro.

Como agentes oxidantes pueden usarse el cloro como oxidante poderoso, es, sin duda, el desinfectante más importante que existe, debido a que reúne todas las ventajas requeridas, incluyendo su fácil dosificación y costo conveniente. La coagulación convencional mediante el sulfato de aluminio, especialmente cuando se practica la pre cloración, remueve el fierro y el manganeso. Se obtienen mejores resultados cuando se utiliza sulfato de hierro II clorado o sal de hierro III con cal como coagulante para la coagulación en valores altos de pH.

La acción oxidante del dióxido de cloro a menudo mejora el gusto, olor y color del agua. El dióxido de cloro reacciona en el agua con compuestos fenólicos, sustancias húmicas, sustancias orgánicas e iones metálicos. Por ejemplo, el dióxido de cloro oxida el hierro, el cual se precipita fuera del agua como hidróxido de hierro. Luego, el precipitado se remueve fácilmente mediante filtración.



El dióxido de cloro reacciona con sustancias orgánicas, generalmente por oxidación, y forma pocos compuestos orgánicos clorados. Los compuestos fenólicos presentes en el agua potable se deben principalmente a la contaminación proveniente de fuentes industriales. Estas moléculas, aun cuando están en concentraciones de microgramos por litro, dan un olor y sabor desagradables. El dióxido de cloro reacciona rápidamente con los fenoles. Esta reacción puede variar en diferentes sistemas y ocasionar: La formación de quinonas o cloro quinonas y la ruptura del anillo aromático y la formación de derivados alifáticos (OPS Y CEPIS 2005).

5.5.3. Sedimentación de partículas

Pérez et al. (1977), reconoce que la sedimentación es uno de los procesos más antiguos y usados en el tratamiento de agua, este proceso se entiende como la remoción por efecto gravitacional de las partículas en suspensión en un fluido y que tengan peso específico mayor que el fluido.

En un determinado intervalo de tiempo no todas las partículas en suspensión sedimentan. Las que sedimentan en un intervalo de tiempo elegido se llaman sólidos sedimentables.

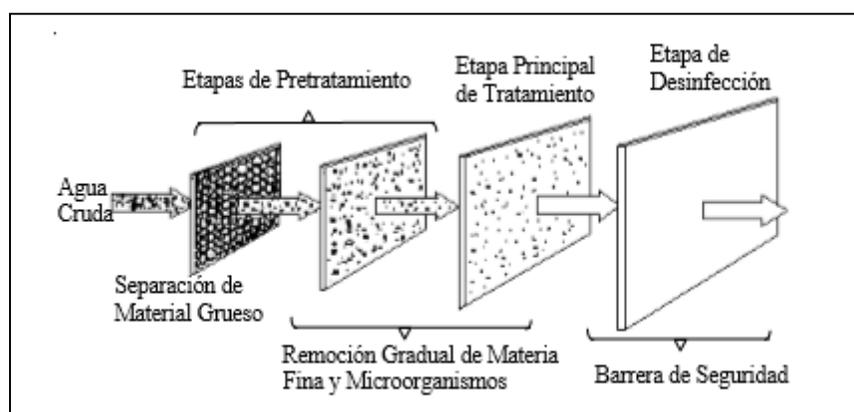
Farrás (2005), expresa que las impurezas naturales pueden encontrarse en las aguas según tres estados de suspensión en función del diámetro. Éstos son:

- Suspensiones hasta diámetros de 10^{-4} cm.
- Coloides entre 10^{-4} y 10^{-6} cm.
- Soluciones para diámetros aún menores de 10^{-6} cm.

Estos tres estados de dispersión dan igual lugar a tres procedimientos distintos para eliminar las impurezas. El primero destinado a eliminar las de diámetros mayores de 10^{-4} cm. constituye la "sedimentación simple". El segundo implica la aglutinación de los coloides para su remoción a fin de formar un "floc" que pueda sedimentar. Finalmente, el tercer proceso, que esencialmente consiste en transformar en insolubles los compuestos solubles, aglutinarlos para formar el "floc" y permitir así la sedimentación.

5.5.4. Filtración

De Vargas, manifiesta filtración lenta se consigue al hacer circular el agua cruda a través de un manto poroso de arena, La Red Iberoamericana de Potabilización y depuración del agua (CYTED), expresa que en el caso del hierro y manganeso hay diferentes técnicas como la oxidación – filtración, aplicación de sustancias coagulantes para facilitar la remoción a través de la filtración, la OPS (2005), presenta la remoción a través de la filtración del agua por diferentes tipos de filtros entre ellos se tienen los que corresponde a la filtración en múltiples etapas como lo presenta La filtración en múltiples etapas (FiME) es la combinación unidades de pre tratamiento con filtración en grava (FGDi y FG) y unidades de tratamiento con filtración lenta en arena (FLA) con la finalidad de obtener un efluente de calidad sin necesidad de la utilización reactivos químicos durante el proceso.



Fuente: OPS, 2005.

Figura 4. Procesos que integran la filtración en múltiples etapas.

Entre la filtración de múltiples etapas se tienen:

- Filtración Gruesa Dinámica (FGDi) Los filtros dinámicos son tanques que contienen una capa delgada de grava fina (6 a 13mm) en la superficie, sobre un lecho de grava más grueso (13-25mm) y un sistema de drenaje en el fondo. Esta unidad es utilizada para reducir los extremos de los picos de turbiedad y proteger de esta manera la planta de tratamiento ante altas cargas de sólidos transportadas por la fuente durante unas pocas horas.
- Filtración Gruesa (FG) Los filtros gruesos de grava pueden ser de flujo horizontal o vertical. Consiste en un compartimiento principal donde se ubica un lecho filtrante de

grava. El tamaño de los granos de grava disminuye con la dirección del flujo. Para el caso de un filtro de flujo ascendente se tiene un sistema de tuberías, ubicado en el fondo de la estructura, permite distribuir el flujo de agua en forma uniforme.

- Filtración Lenta en Arena (FLA) El tratamiento del agua en una unidad de FLA es el producto de un conjunto de mecanismos de naturaleza biológica y física, los cuales interactúan de manera compleja para mejorar la calidad microbiológica del agua. Consiste en un tanque con un lecho de arena fina, colocado sobre una capa de grava que constituye el soporte de la arena la cual, a su vez, se encuentra sobre un sistema de tuberías perforadas que recolectan el agua filtrada. El flujo es descendente, con una velocidad de filtración muy baja que puede ser controlada preferiblemente al ingreso del tanque.

Cuadro 5. Parámetros de diseño y dimensiones de una planta para tratar agua a través de Filtración Múltiples Etapas.

Criterios	Valores recomendados		
	Filtración Gruesa Dinámica	Filtración Gruesa (FG)	Filtración Lenta en Arena (FLA)
Características Generales			
Velocidad de filtración (m/h)	2.0	0.6	0.15
Caudal (l/s)	2.0	2.0	2.0
Área superficial (m ²)	3.6	12	48
Número de unidades en paralelo	2	2	2
Dimensiones por unidad			
Largo (m)	2.70	2.85	5.7
Ancho (m)	3.60	2.10	4.2
Altura total (m)	0.70	1.20	1.80
Lecho filtrante			
Material	Grava	Grava	Arena
Longitud total (m). Incluye lecho de soporte.	0.6	1.00	1.05
Diámetro (mm)	6.0-25.0	3.0-25.0	Cu = 3.0 d10 = 0.20

Fuente: OPS 2005.

5.6. Métodos de desinfección de agua

El Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Medio Ambiente (CEPIS) manifiesta que entre los métodos de desinfección existen los métodos físicos y químicos:

Método físico se tiene: La ebullición que comprende si el agua es de red pública basta con 2 minutos, contados desde el momento que entra en ebullición el agua, si el agua presenta alguna turbidez el tiempo de contacto de hervido podría variar entre los 4 a 7 minutos. También puede usarse tintura de yodo de manera eficaz para eliminar bacterias y quistes, su uso es limitado y su costo es de 6 a 10 veces mayor en relación al cloro.

En los métodos químicos se tiene: El uso de lejía que es una solución de cloro, blanqueador el cual se deberá revisar la etiqueta para ver a que concentraciones viene, luego se puede usar de acuerdo al contenido de cloro 1% es 10 gotas por litro, de 4 - 6% dos gotas por litro y de 7 - 10% una gota por litro.

Además de la lejía se tiene hipoclorito de calcio granular y en pastillas, a razón del 70% de cloro aplicados en dispositivos de cloración tipo T o dispositivos por erosión de tabletas

Según la UICN 2010, expresa que la cloración es el proceso de desinfección del agua utilizando el cloro líquido o cloro granulado en la dosis recomendada. Este compuesto tiene poder destructivo sobre los microorganismos presentes en el agua causantes de enfermedades.

Salsona (2002), expresa que para elegir el producto para la desinfección del agua es necesario saber qué cantidad se necesita, posibilidades de abastecimiento, capacidad técnica y financiera, sin embargo el desinfectante químicos como el cloro, son los más usados porque:

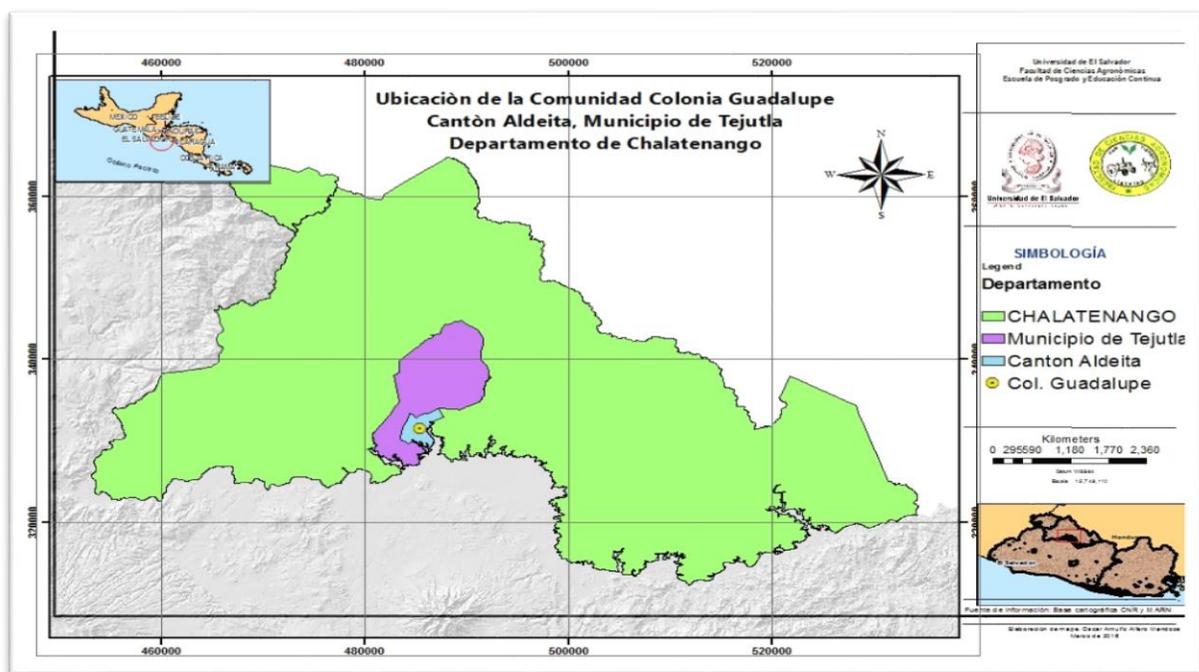
- Son rápidos y efectivos.
- Son solubles en agua en las concentraciones requeridas.
- No afectan el sabor, olor o color del agua.
- Son fáciles de manipular, transportar, aplicar y controlar.
- Son fáciles de medir en el agua. Se consiguen fácilmente y a costo moderado.

VI. Metodología

Para la realización de la investigación se han desarrollado diferentes acciones entre ellas la ubicación del estudio, descripción del sistema de agua, encuesta con usuarios, aforo del sistema, muestreos de agua, implementación de mejoras como elaboración de filtros de esponjas, construcción de depósito sedimentador, limpieza de filtro lento de arena, determinación de dosis de cloro y análisis estadístico, estas acciones se detallan en el presente capítulo.

6.1. Ubicación del área de estudio

La investigación fue realizada en la comunidad Colonia Guadalupe, ubicada a 268 metros sobre el nivel del mar con N $14^{\circ}06'23.33''$ y W $089^{\circ}08'04.7''$, con una temperatura que oscila entre los 37 a 20 grados centígrados, la población de la comunidad es de 225 habitantes. La comunidad se localiza sobre la Carretera Troncal del Norte que conduce al departamento de Chalatenango a 53 km de San Salvador. Sus principales actividades son: ganadería y agricultura principalmente el cultivo de frijol, maíz y maicillo.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5. Localización de la comunidad Colonia Guadalupe.

6.2. Descripción de sistema agua comunitario

El sistema de agua comunitario se fundó en el año 2013, surgiendo a partir del proyecto gestionado por la comunidad a diferentes instituciones como: Alcaldía Municipal, Asociación de Comunidades para el Desarrollo de Chalatenango (CCR) y SOLIDAR Suiza/Ayuda Obrera Suiza (AOS), con el apoyo institucional y la aprobación de la Asamblea General de Socios de la ADESCO, se crea la primera Junta Administradora de Agua denominada COALGUA, constituida por 5 miembros (presidente, secretaria, tesorero y dos vocales), poseen un reglamento interno aprobado en junio del 2014, además de un sistema de cobro computarizado.

El sistema abastece a 57 usuarios, manteniendo el servicio continuo las 24 horas, en el caso de ampliación del servicio de agua a futuros usuarios se realiza de acuerdo a los procedimientos y requisitos que establece el reglamento interno.

A continuación se describen las partes del sistema de agua de la comunidad (Anexo 2, 3 y 4).

6.2.1. Fuente de agua

La fuente de agua es un pozo perforado a 8 pulgadas con 78 metros de profundidad, con un ademe de 6 pulgadas por 75 metros, este ademe es de PVC conformado por tubos lisos o ciegos, tubos ranurados o filtros que permiten la entrada del agua y tapa de fondo, este material de PVC rígido permite un largo periodo de vida útil, además el agua antes de entrar al tubo pasa por un empaque de grava que se encuentra entre el ademe y el contrademe y evita el arrastre de arenas dentro del pozo y por ultimo cuenta con un sello hidráulico con grava, arena y cemento, y una tapadera de 6 pulgadas. En el interior se tiene una bomba sumergible de 2 hp para extraer el agua del pozo.

6.2.2. Cloración

El sistema de agua de la comunidad cuenta con un dispositivo de cloración tipo T construido de forma artesanal con un tubo de PVC de 2 pulgadas, de 45 cm de largo, adaptado a una T de PVC de 2 pulgadas, en la parte superior tiene una tapadera de PVC de 2 pulgadas, y en su

interior se introduce otro tubo con diámetro de 1 pulgada con 5 filas de perforaciones de dos milímetros para permitir la entrada de agua, esta se mezcla con el hipoclorito de sodio al 70% que se le ha agregado dentro del tubo, luego esta mezcla es arrastrada por el agua bombeada para poder oxidar los metales presentes en el agua, en este caso hierro y manganeso.

6.2.3. Aireación y sedimentación

El sistema para desarrollar el proceso de aireación y sedimentación, cuenta con un tanque cuadrado construido con cemento, hierro y ladrillo de obra, sobre la base del suelo y posee las siguientes dimensiones: 1.90 m de alto, 5 m de largo y 3.94 m de ancho con una capacidad de almacenamiento de 37.43 m,³ este tanque además posee un ramal en forma de cruz con 1.70 m de largo cada brazo, y formado por tubo de hierro galvanizado de 1 ½ pulgada suspendido y perforado cada 12 cm para permitir que el agua que ingresa se distribuya uniformemente en gotas, conforme el agua cae al tanque adquiere oxígeno que en conjunto con el cloro ayuda a oxidar al hierro y manganeso, estos dos metales oxidados precipitan en el fondo del tanque. El tubo de salida se encuentra a 15 cm sobre el fondo del tanque para evitar el arrastre de sedimentos.

6.2.4. Filtración

El sistema tiene un filtro lento ascendente de arena de forma circular, con un diámetro de 2 m, una altura total de 2.55 m, con una capacidad de almacenamiento de 8 m cúbicos.

La altura del medio filtrante es de 1.15 m y está distribuido en seis capas ordenadas de forma ascendente grava, hormigón y arena (Anexo 5).

El sobrenadante con que cuenta el filtro es de 94 cm que le sirven para almacenar el agua que está siendo filtrada y drenada al tanque de captación, además cuenta con un borde libre de 20 cm el cual es regulado por el tubo de rebalse.

En la base del lecho de soporte se ha instalado en forma de cruz una red de tubería galvanizada de 2 pulgadas perforadas a cada 12 cm para permitir que el agua que entre al lecho filtrante se distribuya uniformemente al momento de pasar la resistencia del filtro y que las partículas de hierro y manganeso que se han flocculado en el proceso de cloración y aireación queden retenidas.

Tiene una válvula de 2 pulgadas instalada en la base para realizarle el retro lavado y sacar parte de las partículas que han quedado atrapadas en las diferentes capas del filtro, de manera que su vida útil se alargue y evitar la colmatación del filtro.

6.2.5. Tanque captación

Se cuenta con un pequeño tanque de captación de agua filtrada de forma circular, con un diámetro de 1.90 m, una altura total de 1.28 m, del cual solo 1 m de altura sirve para captar agua ya que es regulado por el tubo de rebalse, por lo que su capacidad de almacenamiento de 3.63 m³ se ve reducida, este se construyó con el fin de almacenar el agua filtrada y poder hacer un re-bombeo a un tanque elevado de distribución, este proceso se lleva a cabo mediante una bomba de capacidad de 1 Hp.

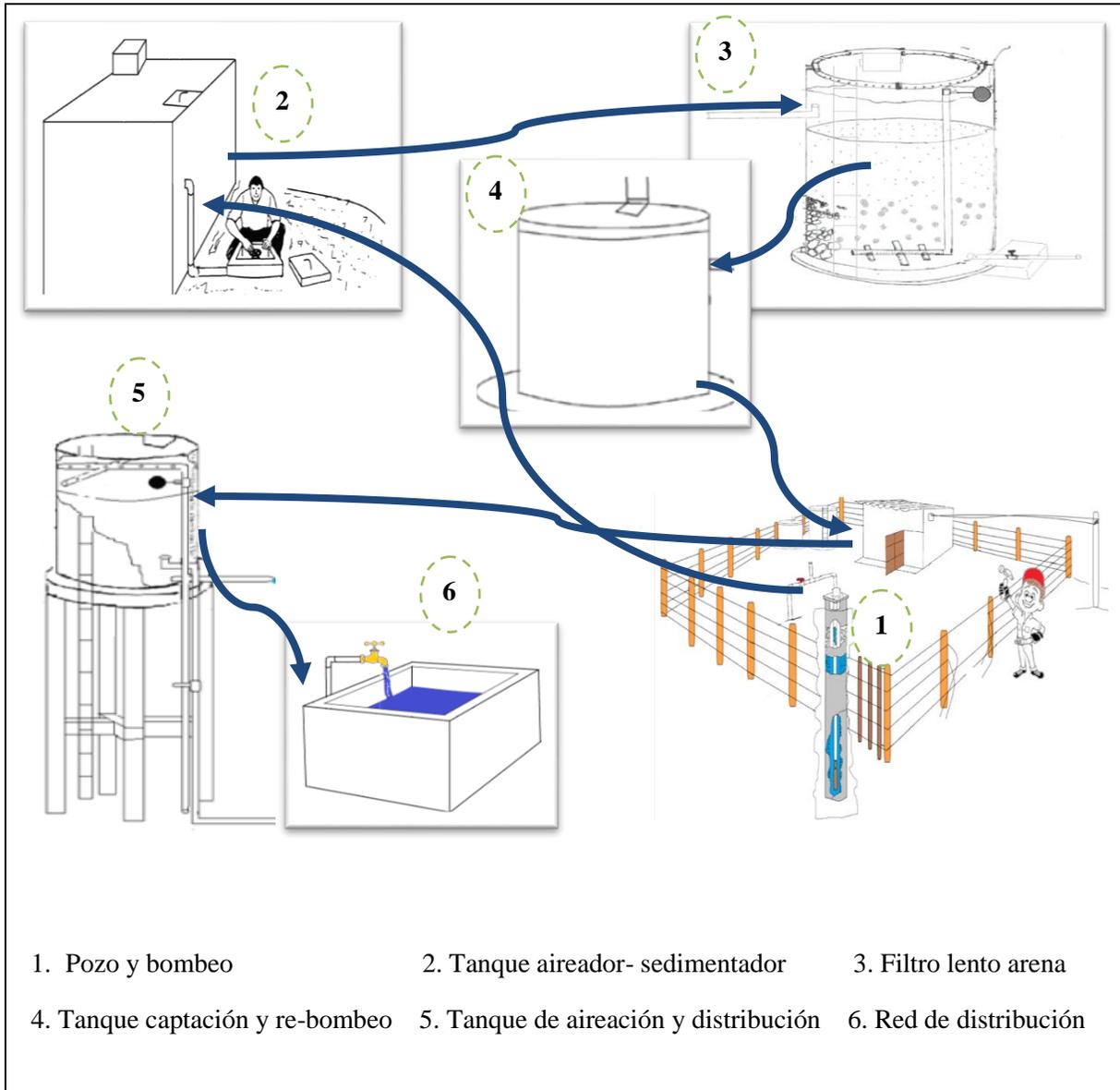
6.2.6. Tanque de distribución

El tanque de distribución es un tanque elevado a 6 m, de forma circular, con un diámetro de 3.78 m, una altura de almacenamiento de agua de 3 m, de esta altura solo es utilizado 2.23 m ya que es regulado por el tubo de rebalse, por tanto la capacidad de almacenamiento es de 25.02 m³, este tanque cumple con dos funciones: La primera es de aireación ya que tiene instalado un ramal en forma de cruz de tubería de 2 pulgadas y perforado cada 12 cm, y la segunda función es de distribución ya que se encuentra posesionado más alto que la comunidad lo cual permite que desde este punto el agua fluya por gravedad.

6.2.7. Red de distribución

La red de distribución se ha instalado tubería de PVC 2" pulgadas enterradas a 1 m de profundidad para protegerla del tráfico o fracturas por peso u otros, esta red está compuesta

por 550 m de tubería distribuida en toda la comunidad, además forma parte de la red de distribución las acometidas domiciliarias que se han instalado con tubería de ½” pulgada, enterradas a 0.80 m de profundidad, en total el sistema cuenta con 57 acometidas con sus respectivos medidores de agua.



Fuente: Elaboración propia

Figura 6. Diagrama de flujo del agua del sistema de abastecimiento comunitario.

6.3. Encuesta para usuarios del sistema de agua

Se realizó una encuesta, con el fin de conocer la opinión de los usuarios respecto al sistema de agua y de la confianza que tienen en el agua que se les abastece, por lo que se establecieron los siguientes elementos.

6.3.1. Población

La población en estudio para determinar la confianza que las personas tienen sobre el sistema de agua estuvo comprendida por el número de usuarios (57) registrados del sistema de agua de la comunidad Colonia Guadalupe (Anexo 6).

6.3.2. Tamaño de la muestra

Para esta investigación se encuestó al 91.23% de los usuarios del sistema de agua de la comunidad Colonia Guadalupe, que cumplieron con los criterios de inclusión y exclusión que se describen a continuación.

6.3.2.1. Criterio de inclusión

- Usuarios que están haciendo uso del sistema de agua
- Usuarios con disponibilidad a participar en la investigación

6.3.2.2. Criterio de exclusión:

- Usuarios no dispuesta a participar en la investigación
- Casa deshabitada y que cuente con mecha de agua registrada

6.3.3. Tipo de estudio

El tipo de estudio utilizado es descriptivo, ya que se analizó la información como se estaba desarrollando en campo y se comparó los resultados obtenidos con los límites establecidos en la norma salvadoreña de agua potable evaluando el cumplimiento de los parámetros en estudiados.

6.3.4. Instrumento

La recolección de la información se realizó a través de una encuesta diseñada con una estructura de preguntas cerrada (respuesta múltiple), se le mencionó al entrevistado las posibles opciones de respuesta prefijadas ya sea dicotómicas (2 opciones) o en abanico (3 o más opciones) para facilitar la codificación y captura de información (Anexo 7).

6.4. Análisis físico químico del agua

De acuerdo a la problemática que se presenta en el sistema de agua de la comunidad se han definido los siguientes parámetros a cuantificar.

- Hierro total.
- Manganeso total.
- Cloro residual.
- Sólidos sedimentables.

Las pruebas de laboratorio para determinar concentraciones de hierro y manganeso se realizaron en el laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

En el caso del cloro residual y los sólidos sedimentables se realizó para conocer el comportamiento que tiene en el proceso de oxidación de hierro y manganeso en el agua del sistema, estas pruebas se hicieron con equipo de campo en los puntos definidos.

6.4.1. Sitios de muestreo

En el desarrollo de la investigación se establecieron diferentes sitios en el sistema de agua para la obtención de muestras para determinar hierro y manganeso, cloro residual y sólidos sedimentables como se detalla a continuación.

6.4.1.1. Sitios para determinar hierro y manganeso a través de pruebas de laboratorio

- Pozo

- Después de la cloración.
- Después del tanque de aireación – sedimentación
- Después del filtrado.
- Tanque aireador y distribución.
- Grifo de usuario inicio y final. (Anexo 8)

Cuadro 6: Sitios de muestreo para determinar hierro y manganeso.

Condición del sistema a muestrear	Sitios de muestreo	Lavado día cero (a)	25 días después de lavado (b)	Duración muestreo meses (c)	Número muestra (a+b*c)
Sistema funcionando inicialmente	Pozo	1	1	2	4
	Después del Clorador tipo T	1	1	2	4
	Después Tanque aireador sedimentador	1	1	2	4
	Después de filtro lento de arena	1	1	2	4
	Tanque aireador-distribuidor	1	1	2	4
	Grifo usuario inicio	1	1	2	4
	Grifo usuario final	1	1	2	4
Sistema funcionando con mejoras instaladas	Pozo	1	1	2	4
	Después del Clorador tipo T	1	1	2	4
	Después Tanque aireador sedimentador	1	1	2	4
	Después de filtro lento de arena	1	1	2	4
	Tanque aireador-distribuidor	1	1	2	4
	Grifo usuario inicio	1	1	2	4
	Grifo usuario final	1	1	2	4

Fuente: Elaboración propia.

Cada muestra se tomara por duplicado para tener mejor representación.

6.4.1.2. Sitios para determinar cloro residual

- Después de la cloración.

- Después del tanque de aireación – sedimentación.
- Después del filtrado.
- Tanque aireador y distribución.
- Grifo domiciliar (inicio, centro y final) del sistema de distribución.

La determinación de cloro residual se realizó con kit colorimétrico de campo con el uso de reactivos DPD.

Cuadro 7: Sitios de muestreo para determinar cloro residual.

Condición del sistema a muestrear	Sitios de muestreo	Lavado día cero (a)	25 días después lavado (b)	Frecuencia	Duración muestreo día (c)	Número muestra (a+b*c)
Sistema funcionando inicialmente	Después del Clorador tipo T	1	1	Diario	7	14
	Después Tanque aireador sedimentador	1	1	Diario	7	14
	Después de filtro lento de arena	1	1	Diario	7	14
	Tanque aireador-distribuidor	1	1	Diario	7	14
	Grifo inicio	3	3	Diario	7	42
	Grifo final	3	3	Diario	7	42
Sistema funcionando con mejoras instaladas	Después del Clorador tipo T	1	1	Diario	7	14
	Después Tanque aireador sedimentador	1	1	Diario	7	14
	Después de filtro lento de arena	1	1	Diario	7	14
	Tanque aireador-distribuidor	1	1	Diario	7	14
	Grifo inicio	3	3	Diario	7	42
	Grifo final	3	3	Diario	7	42

Fuente: Elaboración propia.

6.4.1.3. Sitios para determinar sólidos sedimentables

- Tanque sedimentador.
- Purga de lodos de tubería.
- Tubería de lavado de filtro.

Se tomaron muestras de agua para determinar sólidos sedimentables cada 5 días por un periodo de dos meses con el sistema funcionando normalmente y los otros dos meses siguientes con el sistema mejorado a partir del día de lavado del sistema de agua en los sitios definidos (purga de lodos y retro lavado de filtro), en el caso de las muestras que se tomaron dentro del sedimentador se hizo cada mes en el momento que se realizó la limpieza del sistema de agua.

Cuadro 8. Sitios de muestreo para determinar sólidos sedimentables.

Condición del sistema a muestrear	Sitios de muestreo	Lavado día cero (a)	Antes de lavado (b)	Frecuencia	Duración muestreo mes (c)	Numero muestra (a+b*c)
Sistema funcionando inicialmente	Tanque sedimentador	1	—	Mensual	2	2
	Purga de lodos	3	3	Cada 5 días	2	12
	Tubería de lavado filtro	3	3	Cada 5 días	2	12
Sistema funcionando con mejoras instaladas	Tanque sedimentador	1	—	Mensual	2	2
	Purga de lodos	3	3	Cada 5 días	2	12
	Tubería de lavado filtro	3	3	Cada 5 días	2	12

Fuente: Elaboración propia.

6.4.2. Toma de muestras de agua

El muestreo se realizó en el sistema de agua de la comunidad Colonia Guadalupe, en el periodo comprendido entre Junio a noviembre del año 2016.

Para la toma de muestras de agua se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Georefenciación de los puntos de muestreo.
- Registro fotográfico del muestreo.
- Se inició la toma de muestras en los sitios de muestreo definidos en el cuadro 6, para el cual se llenó el depósito de las muestras con su respectivo sello para evitar fugas.
- El recipiente para la toma de muestras de agua es de Polietileno, de un litro de capacidad al que se le agregó como preservante 2 ml de ácido nítrico concentrado HNO_3 por litro de muestra para alcanzar un $\text{pH} < 2$.
- La toma de muestra se realizó directamente del chorro instalado en las casas ya definidas y en caso de las muestras de los tanques de agua se llenó directamente del interior del tanque.
- Los frascos se enjuagaron tres veces antes tomar la muestra de agua.
- La muestra se etiquetó con la siguiente información: Nombre de la fuente, punto de muestreo, día y hora de la recolección, nombre del recolector.
- El traslado de la muestra se realizó en hielera conservando una temperatura aproximada de 4 grados Celsius (Anexo 9).

6.4.3. Procedimiento para la lectura de cloro residual

- Se colocó el disco de color en el comparador.
- Se llenó un tubo con la muestra de agua hasta la marca 5 ml.
- Se colocó el tubo en la abertura superior izquierda del comparador.
- Se llenó el otro tubo con agua hasta la marca 5 ml.
- Se vertió el contenido de un sobre de reactivo DPD en el segundo tubo preparado.
- Se tapó el tubo y agitó.
- Se colocó el segundo tubo en la abertura superior derecha del comparador.

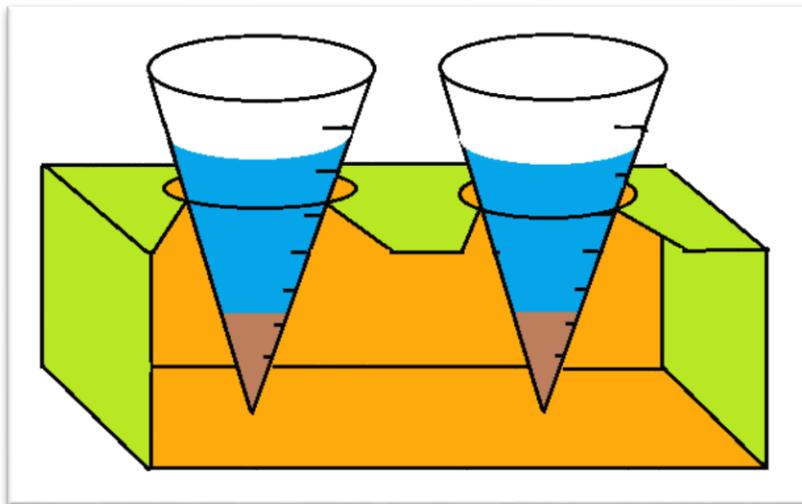
- Se orientó el comparador hacia una fuente de luz y se giró el disco hasta que el color del agua sea igual para los dos, en ese punto se detiene el disco.
- Se anotó el número que aparece en la ventanilla del comparador, el cual indica la concentración de cloro residual encontrada (ACUA 2007).

6.4.4. Método analítico de laboratorio par análisis de hierro y manganeso en agua

Para la determinación de hierro y manganeso en laboratorio se realizó a través de Espectrofotometría de Absorción Atómica de llama (Anexo 10) y para el caso del manganeso a través del método colorimétrico Merck (Anexo 11).

6.4.5. Método volumétrico para Sólidos sedimentables con cono Imhoff (Ovalle 2014)

La determinación de sólidos sedimentables se realizó a través del método volumétrico con cono Imhoff, que se basa en la presencia de materias sedimentables en volumen (MSd,) = volumen obtenido de la sedimentación en el cono Imhoff al cabo de un tiempo determinado.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 7: Conos Imhoff.

La materia en suspensión sedimentable se separa del agua por gravedad, sobre todo aquellas partículas de diámetro superior a $1 \mu\text{m}$ (10^{-4} cm). El resultado se expresa en ml de sedimento/litro de agua analizada.

Materiales.

- Cono Imhoff graduado a 1000 ml de capacidad.
- Reloj.
- Agitador.

Procedimiento.

- Se abrió la válvula para dejar salir el agua ya sea de la purga de lodos de tubería o del retro lavado del filtro lento de arena, en el caso de la muestra tomada dentro del sedimentador se tomó cuando se hace el lavado.
- Se vertió la muestra en el cono Imhoff 1000 ml de muestra perfectamente mezclada.
- Se dejó sedimentar el volumen de la muestra.
- A los 45 minutos se raspo las paredes del cono con una varilla para desprender las partículas adheridas.
- Una vez transcurrido dos horas se procedió a la lectura de la escala del cono Imhoff para registrar la cantidad de sólidos sedimentables precipitados.
- Y se anotó el resultado en ml/l.

6.5. Determinación del porcentaje de remoción de hierro y manganeso del sistema

Para la determinación del porcentaje de remoción de hierro y manganeso del sistema de agua de la comunidad se tomó en cuenta los resultados de los análisis de agua obtenidos de las muestras extraídas del pozo sin ningún tratamiento y las muestras recolectadas en el grifo del usuario.

- Para calcular el porcentaje de remoción de hierro en el sistema de agua se empleó la siguiente relación:

$$\% \text{ remoción hierro total} = \frac{\text{Hierro inicial agua cruda} - \text{Hierro final agua tratada}}{\text{Hierro inicial agua cruda}} \times 100$$

Para calcular el porcentaje de remoción de manganeso en el sistema de agua se empleo la siguiente relación:

$$\% \text{ remoción Manganeso} = \frac{\text{Manganeso inicial agua cruda} - \text{Manganeso final agua tratada}}{\text{Manganeso inicial agua cruda}} \times 100$$

6.6. Comparación resultados laboratorio

Los resultados obtenidos de las concentraciones de hierro y manganeso en los análisis de agua, específicamente de las muestras tomadas del chorro de los usuarios del sistema, se comparó tomando como base la Norma Salvadoreña de Agua Potable (NSO13.07.01:08.), en la que se establece que el límite máximo permisible para el hierro total es de 0.30 mg/l y de Manganeso de 0.1 mg/l por tanto, de acuerdo a los resultados de laboratorio, se estableció si el agua del sistema que administra la Junta de Agua cumple con los límites permisibles que señala la norma NSO 13.07.01:08.

6.7. Implementación de mejoras en el sistema de agua

Se implementaron mejoras en el sistema de agua comunitario de manera que se pueda ayudar a la remoción de hierro y manganeso, determinación de dosis de cloro, elaboración de filtros de esponjas, construcción de depósito sedimentador, limpieza de filtro lento de arena, las cuales se detallan a continuación:

6.7.1. Establecer la dosis de hipoclorito de calcio al 70%

Para determinar la dosis de hipoclorito de calcio al 70% que se debe aplicar al clorador tipo T, se realizo de la siguiente manera:

- Se peso en una balanza analítica la dosis de hipoclorito de calcio al 70% que se está utilizando en el sistema de agua y la frecuencia con que se aplicaba para tener un punto de partida de cómo se está haciendo el tratamiento.
- Luego se procedió a calcular la dosis de hipoclorito de calcio que se debe utilizar para lo cual se realizó un aforo del agua que entra al sistema diariamente, utilizando el

método volumétrico en el que se determinó cuánta agua está ingresando y para conocer la cantidad de agua que se requiere tratar con el hipoclorito de calcio al 70%.

- Se tomó en cuenta los resultados obtenidos de las muestras tomadas en el pozo para conocer las concentraciones de hierro y manganeso del agua cruda en mg/l.
- Teniendo estos datos y conociendo la concentración en la que viene la presentación del hipoclorito de calcio se procedió de la siguiente manera:

Oxidación de manganeso.

La reacción de oxidación del manganeso +2 a manganeso +4 por la acción del hipoclorito de calcio, sigue de forma general la siguiente ecuación química:



Siguiendo la estequiometria de la ecuación química: un mol de hipoclorito de calcio provoca la oxidación de dos moles de manganeso.

Peso molecular $\text{Ca}(\text{ClO})_2$: 142.88 g/mol

Peso atómico del manganeso: 54.94 g/mol

Si la concentración de manganeso en el agua a tratar es de 10 ppm (por ejemplo), y 10 mg = 0.01 g, entonces:

$$0.01 \text{ g de Mn} \times \frac{142.88 \text{ g de Ca}(\text{ClO})_2}{2(54.94 \text{ g Mn})} = 0.013 \text{ g de Ca}(\text{ClO})_2$$

Si el hipoclorito de calcio comercial comúnmente posee un porcentaje de 70 % p/p, entonces:

$$\begin{array}{ccc} 70 \text{ g de Ca}(\text{ClO})_2 & \text{-----} & 100 \text{ g del Ca}(\text{ClO})_2 \text{ comercial} \\ 0.013 \text{ g Ca}(\text{ClO})_2 & \text{-----} & x \end{array}$$

$x = 0.0185 \text{ g Ca}(\text{ClO})_2 \text{ comercial.}$

En conclusión, para oxidar al manganeso +2 a manganeso +4 se necesita 0.0185 g del hipoclorito de calcio por cada litro de agua a tratar.

Oxidación de hierro.

La reacción de oxidación del hierro +2 a hierro +3 por la acción del hipoclorito de calcio, sigue de forma general la siguiente ecuación química:



Siguiendo la estequiometria de la ecuación química: un mol de hipoclorito de calcio provoca la oxidación de cuatro moles de hierro.

Peso molecular $\text{Ca}(\text{ClO})_2$: 142.88 g/mol

Peso atómico del hierro: 55.85 g/mol

Si la concentración de hierro en el agua a tratar es de 10 ppm (por ejemplo), y 10 mg = 0.01 g, entonces:

$$0.01 \text{ g de Fe} \times \frac{142.88 \text{ g de Ca}(\text{ClO})_2}{(4)(55.85 \text{ g Fe})} = 0.0065 \text{ g de Ca}(\text{ClO})_2$$

Si el hipoclorito de calcio comercial comúnmente posee un porcentaje de 70%, entonces:

$$\begin{array}{ccc} 70 \text{ g de Ca}(\text{ClO})_2 & \text{-----} & 100 \text{ g del Ca}(\text{ClO})_2 \text{ comercial} \\ 0.0065 \text{ g Ca}(\text{ClO})_2 & \text{-----} & x \end{array}$$

$x = 0.0093 \text{ g Ca}(\text{ClO})_2 \text{ comercial.}$

En conclusión, para oxidar al hierro +2 a hierro +3 se necesita 0.0093 g del hipoclorito de calcio por cada litro de agua a tratar.

6.7.2. Elaboración e instalación de filtro de esponja

Se elaboró y se instaló un filtro artesanal utilizando esponja como material filtrante para ayudar a la remoción de hierro y manganeso en el tanque de sedimentación y tanque de distribución (Anexo 12).

Materiales y costos

Cuadro 9. Materiales y costos para elaboración de filtro de esponja.

Filtro esponja (Productos)	Cantidad	Costo (\$)	Total (\$)
Compra de depósito plástico	1	15.00	15.00
Camisa de pvc 2"	2	2.00	4.00
Tubo de Pvc 2" x 6 mts de 160 psi	1	12.00	12.00
Pegamento PVC	1	5.00	5.00
Codo de Pvc de 2" x 45°	1	2.00	2.00
T pvc 2 pulgadas	1	2.00	2.00
Esponja 4"	1	12.50	12.50
Sierra p/cortar hierro	1	1.00	1.00
Válvula 2 pulgadas	2	15.00	30.00
Total			83.50

Fuente: Elaboración propia.

Elaboración.

- Se obtuvo seis depósitos plásticos con tapadera de 40 centímetros de diámetro por 50 centímetros de alto.
- En la tapadera del depósito plástico se hizo cuatro orificios de 2" de diámetro para permitir el ingreso del agua al filtro.
- Se hizo otro orificio de 2" de diámetro en la base del depósito plástico a una altura de 1 centímetro.
- Por la parte interna del depósito plástico se pegó una camisa de PVC de 2" al tubo de pvc que atraviesa el orificio de la base del depósito, en la parte externa se pegó un codo tratando de ajustar lo mejor posible el tubo al depósito.

- Se cortó dos tramos de tubo de PVC de 2” con un largo de 5 centímetros y el otro de 40 centímetros que servirá para transportar el agua del interior del filtro a la tubería de salida.
- Se introdujo como soporte, para mantener fijo el depósito por la presión del agua, 17 piedras cuarta obtenidas de un río y relleniéndolo hasta una altura de 35 centímetros.
- Después de la piedra se colocó dos capas de esponjas de 4” cada una, para que cumpla con la función de material filtrante; esta se cortó con un diámetro de 40 centímetros.
- Una vez instalado la esponja se cerró la tapadera del filtro para finalizar su elaboración.

Procedimiento de instalación.

- Se vació el tanque de sedimentación y el de distribución para poder instalar el filtro elaborado.
- Se colocó el filtro dentro del tanque de sedimentación procurando que quedara bien ubicado en la base del taque sedimentador.
- Además del peso de la piedra se llenó de agua para ejercer más peso y mayor fijeza al momento que se instaló dentro del tanque sedimentador y el tanque de distribución.
- Se ajustó la tubería de salida del agua del filtro con la tubería del tanque sedimentación o el tanque de distribución según sea el caso.
- Se abrió la válvula de salida para permitir el flujo del agua filtrada.
- Se realizó el lavado del filtro una vez al mes, para lo cual se retiró el material y la esponja, se lavó con abundante agua a fin de remover todos los floculos de hierro y manganeso retenidos.
- Se volvió a instalar el filtro para ponerlo en funcionamiento.

6.7.3. Elaboración e instalación de depósito sedimentador de sólidos

Se elaboró y se instaló un depósito para sedimentar solidos con el objeto de ayudar a la remoción de hierro y manganeso que se deposita en la tubería y retenerlo antes de llegar al filtro lento de arena (Anexo 13).

Materiales y costos

Cuadro 10. Materiales y costos para elaboración de depósito sedimentador de sólidos.

Sedimentador de lodos (Productos)	Cantidad	Costo (\$)	Total (\$)
Tanque plástico 450 l	1	90.00	90.00
Válvula 2 pulgadas	2	15.00	30.00
Válvula de ½”.	1	2.00	2.00
Pegamento PVC	1	5.00	5.00
Silicón transparente	5	5.00	25.00
Te de PVC 2”.	1	2.00	2.00
Grifo	1	5.00	5.00
Camisa de pvc 2”	1	2.00	2.00
Tubo de Pvc 2" x 6 mts de 160 psi	1	12.00	12.00
Hierro de 1/4 varilla	10	1.20	12.00
Arena m ³	1.5	15.00	15.00
Grava m ³	0.5	15.00	15.00
Alambre de amarre	1	1.00	1.00
Ladrillo de obra	180	0.15	27.00
Cemento gris	7	8.00	56.00
Sierra	1	1.00	1.00
Mano de obra	6	10.00	60.00
Total			360.00

Fuente: Elaboración propia.

Elaboración.

- Se compró un tanque plástico con una capacidad de 450 litros.
- Se perforo la parte superior del tanque haciendo un orificio de 2” ajustado donde se introdujo la tubería de la purga de lodos.
- Se dejó instalada una válvula de control de entrada de agua al depósito.
- Se pegó un tramo de la tubería después de la válvula de 70 cm.

- Se aprovechó la salida del tanque que venía a 1½” y se instaló un reductor de 2” a 1½” para lo cual se adaptó 1 m de tubo de 2” y al final se instaló una válvula de control para permitir sacar sedimentos de hierro y manganeso que se acumule en el tanque.
- Se instaló una válvula des-aireadora en la parte superior del tanque para sacar el aire al momento de su llenado.
- La tapadera del tanque se selló con silicón multiusos transparente para evitar fugas en el depósito de sedimentos de sólidos.

Procedimiento de instalación.

- Se marcó el punto donde se instaló el depósito sedimentador de sólidos.
- Se apagó el sistema de agua para que las tuberías se vaciaran y permitiera el trabajo de instalación.
- Se excavo un agujero de 1.20 m³ para instalar el tanque plástico a fin de facilitar la colocación.
- Se cortó la tubería de la purga de lodos.
- Se colocó el tanque plástico alineando la entrada de agua con la tubería que viene de la purga de lodos.
- Con una camisa y un tramo de tubería de 2” se unió la tubería que viene del sistema de agua y el depósito sedimentador.
- Se cortó un segundo tramo de tubería de 2” para instalarlo en la parte inferior que servirá de salida de sedimentos, este se redujo a 1½” para poder continuar la salida a 2” y al final se instaló una válvula para el desagüe de 2”.
- Ya instalado se procedió a llenar con concreto los espacios entre el tanque plástico y las paredes de ladrillo para darle soporte y protección del sol y de posibles daños al tanque sedimentador.
- Se dejó 4 días para que secura el concreto antes de ponerlo a funcionar.
- Se cerró la válvula de desagüe y se abrió la válvula de entrada para ponerlo en funcionamiento.

- Se realizó el lavado del depósito sedimentador de sólidos cada 5 días de acuerdo al muestreo de sólidos sedimentables, para lo cual se abrió la válvula de desagüe hasta que el agua saliera clara.
- Se volvió a poner en funcionamiento cerrando la válvula de desagüe y abriendo la válvula de entrada.

6.7.4. Extracción y lavado del filtro lento de arena

Para el lavado del filtro lento de arena se realizó de la siguiente forma:

- Se abrió la entrada del filtro por la parte superior.
- Se cerró la válvula de entrada de agua al filtro.
- Se abrió la válvula de retro lavado de filtro y se vació.
- Se quitó la capa de hierro y manganeso formada en la parte superior del filtro
- La arena y la piedra se sacó en cubetas de 5 galones y se depositó en una carpeta plástica para iniciar el lavado.
- En guacales se inició a lavar la arena y la grava, restregando con las manos y agregando abundante agua de manera que el hierro y el manganeso iba disminuyendo hasta que quedara limpia.
- La arena limpia se depositó en costales para poder ingresarla nuevamente al filtro y colocarla en su posición original.
- Para lavar la piedra se restregó con cepillo y abundante agua.
- También se extrajo el ramal de tubería perforada que permite la distribución del agua en el fondo, se destaparon las perforaciones de salida y se quitó el hierro y manganeso adherido en el interior.
- Una vez limpio todos los materiales, se inició a armar el filtro lento de arena, instalando primero el ramal de la tubería, después se colocó la piedra teniendo el cuidado de dejar libre la salida del agua, posteriormente se colocó la grava y las capas de arena y a 30 cm de finalizar se colocó una capa de 2" de esponja para evitar los rompimientos verticales entre las paredes del filtro y la arena, sobre esta capa se colocaron 30 cm de arena fina para terminar la construcción del filtro.
- Se abrieron la válvula y se puso a funcionar nuevamente el filtro (Anexo 14).

6.8. Capacidad de producción del sistema de agua

Para determinar la capacidad de producción de agua del sistema, se realizó aforo de agua justamente después del filtro lento de arena ascendente, utilizando el método volumétrico del cual se desarrollara de la siguiente manera:

- Se tomó las medidas del tanque de re-bombeo el que servir como recipiente para captar el agua.
- Se graduó un tubo de 2" cada 10 cm hasta una altura de 110 cm, de la cual solo se tomó de referencia del 0 cm a 50 cm de altura,
- Se fijó el tubo graduado dentro del tanque.
- Se midió el tiempo en que el agua filtrada del sistema tarda en llenar cada 10 cm y el tiempo en llenar los 50 cm
- Con los tiempos y el volumen del tanque utilizado para medir el caudal se estableció la capacidad de producción de agua tratada que tiene el sistema.

Descripción del método.

El aforo mediante el método volumétrico consiste en tomar el tiempo que demora en llenarse un recipiente de volumen conocido. Posteriormente se divide el volumen en litros entre el tiempo promedio en segundos, obteniéndose el caudal en l/s

$$Q=V/t$$

$$Q=\text{Caudal de fuente de agua}$$

$$V=\text{Volumen conocido.}$$

$$T= \text{Tiempo}$$

Este aforo se realizó 5 días consecutivos para obtener los promedios del caudal en litros por segundos, este se multiplico por 86,400 segundos para obtener la capacidad de producción del sistema en un día en constante operación.



Figura 8. Aforo por método volumétrico.

6.9. Método estadístico para análisis de concentraciones de hierro y manganeso

Se aplicó la prueba para la diferencias de medias con muestras pareadas, lo cual calcula la diferencia dentro de cada par de mediciones antes y después, se determinó la media de estos cambios e informo si la media de las diferencias es estadísticamente significativa.

Dónde:

$X_1 - X_2$: Parámetro de interés.

n : Tamaño de la muestra.

X_1 : Observaciones obtenidas en la muestra tomadas de la población 1.

X_2 : Observaciones obtenidas en la muestra tomadas de la población 2.

$d_i = X_{1,i} - X_{2,i}, i=1, 2, \dots, n$ diferencia entre observaciones.

Estimado d media: Media de las diferencias entre observaciones.

$$\bar{d} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_{1,i} - X_{2,i}) \quad \text{Con una varianza} \quad s_d^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2$$

Para la prueba de hipótesis.

Hipótesis nula.

$$H_0: \bar{X}_1 = \bar{X}_2$$

Las medias de las diferencias de la población X_1 , es igual a las medias de la hipotética de las diferencias X_2 .

Hipótesis alternativa.

$$H_a: \bar{X}_1 \neq \bar{X}_2$$

Las medias de las diferencias de la población X_1 , no es igual a las medias de la hipotética de las diferencias X_2 .

α = Nivel de significancia

v = Grados de libertad

$$T = \frac{\bar{d} - d_0}{s_{\bar{d}} / \sqrt{n}}$$

Con una distribución T con $v = n - 1$ grados de libertad.

Para el procesamiento de datos se hizo uso del programa estadístico InfoStat, ingresando los datos del agua del pozo (antes) y el agua del usuario (después), tanto para el sistema sin mejoras como para el sistema con las mejoras implementadas, luego en el estadístico se aplicó la inferencia basadas en dos medias y la prueba t apareada, que dio como resultados las diferencias de medias, las medias y el estadístico t y el bilateral que nos permitió aceptar o rechazar la hipótesis nula.

VII. Análisis de resultados

7.1. Caracterización del uso del sistema de abastecimiento de agua

Para la caracterización del uso del sistema de agua se realizó una encuesta a los usuarios a fin de conocer las percepciones del agua que suministra el sistema de la comunidad, a continuación se presentan los resultados.

Cuadro 11. Miembros que forman parte del grupo familia.

Población	Frecuencia	Porcentaje (%)
Niños	19	8
Niñas	38	17
Hombres	73	32
Mujeres	95	42
Total	225	100

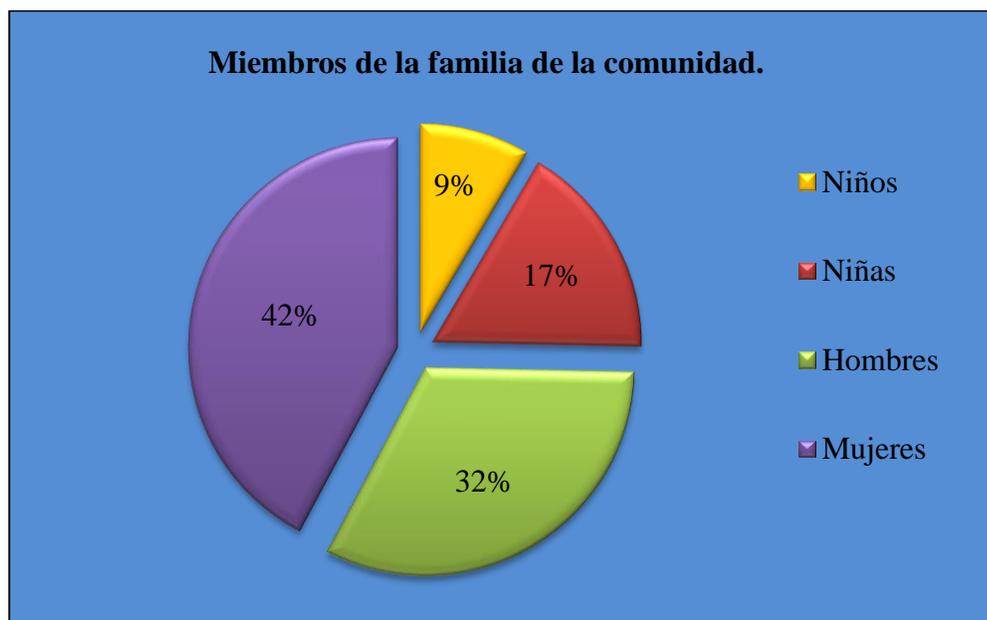


Figura 9. Miembros de la familia de la comunidad Colonia Guadalupe.

De acuerdo a la figura 9 se observa que la mayor parte de la población que conforman el grupo familiar de la comunidad son mujeres con el 42%, seguidamente de los hombres con un 32%,

sumados ambos representa un total de personas adultas de 74% y solo el 26% está compuesta por niños y niñas.

Con respecto a las fuentes de agua que las familias de la comunidad tienen acceso, un 71% de los hogares utiliza únicamente el sistema de agua comunitario, el 27% utiliza para abastecerse el agua del sistema y agua de nacimiento, solo el 2% disponen de agua del sistema y agua lluvia para abastecerse en la familia.

Cuadro 12. Fuentes de agua que dispone para abastecerse las familias.

Fuente de agua	Frecuencia	Porcentaje (%)
Solo sistema comunitario	37	71
Sistema comunitario y Nacimiento	14	27
Sistema comunitario y Agua lluvia	1	2
Total	52	100

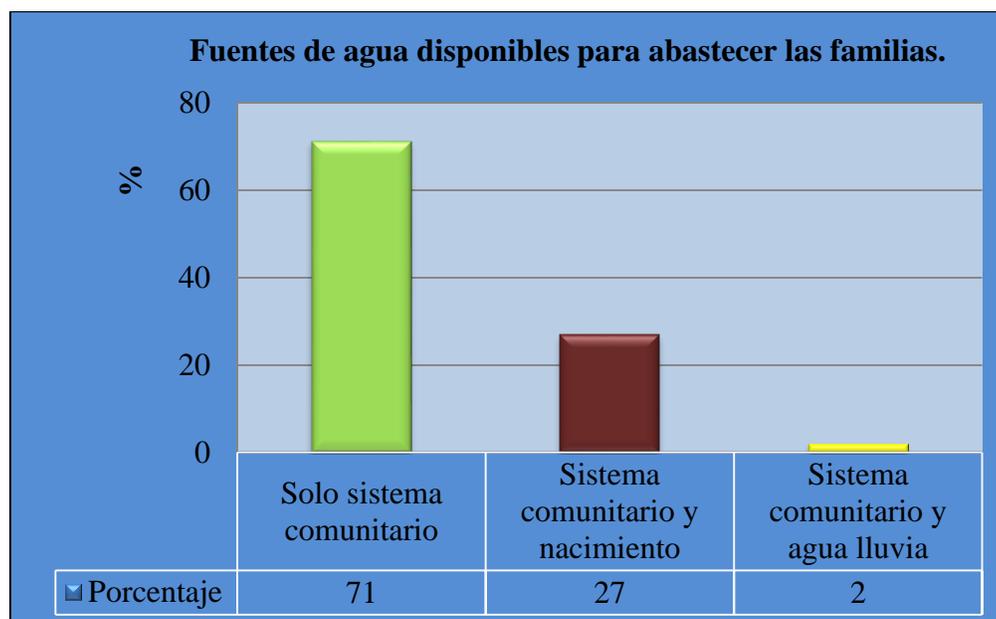


Figura 10. Fuentes de agua disponibles para abastecer las familias.

De los hogares que tienen acceso al sistema de agua comunitario, el 73% de las familias utilizan el agua únicamente para realizar sus actividades domésticas, el 8% además de usarla

para actividades domésticas la usa para regar las plantas, sin embargo hay un 19% que utilizan el agua en actividades domésticas y consumo humano, lo que refleja un porcentaje bien bajo ya que las personas no tienen suficiente confianza en el agua del sistema para consumirla.

Cuadro 13. Usos que se le dan al agua del sistema comunitario.

Usos del agua	Frecuencia	Porcentaje (%)
Doméstico y consumo humano	10	19
Domestico	38	73
Doméstico y riego	4	8
Total	52	100

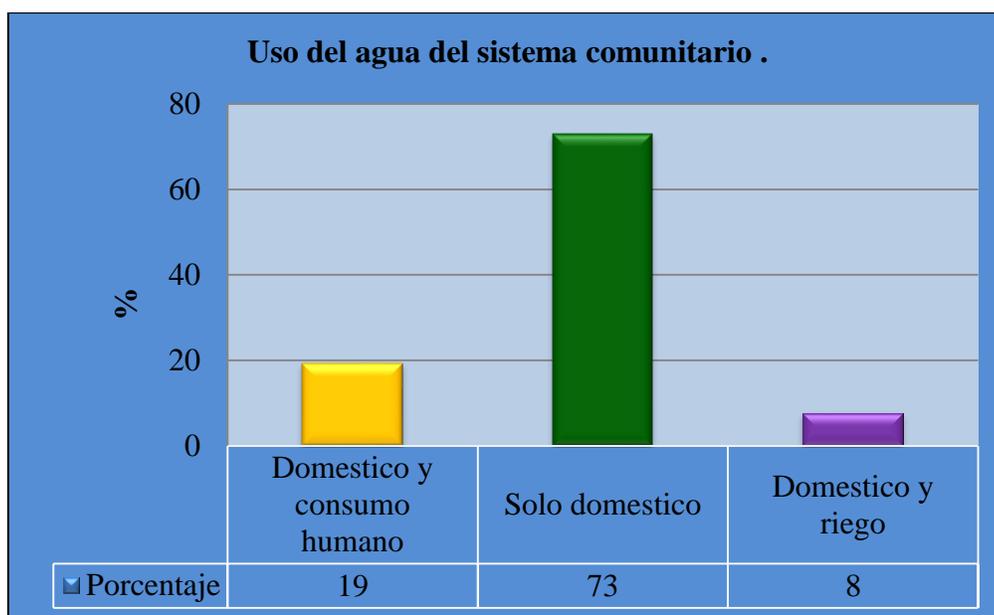


Figura 11. Usos del agua del sistema comunitario.

En relación a la forma de adquirir el de consumo, de las 42 familias que no consumen agua del sistema de abastecimiento el 74% la compra a distribuidores locales que la venden envasada a un precio de 2 dólares por garrafón y un 26% la compran y cuando no tiene recursos económicos para poder comprarla van a traer agua a un nacimiento a orillas del rio Amayo (Anexo 15 cuadro 37).

Cuadro 14. Gasto adicional por compra de agua para el consumo humano al mes.

Gasto adicional por compra de agua	Frecuencia	Porcentaje (%)
Menos o igual que \$10	12	29
\$11 - \$20	15	36
\$21 - \$30	4	10
\$31- \$40	11	26
Total	42	100

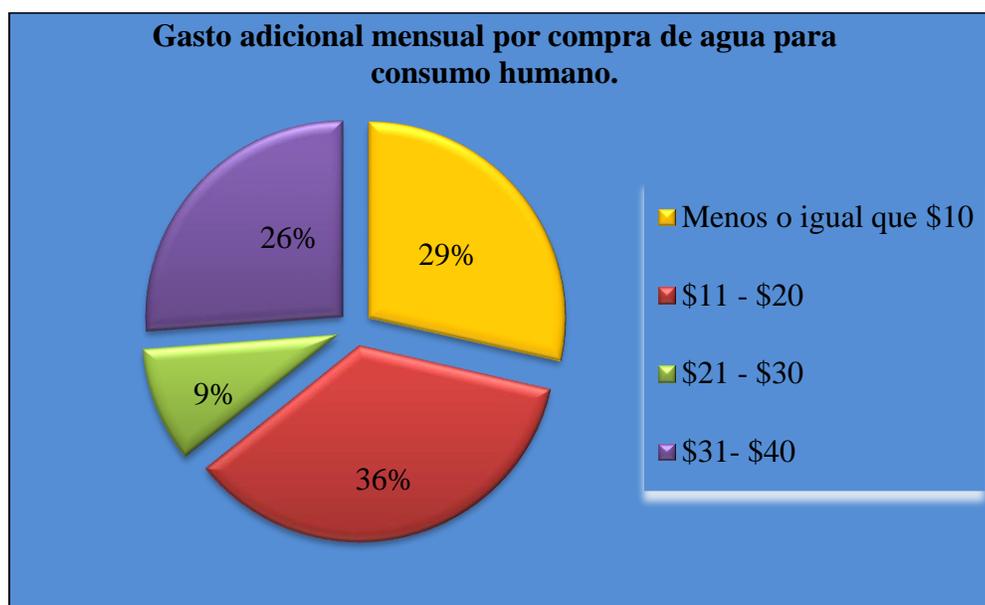


Figura 12. Gasto adicional mensual por compra de agua para consumo humano.

Las familias que compran el agua para consumo, se les genera un gasto adicional que puede ascender hasta los 40 dólares mensuales, limitando el acceso a otras bienes o servicios para el hogar, en total las 42 familias que compran agua envasada para el consumo humano gastan aproximadamente 980 dólares mensuales, esta cantidad se estableció multiplicando la frecuencia y por el valor más altos de los intervalos de gastos, teniendo un promedio de 23.33 dólares por familia, si estas 42 familias consumieran agua del sistema solo pagarían 3 dólares al mes, esto evidencia que el gasto en compra de agua es alto, impactando la economía familiar.

En cuanto al pago mensual del servicio de agua el 31% paga menos o igual que 5 dólares mensuales, el 50% paga entre 6 a 10 dólares, lo que significa que el 81% paga un máximo de 10 dólares con esta cantidad la familia tiene acceso a 30 metros cúbicos de agua, el costo varía de acuerdo al consumo familiar, tal es el caso de las familias que pagan más de 10 dólares mensuales porque han sobrepasado los 30 metros cúbicos debido a que la familia es numerosa (Anexo 15 cuadro 38).

Con respecto al nivel de satisfacción de los usuarios con el servicio de agua comunitario, se tiene que un 81% los usuarios manifestaron estar conforme con la cantidad de agua que se suministra, aunado a esto el 17% expreso estar conforme en cuanto a cantidad y calidad esto refleja un total de 98% de los usuarios conforme en la cantidad, sin embargo al conocer la opinión sobre la calidad del agua solo el 19% está conforme, esto indica que la junta de agua debe tomar medidas que conlleven a mejorar la calidad del agua que suministra a fin de garantizar un mejor servicio y satisfacer las expectativas de los usuarios (Anexo 15 cuadro39).

Un usuario insatisfecho con la calidad del agua no tendrá confianza de consumirla; por tanto solo un 19% de los usuarios consumen el agua del sistema, sin embargo el 81% no tiene confianza, esto está relacionado con las características químicas principalmente la presencia de hierro y manganeso y el otro factor asociado es la compra de agua para el consumo que conlleva a gastos extras (Anexo 15 cuadro 40).

Cuadro 15. Características percibidas por usuarios del agua del sistema.

Características en el agua	Frecuencia	Porcentaje (%)
Agua turbia	20	48
Color amarillo	20	48
Sabor metálico	2	4
Total	42	100

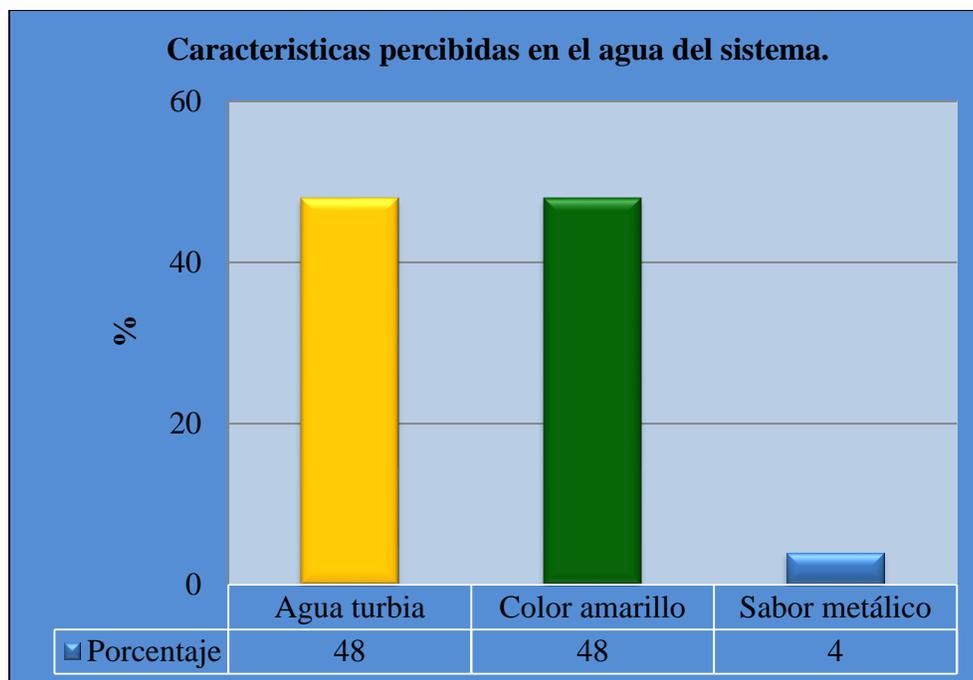


Figura 13. Características percibidas en el agua del sistema comunitario.

De las 42 personas que manifestaron no tener confianza de consumir el agua del sistema, se les preguntó qué características habían percibido en el agua, entre las características más sobresalientes es agua turbia con partículas negras un 48% (característico del manganeso), el color amarillo característico del hierro con un 48%, y solo un 4% ha sentido un sabor metálico al probar el agua.

Al preguntar a los usuarios si han observado manchas en la ropa, artefactos como lavamanos, inodoros o pilas un 77% expresa que no, mientras que un 23% manifiesta que si los ha observado principalmente en ropa blanca y en el tanque del inodoro las paredes presentan un color oscuro característico del manganeso (Anexo 15 cuadro 41).

A pesar que pocos usuarios utilizan el agua del sistema para consumo humano, solo el 12% filtra el agua, el 2% la hierve y el 86% no realiza ningún tipo de tratamiento seguramente porque solo utilizan el agua para usos domésticos y riego (Anexo 15 Cuadro 42).

De los 10 usuarios que expresan que tienen confianza de consumir el agua del sistema, el 90% manifiesta que no ha tenido ningún efecto en su salud en el tiempo que tiene de estar consumiendo el agua del sistema, solo el 10% ha presentado como síntoma dolor de estómago (Anexo 15 cuadro 43).

El 100% de los entrevistados asegura conocer alguna medida para garantizar el buen uso del agua, ya que esto contribuye a un mejor manejo del sistema de agua y también a la economía de la familia, disminuyendo los gastos del pago del agua (Anexo 15 cuadro 44).

Las medidas que aplican los usuarios para ahorrar agua, el 48% expresó que cierran el grifo para que no se derrame el agua por descuidos, el 4% también cierra grifos y además aprovecha el agua lluvia, el 44% manifiesta que también cierra sus grifos y que si hay fugas está pendiente de repararlas para evitar perder agua sin utilizarla y que el costo del recibo aumente y el 4% riega las plantas en la noche para que se adsorba y aproveche mejor. (Anexo 15 cuadro 45).

El 100% de los usuarios del sistema consideran muy importante el ahorro del agua, esto refleja de alguna manera que existe conciencia en cuanto al cuidado del agua, sobre todo porque va relacionado al costo que hay que pagar por el uso de este líquido (Anexo 15 cuadro 46).

Cuando se preguntó sobre quien recae la responsabilidad de cuidar el agua en la comunidad el 96% manifestaron que la familia tiene la mayor responsabilidad de cuidar el agua, sin embargo el 2% considera que la familia y la Junta de Agua deben coordinar el cuidado y el 2% manifestaron que la familia y la ADESCO son los responsables del cuidado del agua en la comunidad (Anexo 15 cuadro 47).

7.2. Aforo de la capacidad de producción de agua del sistema

Se midió la capacidad de producción del sistema de abastecimiento de agua, para el cual se prepararon las condiciones necesarias para desarrollar el aforo, utilizando el método volumétrico que es una metodología sencilla, utilizando un recipiente con volumen conocido y

se mide el tiempo, en el caso del proceso de aforo realizado se midió el diámetro del tanque de almacenamiento, se graduó un tubo de pvc de 2" del cual se utilizaron los primeros 50 cm, se sacó el volumen del tanque hasta esa altura, ya teniendo estos datos se comenzó el aforo, primero se apagó la bomba y se vació el tanque de almacenamiento, una vez colocado el tubo graduado se prosiguió a abrir la válvula de entrada de agua y a tomar el tiempo que tarda en llenar los 50 cm tal como se muestra en las figuras 14 y 15.



Figura 14. Graduación de tubo pvc para medir altura del agua en tanque.

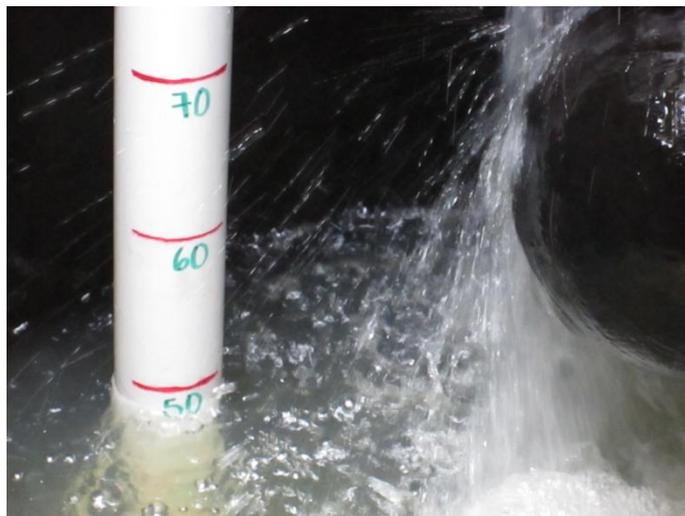


Figura 15. Lectura de nivel de agua en medición de caudal.

Para la medición del tiempo se realizó con un cronómetro como se muestra en la figura 16, el tiempo se anotó en una libreta para hacer los respectivos cálculos.

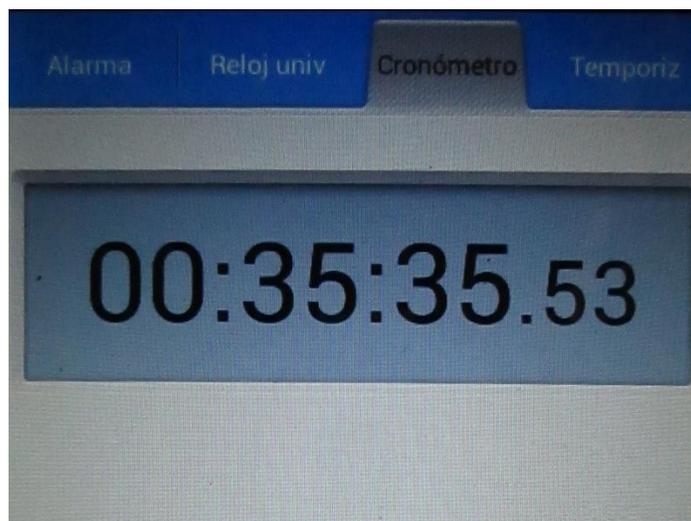


Figura 16. Medición de tiempo para determinar caudal.

Cuadro 16. Resultados de aforos del sistema de agua comunitario.

Día	Volumen (l)	*T1 (s)	**Q1 (l/s)	T2 (s)	Q2 (l/s)	T3 (s)	Q3 (l/s)	T4 (s)	Q4 (l/s)	T5 (s)	Q5 (l/s)	Q Pm. diario (l/s)
1	1417.64	2135	0.66	2170	0.65	2128	0.67	2142	0.66	2192	0.65	0.66
2	1417.64	2090	0.68	2115	0.67	2123	0.67	2077	0.68	2171	0.65	0.67
3	1417.64	2035	0.70	2119	0.67	2087	0.68	2123	0.67	2118	0.67	0.68
4	1417.64	2140	0.66	2114	0.67	2187	0.65	2110	0.67	2131	0.67	0.66
5	1417.64	2189	0.65	2201	0.6	2152	0.66	2174	0.65	2155	0.66	0.65
PROMEDIO CAUDAL SISTEMA DE AGUA DIARIO (L/S)												0.66

*T= Tiempo **Q= caudal

En este cuadro se observa que el sistema de agua de la comunidad tiene una capacidad de producción de agua de 0.66 l/s, esto significa que diariamente se estarían produciendo 57,024 l/d, un promedio de 57.02 m³ diarios y al mes se producirían 1710.72 m³ de agua.

7.3. Determinación de la dosis de hipoclorito de calcio al 70%

El sistema de agua de la comunidad Colonia Guadalupe, inicialmente se estaba utilizando una dosis de hipoclorito de calcio al 70%, de 397.6 gramos, aplicando la mitad en la mañana y la otra mitad en la tarde, esta dosificación se aplicó por un periodo de 20 meses en un dispositivo de cloración tipo T, este dispositivo tenía ranuras demasiado pequeñas y solo dejaba pasar el agua que se disolvía con el cloro y retenía parte del cloro granulado que se había agregado, este cloro al final era desechado a la intemperie por la encargada de realizar esta labor.



Figura 17. Fontanera aplicando cloro en dispositivo de cloración tipo T.

A partir de agosto del presente año, se realizó la determinación de la dosis de hipoclorito de calcio al 70% que se necesita aplicar al sistema de agua, en base a los siguientes aspectos:

- a) Aforo del sistema de agua de la comunidad por 5 días consecutivos haciendo cinco repeticiones, después se determinó el caudal promedio diario 0.66 l/s, produciendo 57,024 l/d.
- b) Análisis de laboratorio de las concentraciones de hierro y manganeso presente en el agua del pozo, teniendo los siguientes valores: para el hierro 2.22 mg/l y para el manganeso 0.78 mg/l, además se consideró la concentración de cloro residual de 0.5 mg/l que debería tener el agua al final del tratamiento.

c) Determinación de la cantidad de hipoclorito de calcio total necesaria para oxidar el hierro y manganeso, lo que se calcula de la siguiente forma.

- Fórmula para calcular la cantidad de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ al 70% necesaria para oxidar hierro.

$$\frac{\text{Fe} \frac{\text{mg}}{\text{l}} \text{ agua de pozo} * 0.0093 \text{ g de } \text{Ca}(\text{ClO})_2}{10} * \text{Volumen de agua a tratar} = \text{g de } \text{Ca}(\text{ClO})_2$$

Fórmula para calcular la cantidad de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ al 70% necesaria para oxidar manganeso.

$$\frac{\text{Mn} \frac{\text{mg}}{\text{l}} \text{ agua de pozo} * 0.0185 \text{ g de } \text{Ca}(\text{ClO})_2}{10} * \text{Volumen de agua a tratar} = \text{g de } \text{Ca}(\text{ClO})_2$$

- Fórmula para calcular la cantidad de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ al 70% necesaria para cloro residual.

$$0.0005 \text{ g/l } \text{Ca}(\text{ClO})_2 * \text{Volumen de agua a tratar} = \text{g de } \text{Ca}(\text{ClO})_2$$

Cuadro 17. Cálculo de dosis de hipoclorito de calcio 70%.

Resultado de Fe Pozo (mg/l)	Cantidad de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ 70% (g/l)	Volumen a tratar (l/d)	Total de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ 70% (g)
2.22	0.0021	57,024	117.73
Resultado de Mn Pozo (mg/l)	Cantidad de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ 70% (g/l)	Volumen a tratar (l)	Total de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ 70% (g)
0.78	0.0014	57,024	82.29
Hipoclorito según norma (mg/l)	$\text{Ca}(\text{ClO})_2$ según norma (g/l)	Volumen a tratar (l)	Total de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ 70% (g)
0.5	0.0005	57,024	28.51
Total de hipoclorito (g)			228.53 (g)

Fuente: Elaboración propia.

- d) Calculada la cantidad de hipoclorito de calcio al 70% se pesó en una balanza analítica la cantidad de 228.53 g y se taro un depósito para estandarizar la cantidad de cloro que se agregara al sistema de agua.



Figura 18. Pesado de dosis de hipoclorito de calcio al 70% en balanza



Figura 19. Medida para facilitar la cloración en el sistema de agua.

7.4. Cloro residual en el sistema de agua

Normalmente el cloro se aplica en el agua para eliminar diferentes microorganismos patógenos, especialmente bacterias que pueden producir enfermedades y para actuar con compuestos que generan sabor en el agua, otro aspecto importante del cloro es el efecto residual, en caso de contaminación por fracturas de tubería, el cloro ayuda a mantener la calidad del agua. Sin embargo el hipoclorito de calcio al 70% que se está agregando en el sistema de agua de la comunidad, actúa como mecanismo de tratamiento para oxidar el hierro y el manganeso presente en el agua del pozo, además se ha realizado un monitoreo con el objetivo principal de observar el comportamiento del hipoclorito de calcio al 70% en los diferentes procesos unitarios del sistema.

Para garantizar que el hierro y el manganeso se oxide es necesario conocer los datos en el proceso de cloración como el aforo 57,024 l/d, la concentración de hierro de 2.22 mg/l y manganeso de 0.78 mg/l, cloro residual de 0.5 mg/l, a partir de este cálculo se está aplicando una dosis de 228.53 g de hipoclorito de calcio al 70%.



Figura 20. Fontanera monitoreando cloro residual en el agua del sistema.

A través del monitoreo del cloro residual con el kit colorimétrico de campo y su respectivo reactivos DPD se tiene el siguiente cuadro.

Cuadro 18. Registro de cloro residual en sistema de agua.

Condición del sistema a muestrear	Fecha	Sitios de muestreo Cloro residual mg/l									
		DCTT	DTAS	DFLA	TAD	Grifo usuario inicio			Grifo usuario final		
		*	**	***	****						
Sistema funcionando inicialmente	21/06/16	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	22/06/16	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	23/06/16	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	24/06/16	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	25/06/16	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	26/06/16	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	27/06/16	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	20/07/16	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	21/07/16	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	22/7/16	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	23/07/16	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	24/07/16	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	25/07/16	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	26/07/16	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sistema funcionando con mejoras instaladas	21/09/16	3.2	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0
	22/09/16	3.4	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0
	23/09/16	3.4	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0
	24/09/16	3.2	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0
	25/09/16	3.2	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0
	26/09/16	3.4	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0
	27/09/16	3.4	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0
	22/10/16	3.4	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0
	23/10/16	3.2	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0
	24/10/16	3.2	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0
	25/10/16	3.2	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0
	26/10/16	3.4	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0
	27/10/16	3.4	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0
28/10/16	3.4	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	

Fuente: Elaboración propia.

*DCTT= Después Clorador Tipo T **DTAS= Después Tanque Aireador- Sedimentador

DFLA= Después Filtro Lento Arena *TAD= Tanque aireador-Distribución.

Con la cantidad de cloro que se estaba aplicando en el sistema de agua antes de las mejoras y con el monitoreo del cloro residual después del dispositivo Clorador tipo T, se observa una concentración entre 0.2 a 0.6 mg/l de cloro residual, esta cantidad no es suficiente para el proceso de oxidación de hierro y manganeso existente en el sistema de agua, aunado a esto el punto de monitoreo es el inicio del proceso de tratamiento por lo que en los demás procesos unitarios no se registro cloro residual.

Después de monitorear el cloro residual por dos meses, se realizaron los cálculos de acuerdo a la cantidad de hierro y manganeso del sistema y la cantidad de agua que produce el sistema, registrándose una cantidad de cloro residual después del dispositivo tipo T entre 3.2 a 3.4 mg/l y después del tanque aireador – sedimentador entre 0.4 a 0.6 mg/l, en los otros procesos unitarios no se registra cloro residual ya que después del paso por el filtro de arena, el cloro se pierde, por lo que es necesario hacer una re-cloración y mantener el cloro residual en los valores establecidos para poder garantizar la calidad microbiológica del agua.

Otro aspecto importante a destacar es que antes el cloro que se aplicaba no lograba disolverse completamente en el dispositivo de cloración, la fontanera lo retiraba y descartaba al aire libre; con la implementación de las mejoras el cloro se disuelve evitando que exista desperdicio, disminuyendo los costos de operación y contaminación al medio ambiente con cloro.



Figura 21. Monitoreando cloro residual antes del filtro lento de arena.

7.5. Sólidos sedimentables en el sistema de agua

Los sólidos sedimentables registrados son partículas de hierro y manganeso que a través del proceso de aireación y cloración han logrado oxidarse y que a medida fluyen en el sistema de agua comunitario pueden generar problemas como la colmatación del filtro lento de arena, obstrucción de las tuberías disminuyendo considerablemente el caudal.

Cuadro 19. Registro de sólidos sedimentables a través de Cono Imhoff.

Sistema de agua comunitario	Fecha	Tanque sedimentador	Purga de lodos	Tubería de lavado filtro
		muestreo ml/l	muestreo ml/l	muestreo ml/l
Sistema funcionando inicialmente	22/06/2016	70		
	26/07/2016	62		
	23/06/2016		20	24
	28/06/2016		24	18
	03/07/2016		18	20
	08/07/2016		20	18
	13/07/2016		18	24
	18/07/2016		20	20
	23/07/2016		20	18
	28/07/2016		24	18
	03/08/2016		18	20
	08/08/2016		20	20
	13/08/2016		20	18
	18/08/2016		24	20
Sistema funcionando con mejoras	02/09/2016	96		
	10/10/2016	94		
	03/09/2016		4	8
	08/09/2016		6	8
	13/09/2016		5	8
	18/09/2016		6	6
	23/09/2016		6	8
	28/09/2016		8	10
	03/10/2016		5	8
	08/10/2016		6	10
	13/10/2016		8	8
	18/10/2016		6	6
	23/10/2016		5	6
28/10/2016		6	8	

Fuente: Elaboración propia.

Los sólidos sedimentables en el tanque aireador – sedimentador, inicialmente ingresaban a la tubería que conecta al filtro lento de arena, a tal grado que el caudal se redujo a la mitad y comenzó a escasear el agua en la comunidad, posteriormente se instaló una purga de lodos permitiendo extraer parte del sedimento acumulado, sin embargo los sólidos sedimentables seguían fluyendo hacia el interior de la tubería, dando como resultados en la medición de sólidos en la purga de lodos entre 62 a 70 ml/l, después de instalar los filtros de esponja, la retención subió entre 94 a 96 ml/l que representa un 30.53% de aumento en la retención, esto refleja la mejora de la capacidad de retención del tanque aireador – sedimentador como se muestra en el cuadro 17 y la figura 22.



Figura 22. Instalación de filtro de esponja en tanque aireado – sedimentador.

Además con la instalación de los filtros de esponja la salida del agua subió a 50 cm del nivel de piso del tanque, lo que permitió mejorar el funcionamiento del tanque aireador - sedimentador ya que las partículas más pesadas se retienen en el fondo y las partículas que flotan quedan retenidas en el filtro de esponja, disminuyendo la cantidad de material de hierro y manganeso que entra a la tubería.

Sin embargo es necesario destacar que el filtro solo retiene partículas floculadas, por lo que las partículas disueltas de hierro y manganeso continúan fluyendo en la tubería, y reaccionando

con el cloro remanente, este proceso permite seguir oxidando el hierro y manganeso y retenerlo en el depósito de sedimentos y el filtro lento de arena.

En cuanto a los sólidos sedimentables que aparecen en la purga de lodos se puede evidenciar que al inicio el agua salía con un color amarillo intenso característico del hierro y manganeso y que las partículas sedimentables oscilaban entre 18 a 24 ml/l tal como se muestra en el cuadro 17 y en la figura 23.



Figura 23. Muestra de agua en purga de lodos antes de instalar filtro de esponja y sedimentador.

Sin embargo después de la instalación de los filtros de esponja, el muestreo en la purga de lodos, cambio la apariencia del agua de turbia a transparente como se muestra en la figura 24.



Figura 24. Muestra de agua en purga de lodos después de instalar filtro de esponja y sedimentador.

Por lo que la instalación de los filtros de esponja a contribuido a la disminución de las partículas sedimentables y en suspensión de hierro y manganeso, esto se evidencia en la reducción de hasta un 71.14% de sólidos menos que están entrando en la tubería antes de llegar al filtro de arena.

Sin embargo, debido al tiempo de funcionamiento del sistema de agua es evidente que la tubería aun presenta adherencia de partículas de hierro y manganeso en su interior, que de alguna forma debido al cloro, al movimiento y la presión del agua genera desprendimientos que terminan apareciendo en el depósito sedimentador o en el filtro lento de arena.

Los sólidos sedimentables en la tubería de lavado del filtro también tuvieron una disminución con las mejoras reflejadas en un 60.50%, cabe destacar que en este punto también influyen las partículas de hierro y manganeso atrapadas en el lecho filtrante y que por succión del agua son arrastradas a la salida del tubo de lavado.



Figura 25. Toma de muestra con Cono Imhoff en tubería de lavado de filtro.

7.6. Concentraciones de hierro y manganeso en el sistema de agua

Para establecer las concentraciones de hierro y manganeso en el sistema de agua de la comunidad, se realizó un muestreo en diferentes puntos desde el agua proveniente del pozo,

después del Clorador, después del tanque aireador – sedimentador, después del filtro, en el tanque de distribución y en las acometidas domiciliarias, para ello se tomaron muestras duplicadas en recipientes de 1000 ml de agua, las cuales se trasladaron en hielera para mantener la cadena de frío necesario para conservar la muestra. Para poder graficar los datos se sumaron los resultados de las dos muestras obtenidas en el mismo punto y se sacó la media.



Figura 26. Toma de muestra agua en pozo



Figura 27. Toma de muestra en grifo usuario

7.6.1. Concentraciones de hierro en diferentes puntos del sistema

Los resultados de las concentraciones de hierro que se registraron en el sistema de agua de la comunidad, a través de los análisis de laboratorio se presentan el siguiente cuadro con las medias de las concentraciones de hierro de cada punto muestreado del sistema.

Cuadro 20. Medias de concentraciones de hierro en los puntos muestreados.

Lugar de muestreo	Concentración de hierro (mg/l) Sistema de agua sin mejoras				Concentración de hierro (mg/l) Sistema de agua con mejoras			
	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4
	21/06/16	21/07/16	28/07/16	23/08/16	30/08/16	27/09/16	06/10/16	09/11/16
Pozo	2.135	1.885	1.940	1.795	2.305	1.830	1.810	2.365
Después del clorador	2.185	1.735	1.400	1.685	2.185	1.495	0.665	1.195
Después tanque aireador	3.055	15.330	2.735	4.170	2.770	2.655	5.950	3.155
Después del filtro	0.270	0.020	1.525	0.170	0.555	0.870	0.935	1.185
Tanque de distribución	0.620	0.340	0.375	0.530	0.280	0.355	1.260	0.300
Usuario inicio	0.550	0.275	0.245	0.500	0.305	0.275	0.200	0.135
Usuario final	0.285	0.355	0.115	0.520	0.465	0.200	0.200	0.130

Fuente: Elaboración propia.

En las concentraciones de hierro con el sistema funcionando sin mejoras, se puede apreciar que la concentración de hierro en el agua del pozo oscila 1.79 mg/l a 2.13 mg/l cantidad que se quiere remover con la implementación del sistema de tratamiento, además se observa que después de la cloración solo el primer muestreo aumento la concentración de hierro y en los otros muestreo se observa un leve descenso de la concentración de hierro, sin embargo al revisar los valores de las concentraciones de hierro en el agua después del tanque aireador-sedimentador hay un incremento significativo de las concentraciones de hierro que se refleja

en los cuatro muestreos realizados, estos valores oscilan desde 2.73 mg/l a 15.33 mg/l dejando en evidencia que en el trayecto de la tubería del tanque aireador- sedimentador al filtro lento de arena las concentraciones han sobrepasado la concentración inicial que tenía el agua del pozo, esto también refleja el proceso de acumulación y adherencia de hierro en las paredes de la tubería en los dos años de funcionamiento del sistema de agua, sobrecargando el trabajo que realiza el filtro lento de arena que ha sido capaz de reducir valores de 2.73 mg/l y 15.33 mg/l a valores de 0.02 mg/l y 1.52 mg/l, sin embargo los valores de las concentraciones de hierro en el agua del tanque de distribución pueden bajar o subir en pequeñas cantidades que oscilan entre 0.34 mg/l y 0.62 mg/l, lo mismo sucede con los valores de las concentraciones de hierro del agua que recibe el usuario varia poco, reflejando en el agua del grifo al inicio del sistema valores de 0.24 mg/l hasta 0.55 mg/l y en el caso del agua del grifo al final del sistema de 0.11 mg/l y 0.52 mg/l, es evidente que hay variaciones entre los valores que si cumplen norma salvadoreña y los valores que no cumplen norma salvadoreña, esto genera desconfianza por parte de los usuarios de consumir el agua del sistema.

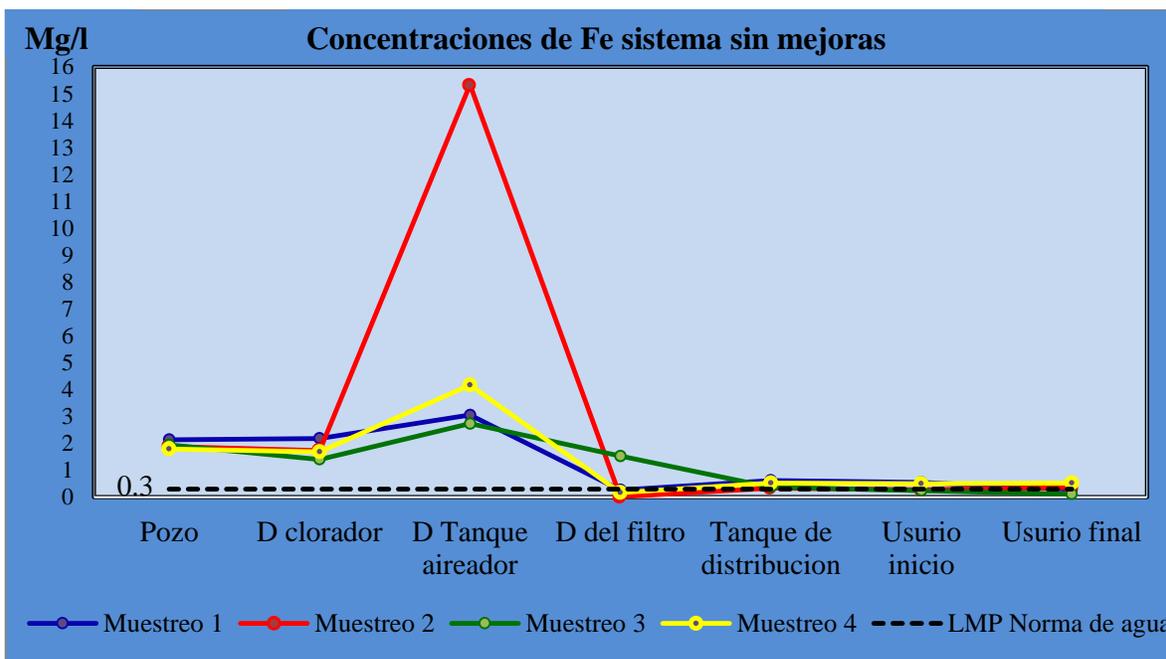


Figura 28. Concentraciones de hierro en el sistema sin mejoras.

En el sistema funcionando con las mejoras implementadas, las concentraciones de hierro en el agua de pozo oscila entre 1.81 mg/l y 2.30 mg/l, concentración a remover con la

implementación del sistema de tratamiento, se puede evidenciar un leve descenso de la concentración de hierro que oscila entre 0.66 mg/l y 2.18 mg/l, al revisar los valores de la concentración de hierro en el agua después del tanque aireador – sedimentador, hay un incremento significativo de las concentraciones de hierro que se refleja en los cuatro muestreos realizados, estos valores oscilan entre 2.65 mg/l hasta 5.95 mg/l, valores que son más bajos que los que se tenían antes de realizar las mejoras, sin embargo aun se evidencia que en el trayecto de tubería entre el tanque aireador – sedimentador al filtro lento de arena las concentraciones han sobrepasado la concentración inicial del agua del pozo. Aun los efectos del proceso de acumulación en ese trayecto de la tubería se mantienen y se manifiestan, pero en cantidades menores a remover por el filtro lento de arena que logra una remoción entre 0.55 mg/l y 1.18 mg/l, sin embargo los valores de las concentraciones de hierro en agua del tanque de distribución oscilan entre 0.28 mg/l y 1.26 mg/l, es importante destacar que cuando se observa los valores del agua que llega a los usuarios, solo el agua del usuario final del sistema en el primer muestreo tiene 0.46 mg/l y los demás valores se mantienen en un rango que oscilan entre 0.13 mg/l a 0.30 mg/l, observándose que el sistema se estabilizo y los valores están por debajo del límite máximo permisible de la norma, lo que genera confianza para consumirla.

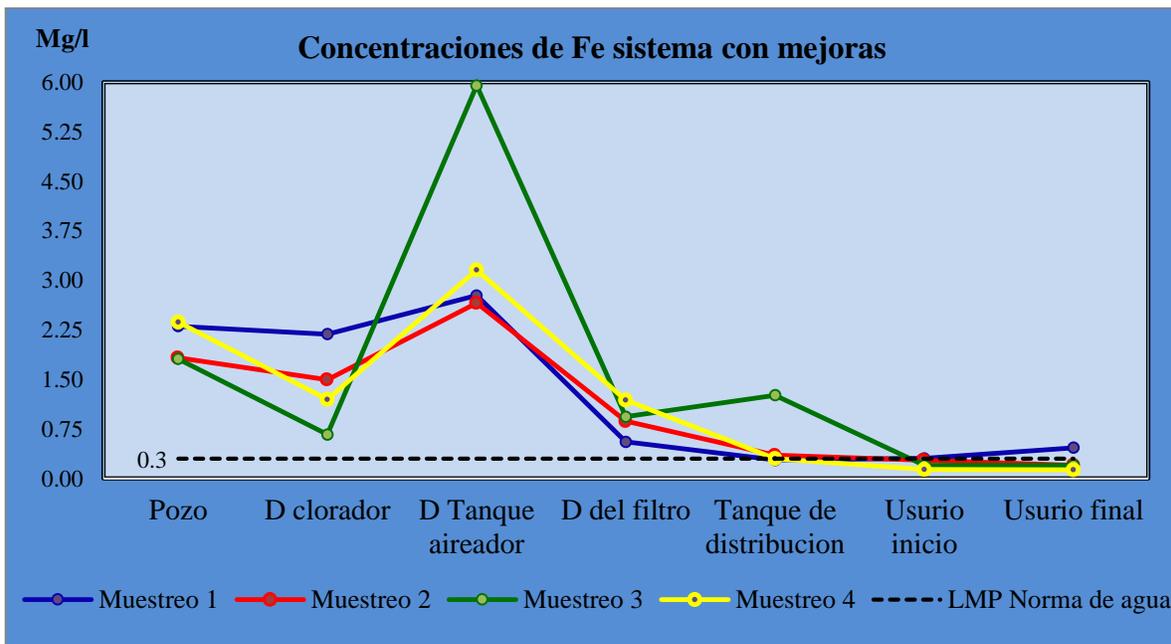


Figura 29. Concentraciones de hierro en el sistema con mejoras.

7.6.2. Concentraciones de manganeso en diferentes puntos del sistema

Los resultados de las concentraciones de manganeso que se registraron en el sistema de agua de la comunidad, a través de los análisis de laboratorio se presentan el siguiente cuadro con las medias de las concentraciones de manganeso de cada punto muestreado del sistema.

Cuadro 21. Medias de concentraciones de manganeso en los puntos muestreados.

Lugar de muestreo	Concentración de manganeso (mg/l) Sistema de agua sin mejoras				Concentración de manganeso (mg/l) Sistema de agua con mejoras			
	M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4
	21/06/16	21/07/16	28/07/16	23/08/16	30/08/16	27/09/16	06/10/16	09/11/16
Pozo	0.775	0.790	0.775	0.895	0.740	0.850	0.715	0.760
Después del clorador	0.720	0.685	0.680	0.655	0.655	0.935	0.485	0.640
Después tanque aireador	0.615	0.700	0.600	0.620	0.615	0.595	0.285	0.520
Después del filtro	0.580	0.620	0.630	0.635	0.480	0.595	0.390	0.435
Tanque de distribución	0.520	0.480	0.510	0.505	0.410	0.520	0.400	0.430
Usuario inicio	0.120	0.170	0.245	0.600	0.110	0.094	0.093	0.093
Usuario final	0.100	0.110	0.095	0.420	0.085	0.095	0.092	0.095

Fuente: Elaboración propia.

En las concentraciones de manganeso con el sistema funcionando sin mejoras, se puede observar que las concentraciones de manganeso del agua del pozo oscila entre 0.77 mg/l y 0.89 mg/l, luego después de pasar por el proceso de cloración se observa una caída entre 0.65 mg/l a 0.72 mg/l, en el trayecto de tubería desde el tanque aireador – sedimentador hasta el filtro lento de arena tiende a disminuir, caso contrario como se observaba en las concentraciones de hierro que aumentaban significativamente en este punto, continuando el análisis del manganeso las concentraciones después del filtro no varían mucho en unos casos

baja en otros tiende a subir, sin embargo al llegar al tanque de distribución por el proceso de oxidación que cuenta tiende a disminuir cuyos valores oscilan entre 0.48 mg/l a 0.52 mg/l, sin embargo los valores de las concentraciones del agua al inicial y final del sistema para el muestreo uno y dos se acercan bastante al límite permisible en la norma de agua, no obstante los valores de las concentraciones de manganeso en el agua al inicio y final del sistema del muestreo tres y cuatro se alejan demasiado del valor establecido en la norma salvadoreña para el manganeso, esta variabilidad en los resultados sigue generando desconfianza en los usuarios que no consumen el agua.

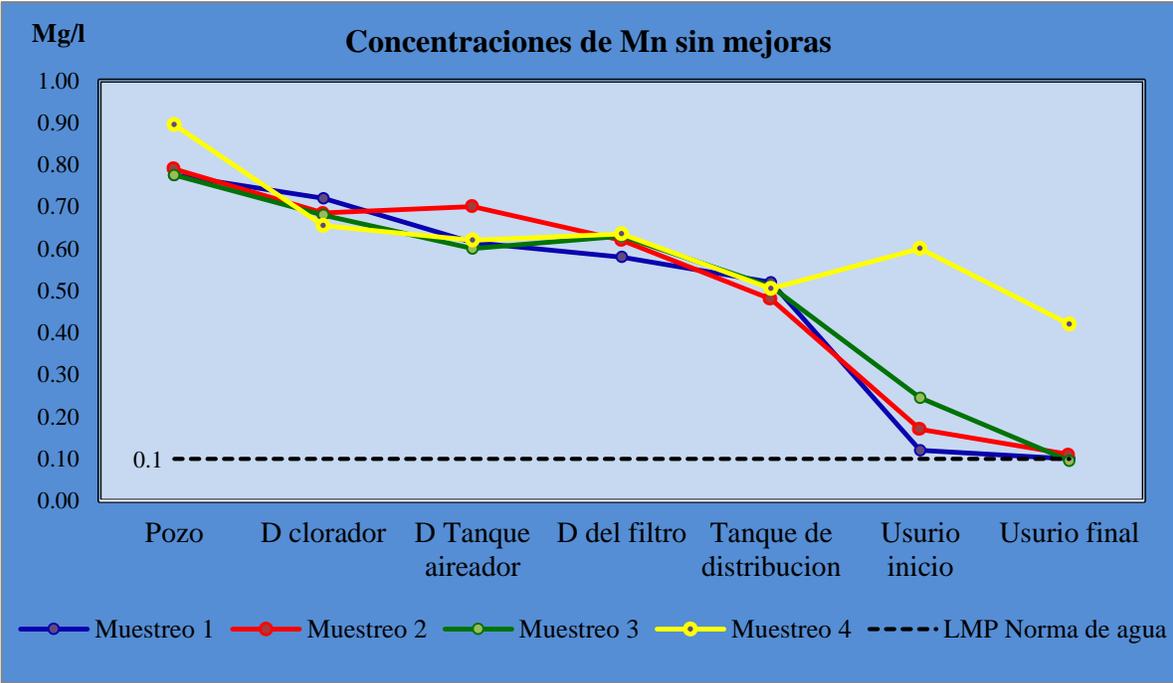


Figura 30. Concentraciones de manganeso en el sistema sin mejoras.

En las concentraciones de manganeso con el sistema funcionando con mejoras implementadas, se puede observar que las concentraciones de manganeso del agua del pozo oscila entre 0.71 mg/l y 0.85 mg/l, luego después de pasar por el proceso de cloración se observa una caída de 0.48 mg/l y 0.65 mg/l, excepto en el muestreo dos que hubo un incremento de 0.93 mg/l, en el trayecto de tubería desde el tanque aireador – sedimentador hasta el filtro lento de arena las concentraciones tienden a disminuir 0.28 mg/l y 0.61 mg/l, las concentraciones después del filtro lento de arena disminuyen hasta 0.39 mg/l y 0.59 mg/l, al igual que en el tanque de

distribución tiende a disminuir, sin embargo cuando observamos los datos de las concentraciones en el agua al inicio y final del sistema se evidencia una disminución de 0.08 mg/l y 0.1 mg/l valores que están bajo el valor establecido por la norma salvadoreña de agua potable.

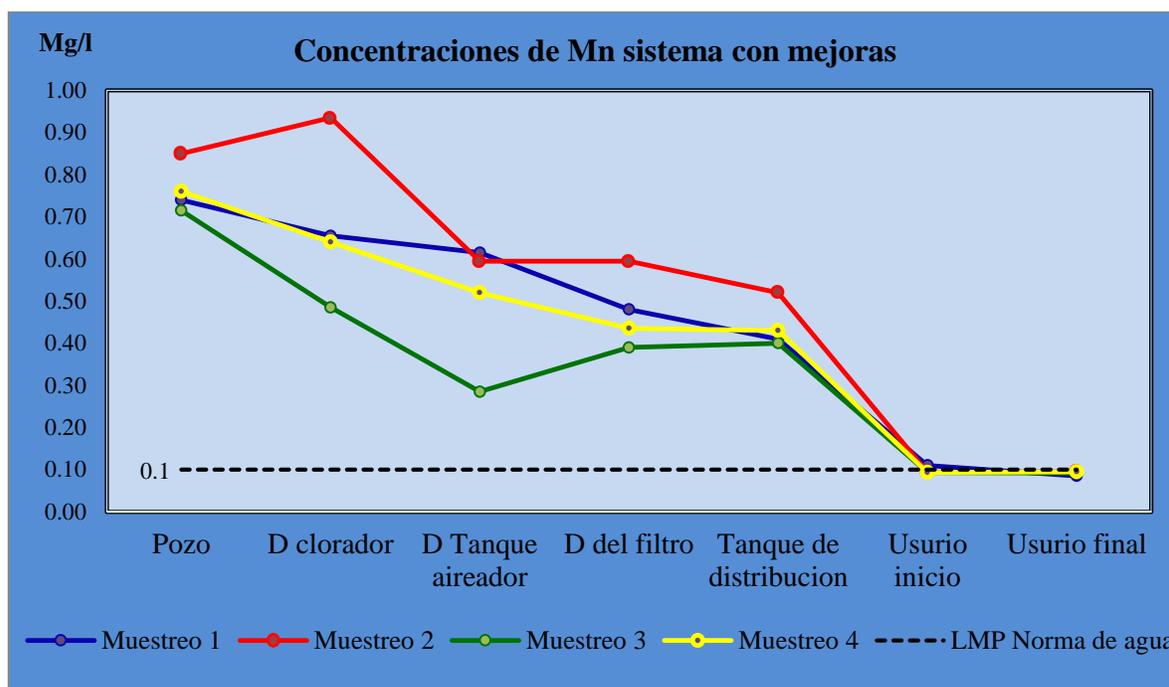


Figura 31. Concentraciones de manganeso en el sistema con mejoras.

7.6.3. Porcentaje de remoción de hierro y manganeso

Para establecer el porcentaje de remoción de hierro y manganeso fue necesario obtener los resultados de laboratorio que reflejan la concentración de hierro y manganeso del agua del pozo comunitario y obtener los resultados de laboratorio de las muestras de agua tomada en el grifo del usuario, con estos datos se procedió hacer los cálculos que permitió conocer el porcentaje de remoción de hierro y manganeso en el agua después de pasar los procesos de tratamiento: cloración, aireación, sedimentación y filtración de agua.

Debido a que las muestras se tomaron por duplicado tanto del pozo como de los grifos de los usuarios se sacó la media para efectos de cálculo del porcentaje de remoción de hierro y manganeso que tiene el agua, después de pasar los procesos unitarios de tratamiento existente

en el sistema de agua comunitario, para organizar mejor los datos se presenta en el cuadro 20.

Cuadro 22. Porcentaje de remoción de hierro total sin mejoras en el sistema.

Fecha	Hierro inicial mg/l (Pozo)	Hierro mg/l usuario inicio	Hierro mg/l usuario final	% de remoción de Fe usuario inicio	% de remoción de Fe usuario final
21/06/2016	2.135	0.550	0.285	74.24	86.65
21/07/2016	1.885	0.275	0.355	85.41	81.17
28/07/2016	1.940	0.245	0.115	87.37	94.07
23/08/2016	1.795	0.500	0.520	72.14	71.03

Fuente: Elaboración propia.

El sistema de agua sin mejoras tiene un porcentaje de remoción de hierro que oscila entre 72.14% y 87.37% para el usuario inicio y un 71.03% y 94.07 para el usuario final, sin embargo a pesar que se tiene un alto porcentaje de remoción de hierro no todos los valores cumplen con la norma salvadoreña para agua potable.

Cuadro 23. Porcentaje de remoción de hierro total con mejoras en el sistema.

Fecha	Hierro inicial mg/l (Pozo)	Hierro mg/l usuario inicio	Hierro mg/l usuario final	% de remoción de Fe usuario inicio	% de remoción de Fe usuario final
30/08/2016	2.305	0.305	0.465	86.77	79.83
27/09/2016	1.830	0.275	0.200	84.97	89.07
06/10/2016	1.810	0.200	0.200	88.95	88.95
09/11/2016	2.365	0.135	0.130	94.29	94.50

Fuente: Elaboración propia.

El sistema de agua con mejoras tiene un porcentaje de remoción de hierro mayor que el sistema sin mejoras, esto se ve reflejado en los valores del usuario inicio que oscila entre 84.97% y 94.29% y un 79.83% y 94.50 para el usuario final, es de considerar después del primer muestreo los valores se estabilizan reflejando valores que cumplen con la norma de agua potable.

Cuadro 24. Porcentaje de remoción de manganeso sin mejoras en el sistema.

Fecha	Manganeso inicial mg/l (Pozo)	Manganeso mg/l usuario inicio	Manganeso mg/l usuario final	% remoción de Mn usuario inicio	% remoción de Mn usuario final
21/06/2016	0.775	0.120	0.100	84.52	87.10
21/07/2016	0.790	0.170	0.110	78.48	86.08
28/07/2016	0.775	0.245	0.095	68.39	87.74
23/08/2016	0.895	0.600	0.420	32.96	53.07

Fuente: Elaboración propia.

El sistema de agua sin mejoras tiene un porcentaje de remoción de manganeso que oscila entre 32.96% y 84.52% para el usuario inicio, y de un 53.07% a 87.74% para el usuario final, esto refleja que los porcentajes para la remoción del manganeso son más bajos que la del hierro y que existe una variabilidad entre valores que cumplen con la norma salvadoreña de agua y los que no cumplen por lo que hay desconfianza de consumir el agua.

Cuadro 25. Porcentaje de remoción de manganeso con mejoras en el sistema.

Fecha	Manganeso inicial mg/l (Pozo)	Manganeso mg/l usuario inicio	Manganeso mg/l usuario final	% remoción de Mn usuario inicio	% remoción de Mn usuario final
30/08/2016	0.740	0.110	0.085	85.14	88.51
27/09/2016	0.850	0.094	0.095	88.94	88.82
06/10/2016	0.715	0.093	0.092	86.99	87.13
09/11/2016	0.760	0.093	0.095	87.76	87.50

Fuente: Elaboración propia.

El sistema de agua con mejoras tiene un porcentaje de remoción de manganeso mayor que el sistema sin mejoras, esto se ve reflejado en los valores del usuario inicio que oscila entre 85.14% y 88.94% y un 87.13% y 88.82% para el usuario final, es importante destacar que los valores cumplen con la norma de agua potable para consumo. Además se puede observar valores más homogéneos de porcentaje de remoción en todos los usuarios.

Esta mejora en la remoción de hierro y manganeso, se debe a que los filtros de esponja instalados que ayudan al sistema de agua retener de mejor manera las diferentes partículas y evitar la colmatación del sistema.



Figura 32. Filtro de esponja reteniendo partículas de hierro y manganeso.

Además se observa como el filtro lento de arena se encontraba al momento de iniciar la investigación y como se encuentra después de la intervención, contribuyendo a mejorar la calidad del agua que produce el sistema.



Figura 33. Filtro lento de arena sin mantenimiento.



Figura 34. Filtro lento de arena después de las mejoras.

7.6.4. Comparación de resultados de laboratorio con la norma salvadoreña de agua potable NSO 13.07.01:08

Los resultados de los análisis de laboratorio de las muestras de agua del sistema, se presentan en el cuadro 24 y se comparan los resultados con la norma salvadoreña de agua potable NSO 13.07.01:08

Cuadro 26. Comparación de concentración de hierro del sistema con la norma salvadoreña de agua potable NSO 13.07.01:08.

Sistema	Fecha	LMP Fe mg/l	Fe mg/l Pozo	Fe mg/l Usuario inicio	Fe mg/l Usuario final	Cumplimiento de la norma salvadoreña de agua NSO 13.07.01:08
Sistema de agua sin mejoras	21/06/2016	0.3	2.135	0.55	0.285	Usuario final
	21/07/2016	0.3	1.885	0.275	0.355	Usuario inicio
	28/07/2016	0.3	1.94	0.245	0.115	Usuario inicio y final
	23/08/2016	0.3	1.795	0.500	0.520	Ninguno
Sistema de agua con mejoras	30/08/2016	0.3	2.305	0.305	0.465	Usuario inicio
	27/09/2016	0.3	1.83	0.275	0.200	Usuario inicio y final
	06/10/2016	0.3	1.81	0.200	0.200	Usuario inicio y final
	09/11/2016	0.3	2.365	0.135	0.130	Usuario inicio y final

Fuente: Elaboración propia.

Al observar el cuadro, los resultados para el hierro con el sistema funcionando sin mejoras los valores son muy variados algunas veces cumplen con la norma y otras no, esto influye en la confianza que pueda tener el usuario para consumir el agua, en el caso del sistema funcionando con las mejoras se aprecia que solo el usuario final del primer muestreo esta fuera de norma, después que el sistema se estabilizo todos los valores cumplen con la norma salvadoreña de agua potable, lo que permite consumir el agua con mayor confianza por parte del usuario del sistema.

Cuadro 27. Comparación de concentración de manganeso del sistema con la norma salvadoreña de agua potable NSO 13.07.01:08.

Sistema	Fecha	LMP Mn mg/l	Mn mg/l Pozo	Mn mg/l Usuario inicio	Mn mg/l Usuario final	Cumplimiento de la norma salvadoreña de agua NSO 13.07.01:08
Sistema de agua sin mejoras	21/06/2016	0.1	0.775	0.120	0.100	Usuario final
	21/07/2016	0.1	0.790	0.170	0.110	Usuario final se acerca al valor de norma
	28/07/2016	0.1	0.775	0.245	0.095	usuario final
	23/08/2016	0.1	0.895	0.600	0.420	Ninguno
Sistema de agua con mejoras	30/08/2016	0.1	0.740	0.110	0.085	Usuario inicio se acerca al valor de norma, y usuario final cumple
	27/09/2016	0.1	0.850	0.094	0.095	Usuario inicio y final
	06/10/2016	0.1	0.715	0.093	0.092	Usuario inicio y final
	09/11/2016	0.1	0.76	0.093	0.095	Usuario inicio y final

Fuente: Elaboración propia.

Al observar el cuadro, los resultados para el manganeso con el sistema funcionando sin mejoras los valores muestran variaciones, en ocasiones los valores cumplen con la norma y en ocasiones no, generando desconfianza en el usuario al momento de consumirla, sin embargo el sistema funcionando con las mejoras implementadas los valores cumplen con la norma salvadoreña de agua potable, mejorando la confianza de consumirla por parte del usuario.

7.6.5. Análisis estadístico de las concentraciones de hierro y manganeso del sistema

Para el análisis estadístico de los datos, se utilizó la Prueba para las Diferencias de Medias con Muestras Pareadas, en la que se busca determinar si el sistema de tratamiento implementado en la comunidad es eficiente, para lo cual se tomaron muestras de agua del pozo y de agua del grifo que llega al usuario una vez pasado por el sistema de tratamiento.

Para realizar el análisis estadístico, en primer lugar observamos que las muestras de antes del tratamiento X_1 , y después del tratamiento del agua X_2 , son dependientes, puesto que se tomaron del mismo sistema de agua.

Para lo cual se plantea las siguientes hipótesis.

Hipótesis nula.

$$H_0: \bar{X}_1 = \bar{X}_2$$

Las medias de las diferencias de la población X_1 , es igual a las medias de la hipotética de las diferencias X_2 .

Hipótesis alternativa.

$$H_a: \bar{X}_1 \neq \bar{X}_2$$

Las medias de las diferencias de la población X_1 , no es igual a las medias de la hipotética de las diferencias X_2 .

α = Nivel de significancia

v = Grados de libertad

Con una distribución T con $v = n - 1$ grados de libertad.

$$T = \frac{\bar{d} - d_0}{\frac{s_{\bar{d}}}{\sqrt{n}}}$$

$T_{\alpha} = T_{0.025} = 3.182$, con $v = 4 - 1 = 3$ grados de libertad.

Región de rechazo H_0 : $T > 3.182$

Teniendo como nivel de confianza en la prueba estadística de un 95%.

Cuadro 28. Prueba T (muestras pareadas) Concentración de hierro del sistema sin mejoras.

Usuario	Obs (1)	Obs (2)	N	Media (dif)	Media (1)	Media (2)	DE (dif)	T	Bilateral
Inicio 1	Antes	Después	4	1.49	1.91	0.42	0.17	17.50	0.0004
Inicio 2	Antes	Después	4	1.55	1.91	0.36	0.16	19.59	0.0003
Final 1	Antes	Después	4	1.58	1.91	0.33	0.27	11.50	0.0014
Final 2	Antes	Después	4	1.61	1.91	0.31	0.28	11.36	0.0015

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los resultados que se observan en el cuadro 26, se rechaza la hipótesis nula, ya que existen diferencias significativas entre las concentraciones de hierro del agua del pozo y las concentraciones de hierro del agua que recibe el usuario, de acuerdo a los valores que se reflejan en el estadístico T que es mayor a 3.182 y el bilateral es menor a 0.05, sin embargo si observamos las medias (2) que corresponden a los usuarios, podemos constatar que los valores de las concentraciones de hierro sobrepasan el límite máximo permitido en la norma salvadoreña de agua que es de 0.3 mg/l.

Cuadro29. Prueba T muestras pareadas, concentración de hierro del sistema con mejoras.

Usuario	Obs (1)	Obs (2)	N	Media (dif)	Media (1)	Media (2)	DE (dif)	T	Bilateral
Inicio 1	Antes	Después	4	1.86	2.09	0.23	0.38	9.75	0.0023
Inicio 2	Antes	Después	4	1.86	2.09	0.23	0.40	9.38	0.0026
Final 1	Antes	Después	4	1.84	2.09	0.26	0.37	9.99	0.0021
Final 2	Antes	Después	4	1.85	2.09	0.24	0.37	10.10	0.0021

Fuente: Elaboración propia.

En el caso del sistema con mejoras, se rechaza la hipótesis nula, ya que existen diferencias significativas entre las concentraciones de hierro del agua del pozo y las concentraciones de hierro del agua que recibe el usuario, de acuerdo a los valores que se reflejan en el estadístico T que es mayor a 3.182 y el bilateral es menor a 0.05, es importante recalcar que si observamos las medias (2) que corresponden a los usuarios podemos constatar que las concentraciones de hierro en el agua están por debajo del límite máximo permisible de 0.3 mg/l que establece la norma de agua salvadoreña para que sea apta para el consumo humano.

Cuadro 30. Prueba T muestras pareadas, concentración de manganeso del sistema sin mejoras.

Usuario	Obs (1)	Obs (2)	N	Media (dif)	Media (1)	Media (2)	DE (dif)	T	Bilateral
Inicio 1	Antes	Después	4	0.44	0.76	0.32	0.34	2.58	0.0814
Inicio 2	Antes	Después	4	0.51	0.76	0.25	0.15	6.73	0.0067
Final 1	Antes	Después	4	0.55	0.76	0.21	0.22	4.87	0.0165
Final 2	Antes	Después	4	0.61	0.76	0.15	0.15	8.37	0.0036

Fuente: Elaboración propia.

En el caso del sistema sin mejoras para el parámetro del manganeso, los valores que se observa en el agua del grifo del usuario inicio 1, no se rechaza la hipótesis nula, porque el valor estadístico T es menor que 3.182 y el bilateral es mayor que 0.05 lo que para este usuario no hay diferencias significativas, sin embargo al observar los valores del agua del grifo del usuario inicio 2, usuario final 1 y 2 se rechaza la hipótesis nula, ya que para estos otros usuarios si existen diferencias significativas entre las concentraciones de manganeso del agua del pozo y las concentraciones de manganeso del agua que recibe el usuario, de acuerdo a los valores que se reflejan en el estadístico T que es mayor a 3.182 y el bilateral es menor a 0.05, sin embargo al observar las medias (2) que corresponden a los usuarios podemos constatar que las concentraciones de manganeso en el agua no cumple con el límite máximo permisible de 0.1 mg/l que establece la norma de agua salvadoreña para que el agua sea apta para el consumo humano.

Cuadro 31. Prueba T muestras pareadas, concentración de manganeso de sistema con mejoras.

Usuario	Obs (1)	Obs (2)	N	Media (dif)	Media (1)	Media (2)	DE (dif)	T	Bilateral
Inicio 1	Antes	Después	4	0.69	0.79	0.10	0.07	19.34	0.0003
Inicio 2	Antes	Después	4	0.69	0.79	0.10	0.06	21.31	0.0002
Final 1	Antes	Después	4	0.70	0.79	0.09	0.07	21.19	0.0002
Final 2	Antes	Después	4	0.70	0.79	0.09	0.07	21.28	0.0002

Fuente: Elaboración propia.

En el caso del sistema con mejoras, se rechaza la hipótesis nula, ya que existen diferencias significativas entre las concentraciones de manganeso del agua del pozo y las concentraciones

de manganeso del agua que recibe el usuario, de acuerdo a los valores que se reflejan en el estadístico T que es mayor a 3.182 y el bilateral es menor a 0.05, es importante recalcar que si observamos las medias (2) que corresponden al agua que recibe los usuarios podemos constatar que las concentraciones de manganeso cumple con el límite máximo permisible de 0.1 mg/l que establece la norma de agua salvadoreña para sea apta para el consumo humano.

IV. Conclusiones

- El sistema de agua con las mejoras realizadas es capaz de remover entre 79.83 a 94.5% de hierro y entre 85.15 a 88.94% de manganeso, este porcentaje de remoción se pueden mantener o mejorar si se realiza un mantenimiento adecuado.
- Con las modificaciones implementadas en el sistema de agua, se mejoró la remoción de hierro y manganeso obteniendo en el agua valores dentro del límite máximo permitido por la norma salvadoreña de agua potable NSO 13.07.01:08.
- La dosificación de hipoclorito de calcio al 70% que se implementó en el sistema de agua comunitario se pierde en el proceso de oxidación de hierro y manganeso registrándose únicamente presencia de cloro residual después del Clorador y después del proceso de aireación.
- Los filtros de esponjas y el sedimentador de sólidos solo son capaces de retener partículas sedimentables, por lo que las disueltas continúan moviéndose en el sistema de agua.
- La presencia de estructuras de hierro como escaleras, tuberías dentro de los diferentes tanques puede aportar hierro al agua que ya ha sido tratada con anticipación.
- El mantenimiento del filtro lento de arena, es necesario para un buen funcionamiento del sistema, si no se hace, los sedimentos de hierro y manganeso terminan saturando el lecho filtrante, disminuyendo la eficiencia del filtro en la remoción de hierro y manganeso.
- Las partículas de hierro y manganeso han logrado adherirse en las tuberías del sistema de agua, apareciendo en las pilas de los usuarios cuando hay cambios bruscos de velocidad en la tubería como cuando se corta el agua y se vuelve a activar el sistema.

- La forma cuadrada que tiene el tanque aireador – sedimentador, limita la precipitación y remoción de partículas sedimentables, ya que si tuviera una forma cónica hacia el fondo las partículas precipitarían con más facilidad y la remoción se pudiera hacer con más frecuencia, esto evitaría el efecto acumulador de la concentración de hierro y manganeso como lo muestran los resultados de laboratorio en este punto en específico.

V. Recomendaciones

- Desarrollar un mantenimiento adecuado al sistema de tratamiento, a fin de garantizar la remoción de hierro y manganeso manteniendo los valores por debajo de lo establecido en la norma salvadoreña de agua potable.
- Realizar un proceso de re-cloración del agua a partir del tanque de distribución, para garantizar la presencia de cloro residual en valores de 0.3 mg/l como mínimo y 1.1 mg/l como máximo según norma de agua potable.
- Se debe cambiar o eliminar las estructuras de hierro que están dentro de los diferentes tanques como escaleras y tuberías a fin de evitar el aporte de hierro en el agua del sistema comunitario.
- Realizar una vez al año el lavado o cambio de material del filtro lento de arena, para evitar su colmatación y mantener la eficiencia en la retención de hierro y manganeso.
- Dar mantenimiento a la capa de esponja de dos pulgadas enterrada en el lecho del filtro de arena, a una profundidad de 30 cm para mejorar la filtración y evitar el efecto de rompimiento vertical entre la pared del filtro y la arena.
- Mejorar el tanque aireado - sedimentador haciéndole el fondo de forma cónica e instalando una tubería y una válvula para purgar los sedimentos acumulados.
- Se debe instalar válvulas en los extremos de la tubería de distribución para realizar el lavado de la tubería que permita extraer parte de las partículas de hierro y manganeso acumuladas y adheridas en la tubería.
- Cambiar el tramo de tubería desde el tanque aireador – sedimentador hasta el filtro lento de arena, ya que de acuerdo a los análisis de laboratorio se observa acumulación elevada principalmente de hierro.

- Realizar análisis para los parámetros hierro, manganeso y bacteriológico en el agua del sistema una vez al mes de acuerdo a la frecuencia establecida en la norma salvadoreña de agua potable NSO 13.07.01:08
- Desarrollar un análisis económico del sistema de agua que permita hacer las valoraciones cuantitativas y cualitativas del funcionamiento y mantenimiento del sistema.
- Realizar un estudio hidrogeológico para conocer el origen y la formación de las aguas subterráneas de la zona.
- Formular un Plan de Educación Ambiental que genere conciencia ecológica para la conservación del agua y medio ambiente.

VI. Bibliografía

ACUA (Asociación Comunitaria Unida por el Agua y la Agricultura, ES) 2007. Manual de Operación de Sistemas Comunitarios de Agua Potable en Zonas Rurales.

Barry, D. 1994. El Agua: Límite ambiental para el desarrollo futuro de El Salvador. PRISMA (Programa Salvadoreño de Investigación sobre Desarrollo y Medio Ambiente, ES), Consultado 28 de marzo 2016. Disponible en http://www.prisma.org.sv/uploads/media/bol05_el_agua_limite_ambiental_para_el_desarrollo_futuro_de_ESV.pdf

Burbano, L., Sánchez, L. D. 2007. 28. REMOCIÓN DE HIERRO Y MANGANESO POR OXIDACIÓN-FILTRACIÓN PARA AGUA POTABLE. Avances en investigación y desarrollo en agua y saneamiento para el cumplimiento de las metas del milenio, 288p.

CEPIS (El Centro Panamericano de de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Medio Ambiente, PE) s.f. Guía para la Desinfección del Agua para Consumo Humano en Sistemas Rurales de Abastecimiento de Agua por Gravedad y Bombeo. Consultado 28 de marzo 2016. Disponible en <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan3/041894.pdf>

CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología SV). 2009. Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07. 01:08 Agua, Agua Potable. Consultado 28 marzo 2016. Disponible en http://usam.salud.gob.sv/archivos/pdf/normas/NORMA_AGUA_POTABLE_2_a.pdf

Cordero Ordóñez & Ullauri Hernández, P. N. 2011. Filtros caseros, utilizando ferrocemento, diseño para servicio a 10 familias, constante de 3 unidades de filtros gruesos ascendentes (FGAS), 2 filtros lentos de arena (FLA), sistema para aplicación de cloro y 1 tanque de almacenamiento.

CYTED (Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo); (Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua) s.f. Agua potable para comunidades

rurales, re-uso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas. Consultado 15 de feb. 2016. Disponible en <http://www.zeocat.es/docs/aguafemn1.pdf>

de Vargas, L. C. FILTRACIÓN LENTA COMO PROCESO DE DESINFECCIÓN. Consultado 01 de febrero 2016. Disponible en <http://www.itacanet.org/esp/agua/Seccion%206%20Tratamiento%20de%20agua/introduccionfiltracionarena.pdf>

DIGESTYC (Dirección General de Estadística y Censos, SV). 2012. Encuesta de Hogares de Propósitos Múltiples. Consultado 15 de feb. 2016. Disponible en <http://www.digestyc.gob.sv/EHPM2012/digestyc/resultado.pdf>

Farrás, L. E. P. 2005. Teoría de la sedimentación. Área de hidráulica, Cátedra de Hidráulica Aplicada a la Ingeniería Sanitaria.p.25.

Foster, S., Ventura, M., & Hirata, R. 1987. Contaminación de las aguas subterráneas: Un enfoque ejecutivo de la situación en América Latina y el Caribe en relación con el suministro de agua potable. OPS. OMS. Programa de Salud Ambiental.

Gutiérrez, M., & CTNs, 1994. Normas CAPRE sobre calidad del agua para consumo humano. Normas de Calidad de Agua Potable en las Américas. sl.

McFarland, M. L., & Dozier, M. C. 2004. Problemas del agua potable: El hierro y el manganeso. Cooperative de Texas Extensión, El Sistema Universitario Texas A & M.

MINSAL (Ministerio de Salud de El Salvador, SV). 2013, Instituto Nacional de Salud Laboratorio Nacional de Referencia. Manual de toma, manejo y envío de muestras de laboratorio San Salvador. Consultado 03 de marzo 2016. Disponible en http://asp.salud.gob.sv/regulacion/pdf/manual/manual_toma_manejo_y_envio_muestras_laboratorio.pdf

Mourato, D. 1998. Microfiltración y nanofiltración en el área de agua potable. In Simposio Regional sobre Calidad del Agua: Desinfección Efectiva (pp. 1-19). CEPIS/OPS.

Nova 60. s.f. Manual de procedimientos (en línea). Consultado 03 marzo 2016. Disponible en http://www.amco-instruments.com/index_files/pdf/amnova.pdf

OMS (Organización Mundial para la Salud); OPS (Organización Panamericana para la Salud), 2009. Guía técnica No. 5, Tratamiento de emergencia de agua potable en el lugar de consumo Consultado 28 de marzo 2016. Disponible en <http://www.disaster-info.net/Agua/pdf/5-AguaConsumo.pdf>

OPS (Organización Panamericana de la Salud, PE), CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, PE). 2005. Guía para el mejoramiento de la calidad del agua a nivel casero. Consultado 09 de feb. 2016. Disponible en http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d25/067%20Gu%C3%ADa%20para%20el%20mejoramiento%20de%20la%20calidad%20del%20agua%20a%20nivel%20casero/guia-mejor_agua_metodocasero.pdf

OPS (Organización Panamericana de la Salud, PE), CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, PE). 2005. Guía para diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas.p.28.

Ovalle Celis, R. Y., & Moreno Ripe, C. A. 2014. Cartilla guía para la ejecución de prácticas de laboratorio en saneamiento de agua potable.p.97.

Pérez, J. M., & del Ambiente, C. 1977. Avances en sedimentación. CEPIS, Lima.p.50.

Rojas, R. 2002. Guía para la vigilancia y control de la calidad del agua para consumo humano. Lima: CEPIS/OPS.p.336.

Shimadzu Corporation. s.f. Japanese Industrial Standard JIS K-102-1993. Testing methods for industrial waste water Environmental standard concerning water contamination. Atomic Absortion, Iron Determination. s.p.

Solsona, F., & Méndez, J. P. 2002. DESINFECCIÓN DEL AGUA.

UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza). 2010. Manual e Instrumentos para el Monitoreo de la Calidad de Agua Consultado 28 de marzo 2016. Disponible en http://cmsdata.iucn.org/downloads/3_6_fasciculo5monitoreo_de_la_calidad_de_agua.pdf

VII. Anexos

Anexo 1. Informe de análisis de agua de pozo, Sistema de Agua Colonia Guadalupe.

LECC® Laboratorio Especializado en Control de Calidad
ESEBESA, S.A. DE C.V.
No. de Inscripción 357

Calle San Antonio Abad No. 1965, San Salvador, El Salvador, C.A.
PBX: (503) 2525-0200 FAX: 2525-0222 • www.lecc.com.sv • E-mail: info@lecc.com.sv

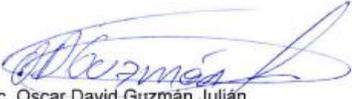
INFORME DE ANÁLISIS

PROCEDENCIA: JUNTA DE AGUA COLONIA GUADALUPE	CONTROL: AG-603-161
MUESTRA: AGUA DE POZO SISTEMA COLONIA GUADALUPE,	LOTE: NO APLICA
TEJUTLA CHALATENANGO	VENCIMIENTO: NO DISPONIBLE
FECHA: 15/03/16, HORA: 8:30 AM	INGRESO: 15-MAR-2016
	MUESTREÓ: CLIENTE
	EMISIÓN: 30-MAR-2016

DETERMINACIÓN	ESPECIFICACIÓN	RESULTADOS
Hierro Total Referencia: SMEWW. Método: 3500-Fe B Fecha final de análisis: 29-mar-2016	LMP: 0.30 mg/L	2.4 mg/L
Manganeso Total Referencia: SMEWW. Método: 3500-Mn B Fecha final de análisis: 29-mar-2016	LMP: 0.1 mg/L	0.7 mg/L

ESPECIFICACIÓN SEGÚN: NORMA SALVADOREÑA OBLIGATORIA NSO 13.07.01:08 AGUA POTABLE (2da ACTUALIZACION)
SMEWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22nd Ed
LMP: Limite Máximo Permisible

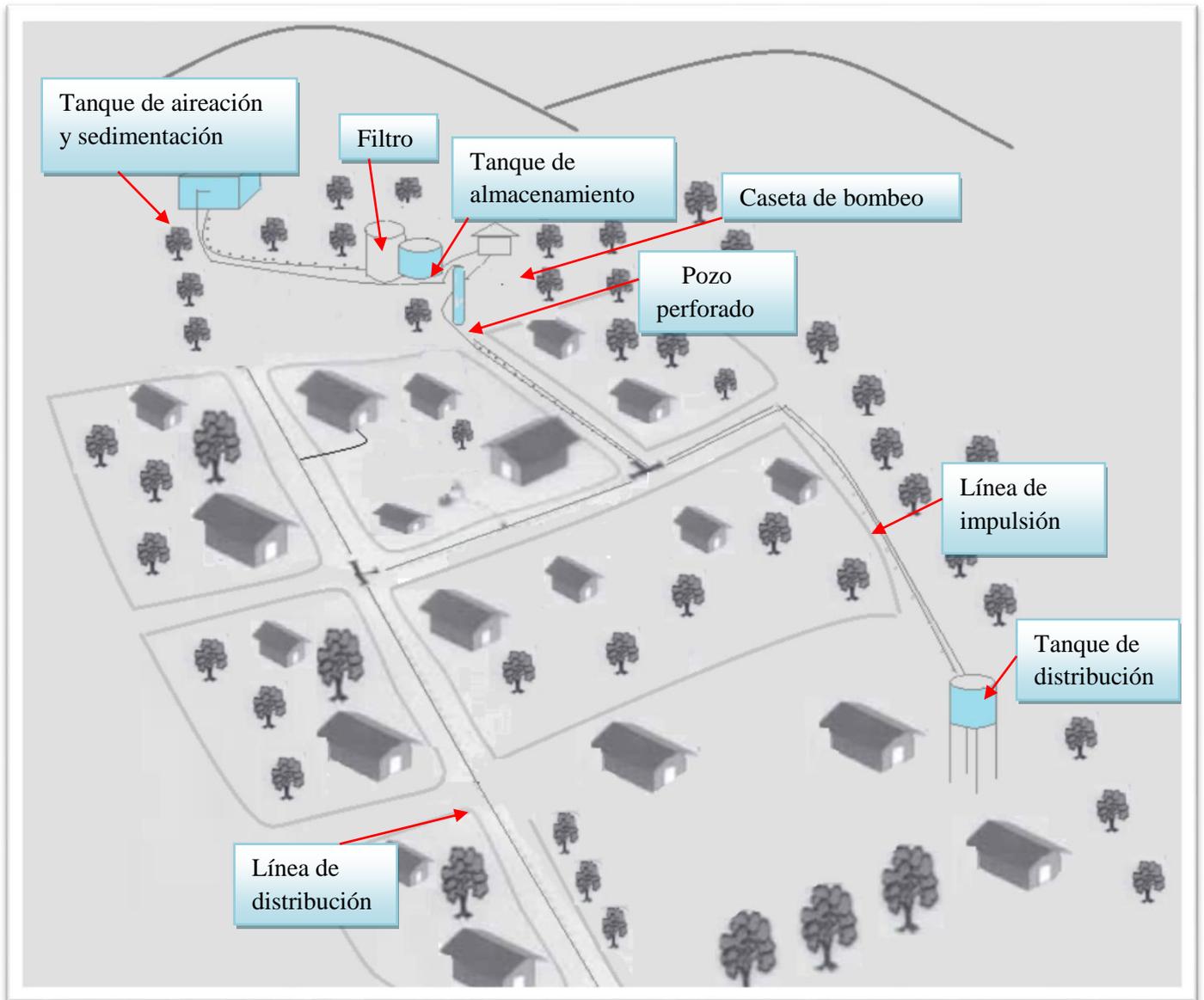
El informe corresponde a la muestra remitida y ensayada


Lic. Oscar David Guzmán Juján
Dir. Integración Técnica-Administrativa

Lic. OSCAR DAVID GUZMAN JULIAN
QUIMICO FARMACEUTICO
Insc. J.V.P.Q.F. No. 1810

Figura 35. Informe de análisis de agua de pozo, Sistema de Agua Colonia Guadalupe.

Anexo 2. Sistema de abastecimiento de agua de la comunidad.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 36. Sistema de abastecimiento de agua de la comunidad.

Anexos 3. Características del sistema de agua comunitario Colonia Guadalupe.

Cuadro 32. Características del sistema de agua comunitario.

Componente	Características
Organización	La Junta de Agua está conformada por 5 miembros y bajo la supervisión de la ADESCO comunitaria. Oficina para la administración del sistema.
Aspectos normativos	Reglamento interno del sistema de agua.
Recursos humanos y materiales	Fontanero, con salario de \$80 dólares mensuales. Secretaria, con salario de \$50 dólares mensuales. Una computadora y herramientas de fontanería básica.
Catastro de usuarios	Se dispone de registro de usuarios actualizado.
Micro medición	Se cuenta con 57 micro medidores para medir la cantidad de agua que gasta el usuario
Sistema de cobro	Se cuenta con un sistema de cobro computarizada en el cual se registran el consumo y el pago del agua mensual
Tarifa, factorización y cobranza	Diseño de recibo Reglamento interno regula las multas y las fechas de cobro y el corte del servicio Pliego tarifario estratificado de acuerdo al número de metros que consume el usuario
Registro contable	La comisión se reúne 2 días después del cobro del servicio de agua para cuadrar los ingresos y egresos del sistema de agua
Operación y mantenimiento	La fontanera realiza la operación y mantenimiento del sistema de agua, y cuando los problemas del sistema están fuera del alcance de su capacidad la Junta de Agua contrata a un especialista para que pueda repararlo.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 4. Componentes del sistema de agua.

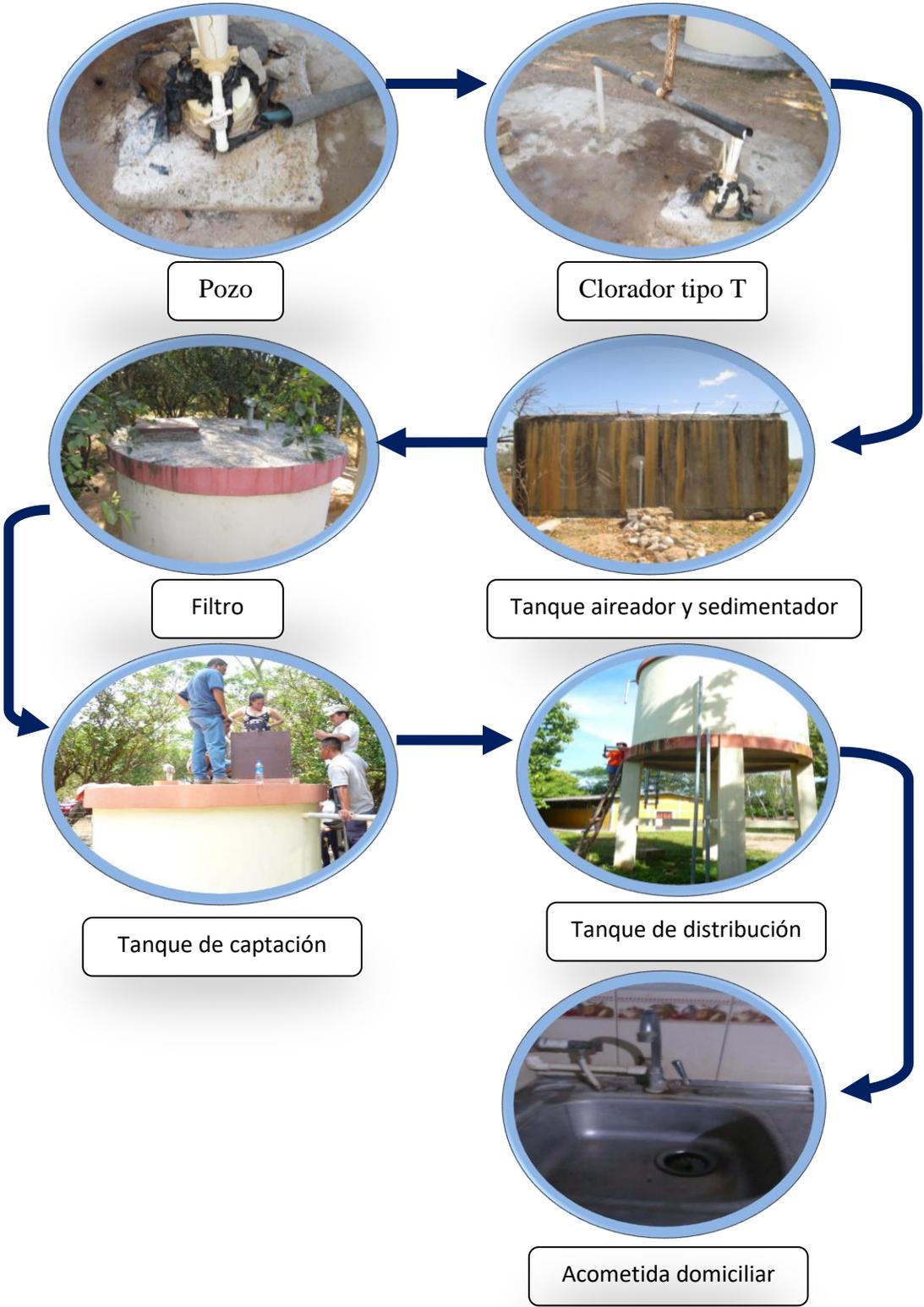
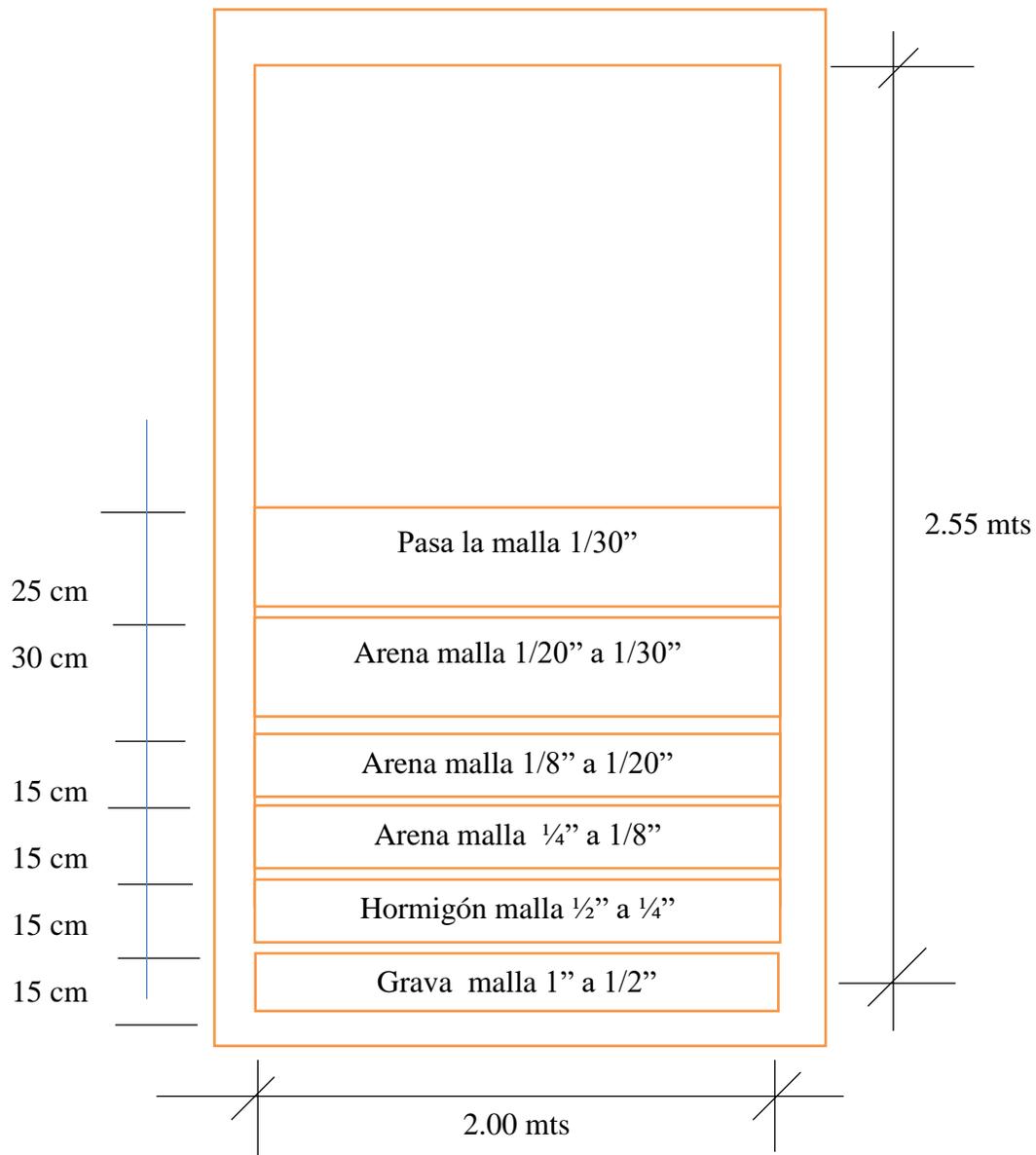


Figura 37. Componentes del sistema de agua.

Anexo 5. Especificaciones del filtro lento de arena.



Fuente: Elaborado por Ing. Andrés Jovel Díaz.

Figura 38. Especificaciones del filtro lento de arena.

Anexo 6. Lista de usuarios del sistema de agua comunitario Colonia Guadalupe.

Cuadro 33. Lista de usuarios del sistema de agua comunitario

No	Nombre del usuario	No	Nombre del usuario
1	Nelson de Jesús de paz Montalvo	29	Evarista Montalvo Vda de Paz
2	Edith Yaneth Pérez Martínez	30	José Simeón Pérez Pérez
3	Rosa María Pérez Martínez	31	Bartolo Villanueva Morales
4	Sugey Del Carmen Sánchez López	32	Carlos Antonio López Arias
5	Blanca Argelia López Rauda	33	Mirian Murcia Sánchez de Figueroa
6	C .E COL Guadalupe	34	Ana Irma Villanueva Pérez
7	Edwin Quzada	35	Isidora Dolores Henríquez Montalvo de Paz
8	Marvín Daniel Recinos Rauda	36	Agustín Escobar
9	Tomasa Murcia de Vásquez	37	Raymundo Pérez Martínez
10	José Dolores Murcia Cruz	38	Ulises Artiga Mendoza
11	José Enrique Menjívar Murcia	39	José Fredy de Paz Henríquez
12	Flor Ángel Alfaro Valle	40	María Reyes Mendoza de Artiga
13	José Ricardo Martínez Pérez	41	María Carmen Artiga Mendoza
14	José Marlon Avelar Alvarado	42	Estasnislao De Jesús Alfaro Flores
15	Rosa Idalia Alvarado	43	Oscar Arnulfo Alfaro Mendoza
16	María Amelida Miranda Sosa	44	Santos Francisca Artiga Mendoza
17	Cristina Pineda Vda de Henríquez	45	María Dolores Rauda Vda de López
18	Eduviges del Carmen Leiva Caravantes	46	Jaime Villanueva Pérez
19	Elva Nely Henríquez Guardado	47	Emelina Sánchez Vda de Murcia
20	Emilio Adalberto Suarez Henríquez	48	Reina Isabel Vásquez Vda de López
21	María Hildaura Henríquez Guardado	49	Reina De Los Ángeles Vásquez Santos
22	Miguel Ángel Ardon Avelar	50	María Del Rosario Vásquez Santos
23	Martina Antonia Pichinte Vda de Alfaro	51	Carmen Cruz Artiga de López
24	Santos Díaz de López	52	Teresa De Jesús Martínez de Pérez
25	Armando Villanueva Pérez	53	Virgilio Mendoza Trinidad
26	Marcos Hernández de Fabián	54	María Francisca Alfaro Peña
27	Elsa Morena Fabián Vda de Rodas	55	José Ernesto Galdámez Alfaro
28	María Isabel Henríquez de Rodríguez	56	Tomasa Griselda Escobar Rodríguez
		57	Ganaderos Colectivos José Ernesto

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 7. Encuesta a usuario del sistema de agua.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS
ENCUESTA PARA CARACTERIZAR EL USO DEL AGUA



Nombre: _____ Fecha: _____

Indicación. Marque con un X de acuerdo a las respuestas obtenidas por cada pregunta.

1. ¿Cuántos miembros forman parte de su familia?

Niños _____ Niñas _____ Mujeres _____ Hombres _____

2. ¿Fuentes de agua que tiene disponible para abastecerse en su hogar?

Solo sistema comunitario _____ Sistema comunitario y Nacimiento _____

Sistema comunitario y agua lluvia _____ Rio _____

3. ¿Para que utiliza el agua que suministra el sistema comunitario?

Doméstico y consumo humano _____ Domestico _____ Domestico y Riego _____

4. En caso de no consumir el agua del sistema ¿De qué formas adquiere el agua destinada para el consumo humano?

Compra _____ Compra y nacimiento _____

5. ¿Cuánto es el gasto adicional por compra de agua para el consumo humano al mes?

Menor o igual que \$ 10 _____ \$11 a \$20 _____

\$21 a \$30 _____ \$31 a \$40 _____

6. ¿Cuánto es el pago mensual aproximado del servicio de agua comunitarios?

Menor o igual que \$ 5 _____ \$6 a \$10 _____

\$11 a \$15 _____ \$16 a \$20 _____

Más de \$21 _____

7. **¿Se siente satisfecho con el servicio de agua potable de la comunidad?**
 Calidad_____ Cantidad_____ ambos_____
8. **¿Siente confianza de consumir el agua del sistema comunitario?**
 Sí _____ No_____
9. **En caso de no sentir confianza ¿Qué características del agua del sistema ha percibido?**
 Olor_____ Sabor metálico _____ Color amarillo_____ Agua turbia_____
10. **¿Ha observado manchas amarillas en ropa, artefactos como lavamanos, inodoro o pila?**
 Sí _____ No_____
11. **¿Realiza algún tipo de tratamiento extra en su hogar al agua del sistema comunitario?**
 Filtración_____ Hierve _____ Sodis _____ Cloración_____
12. **¿Ha sentido algún efecto en su salud por el consumo del agua del sistema?**
 Dolor de estómago_____ Mancha en los dientes _____ Otro_____
13. **¿Conoce alguna medida para el buen uso y manejo del agua?**
 Sí _____ No_____
14. **¿En su casa aplica alguna medida para ahorrar agua?**
 Cierra de grifos _____ Cierra grifo y usar agua lluvia_____
 Cierra grifo y repara fugas_____ Reparar plantas en la noche_____
15. **¿Considera importante el ahorro del agua en su casa?**
 Muy importante_____ Poco importante_____ No sabe_____
16. **¿De quién es la responsabilidad de cuidar el agua en la comunidad?**
 Familia y Junta de Agua _____ Familia y ADESCO _____ Solo la Familia_____

Anexo 8. Sitios de muestreo de agua.

Cuadro 34. Sitios de muestreo de agua.



Toma de muestra pozo



Muestreo después del Clorador



Muestreo después tanque aireador



Muestreo después de filtro de arena



Muestreo tanque distribución



Muestreo en grifo usuario

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 9. Muestreo de agua para análisis de metales.

Cuadro 35. Muestreo de agua para análisis de metales.

Tipo de muestra	Cantidad de muestra	Tipo de envase	Condiciones de la muestra	Conservación y transporte	Análisis a realizar
Agua para análisis de Metales	1 litro	Frasco de Plástico el cual es entregado por el laboratorio y contiene Ácido Nítrico	Todas las muestras deben ser numeradas en el caso que sean varias y que la información coincida con la hoja de ingreso, envase sin rotura, no derramadas	Tiempo de entrega de la muestra antes de 24 horas de haber sido recolectada, Conservar a temperatura ambiente	Cadmio, Cobre, Cromo, Hierro, Níquel, Plomo, Sodio, Manganeso, Zinc, Arsénico

Fuente: MINSAL 2013.

Anexos 10. Determinación de hierro en agua por espectrofotometría de absorción atómica.

La muestra es atomizada mediante un nebulizador y posteriormente se quema en una llama de aire-acetileno. Se hace pasar un haz de luz utilizando una lámpara de cátodo hueco para Fe que proporciona una longitud de onda de 248.3 nm. La cantidad de energía absorbida por la muestra está relacionada directamente con la concentración de hierro en la misma.

Tratamiento de la Muestra

El tratamiento es necesario en el caso de que la muestra contenga una sustancia orgánica o que la muestra contenga el elemento a valorar como un coloide o complejo metálico aún si luce clara. Se lleva a cabo ya sea por la adición de varios ácidos para la descomposición de la muestra por calentamiento o calcinación por calentamiento.

Digestión con ácido clorhídrico o ácido nítrico

Cuando la muestra presenta una cantidad de sustancias orgánicas muy pequeña o en suspensión, se adiciona 5 ml de ácido nítrico o ácido clorhídrico por cada 100 ml de muestra. Se calienta y se ebulle durante 10 minutos.

Procedimiento:

1. Utilizar la muestra tratada directamente para la medición o diluir la muestra tratada con ácido clorhídrico (1 + 50), de tal manera que su concentración este dentro del intervalo de cuantificación.
2. Llevar un blanco de reactivos utilizando agua destilada en igual cantidad que la muestra y llevar a cabo el mismo procedimiento. El valor obtenido del blanco será utilizado para la corrección del valor obtenido en la medición de la muestra.
3. Para la curva de calibración preparar estándares de 0.3, 2.0 y 6.0 ppm de Fe partiendo de la solución estándar de Fe (20 µg de Fe / ml), utilizando frascos volumétricos de 100 ml, luego adicionar ácido clorhídrico de manera de obtener similares condiciones como en la muestra. Llevar a volumen con agua.

Medición:

1. Encender el equipo en introducir los parámetros necesarios para la determinación de hierro:
Longitud de onda: 248,3 nm - Estándares a utilizar: 0.3, 2.0 y 6.0 ppm de Fe - Corriente de lámpara: 10 mA - Slit: 0.2 nm - Modo de corrección; BGC-D2 - Número de repeticiones por cada lectura.
2. Dejar que el equipo se estabilice durante 15 minutos.
3. Aspirar el blanco preparado, este se utilizara para corregir cualquier interferencia producida por los reactivos.
4. Aspirar los estándares en el equipo para realizarla curva de calibración.
5. Aspirar la muestra.
6. Anotar la lectura de la muestra obtenida directamente del equipo; si se realizó alguna dilución de la muestra multiplicar por el factor de dilución para obtener el resultado.
7. Corregir el resultado con el blanco si es necesario.
8. Aspirar agua destilada para limpiar el equipo y apagar.
9. El resultado esta expresado en mg/l de hierro (Shimadzu s. f.)

Anexo 11. Determinación de manganeso. Método 14770 (Test con reactivos ref. Merck 1.14770.0001/ 1.14770.0002).

En medio alcalina los iones manganeso II forman con una oxina un complejo pardo rojizo que se determina colorimétricamente.

Preparación de la muestra.

- Analizar las muestras inmediatamente después de la toma de muestras. En otro caso conservar con ácido nítrico al 65% (1 ml de ácido nítrico para 1 l de solución de la muestra).
- Comprobar el contenido de manganeso con el test Manganeso Merckoquant®. Las muestras con más de 1,000 mg/l de Mn deben diluirse con agua destilada.
- El valor del pH debe encontrarse en el intervalo 2 - 7. Si es necesario, ajustar con solución de hidróxido sódico o con ácido sulfúrico. • Filtrar las muestras turbias.

Procedimiento:

1. Sacar la muestra del refrigerador y llevarla a temperatura ambiente.
2. Homogenizar la muestra y posteriormente filtrar la muestra con papel filtro Whatman 42, con el objeto de eliminar los sólidos suspendidos que puedan interferir con el análisis.
3. Pipetear 5 ml de muestra en un tubo de ensayo.
4. Añadir 4 gotas de reactivo Mn-1 y mezclar.
5. Añadir 2 gotas de reactivo Mn-2 y mezclar, dejar reposar 2 minutos (tiempo de reacción A).
6. Añadir 2 gotas de reactivo Mn-3 y mezclar, dejar reposar 2 minutos (tiempo de reacción B).
7. La muestra está lista para realizar la medición.

Medición.

1. Encender el equipo fotométrico Nova 60 e introducir el Auto-Selector que corresponde al método para la determinación de manganeso en agua.
2. Transferir la muestra previamente preparada a una cubeta rectangular dependiendo del rango de concentración en el que se encuentre de la siguiente manera:

- Cubeta de 50 mm: si el intervalo de concentración es de 0.01 – 2.00 ppm de Mn.
 - Cubeta de 20 mm: si el intervalo de concentración es de 0.25 – 5.00 ppm de Mn.
 - Cubeta de 10 mm: si el intervalo de concentración es de 0.50 – 10.00 ppm de Mn.
3. Limpiar la cubeta con papel toalla e introducirla en el fotómetro.
 4. Anotar el valor de concentración directamente, si se realizó alguna dilución de la muestra multiplicar por el factor de dilución para obtener el resultado.
 5. El resultado esta expresado en mg/l de manganeso (Nova 60 s. f.).

Anexos 12. Proceso de elaboración de filtro de esponja.

Cuadro 36. Proceso de elaboración de filtro de esponja.



Perforación de tapadera de depósito



Corte de esponja para galería filtrante



Pegado de accesorios de pvc



Instalación de piedras en filtro



Instalación de esponjas



Instalación de filtro en tanque

Fuente: Elaboración propia.

Anexos 13. Construcción de depósito sedimentador de sólidos.

Cuadro 37. Construcción de depósito sedimentador de sólidos.



Trazo y excavación



Construcción de broquel



Perforación de orificios en tanque



Instalación de accesorios pvc.



Fundido con concreto de tanque



Sellado de tanque sedimentador

Fuente: Elaboración propia.

Anexos 14. Lavado del filtro lento de arena.

Cuadro 38. Lavado del filtro lento de arena.



Extracción de arena del filtro



Descubriendo cruceta de tubería



Lavado de arena



Lavado de tubería de la cruceta



Instalación de piedra



Instalación de capa esponja y llenado

Fuente: Elaboración propia.

Anexos 15. Información de encuesta.

Cuadro 39. Formas de adquirir el agua las familias que no consumen agua del sistema.

Formas de adquirir el agua para consumo	Frecuencia	Porcentaje (%)
Compra	31	74
Compra y nacimiento	11	26
Total	42	100

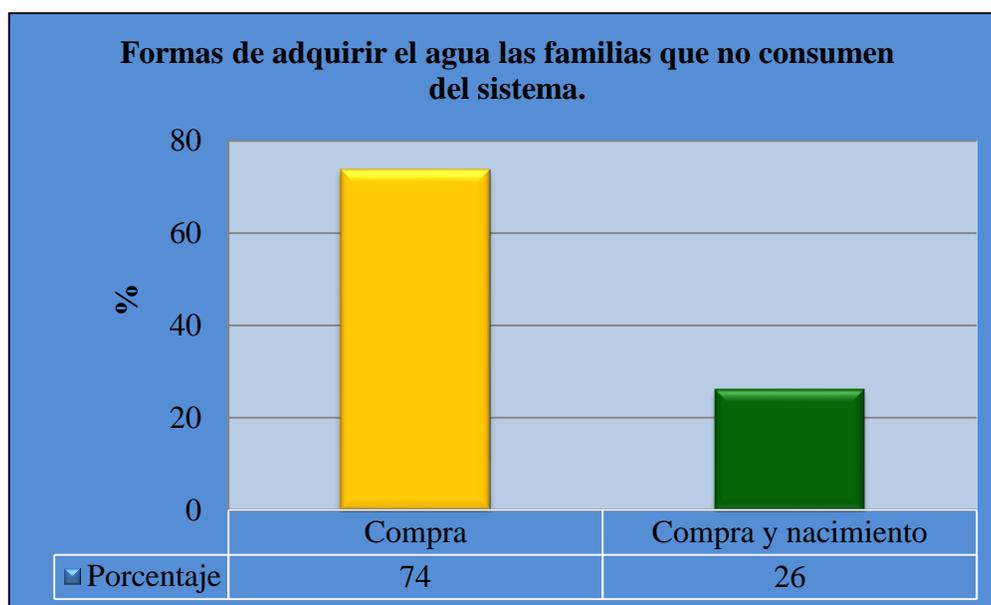


Figura 39. Formas de adquirir el agua las familias que no consumen agua del sistema

Cuadro 40. Pago mensual aproximado del servicio de agua comunitario.

Pago por servicio de agua	Frecuencia	Porcentaje (%)
Menor o igual que \$5	16	31
\$6 - \$10	26	50
\$11 - \$15	8	15
\$16 - \$20	0	0
Más de \$21	2	4
Total	52	100

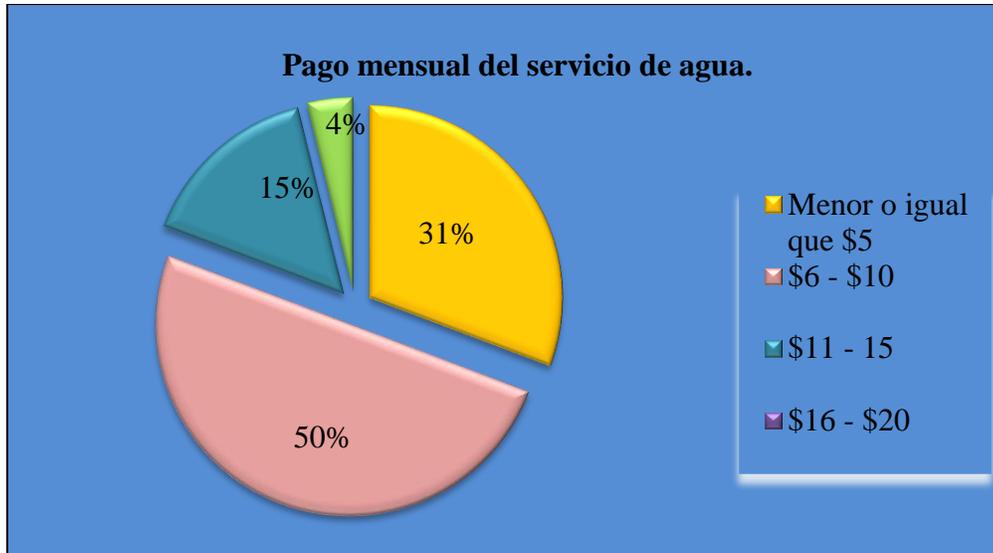


Figura 40. Pago mensual del servicio de agua.

Cuadro 41. Satisfacción del usuario con el servicio de agua de la comunidad.

Satisfacción del servicio de agua	Frecuencia	Porcentaje (%)
Calidad	1	2
Cantidad	42	81
Ambas	9	17
Total	52	100

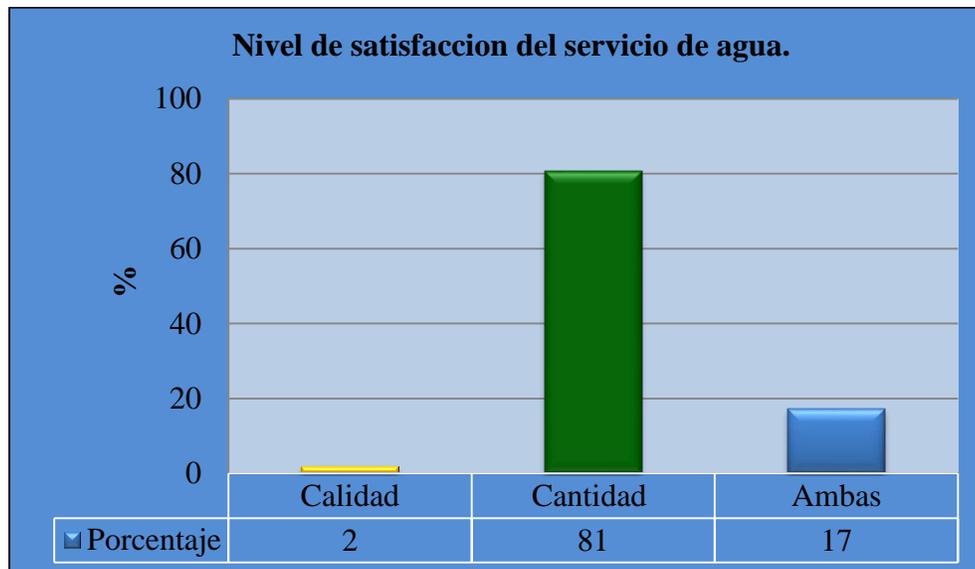


Figura 41. Nivel de satisfacción del servicio de agua comunitario.

Cuadro 42. Confianza de consumir el agua del sistema comunitario.

Confianza de consumir el agua del sistema	Frecuencia	Porcentaje (%)
Si	10	19
No	42	81
Total	52	100

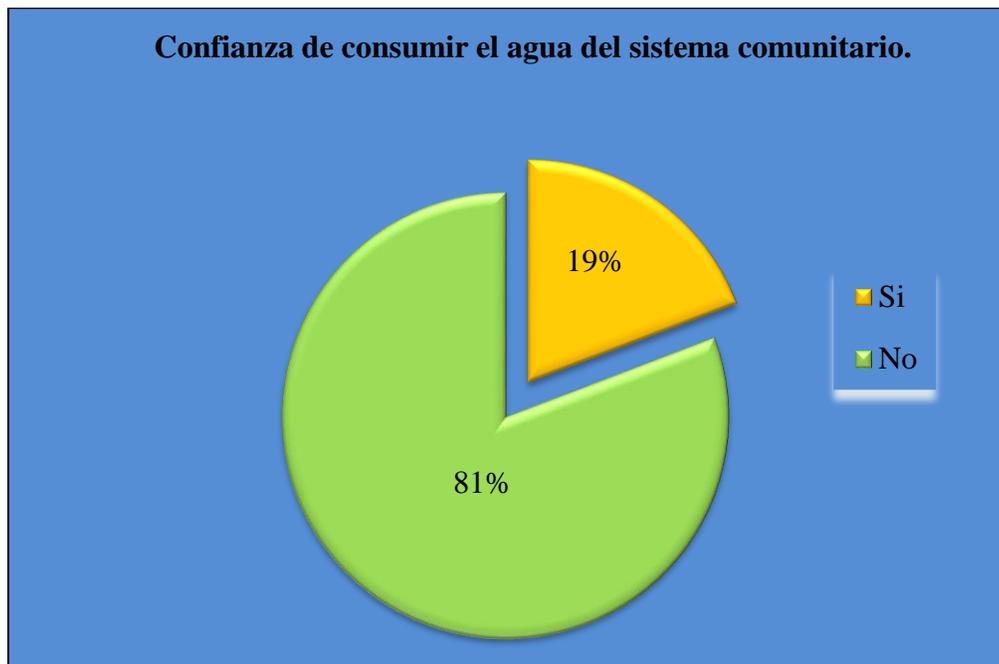


Figura 42. Confianza de consumir el agua del sistema comunitario.

Cuadro 43. Observación de usuario de manchas en ropa y otros materiales.

Manchas en ropa, lavamanos, inodoros y pila	Frecuencia	Porcentaje (%)
Si	12	23
No	40	77
Total	52	100

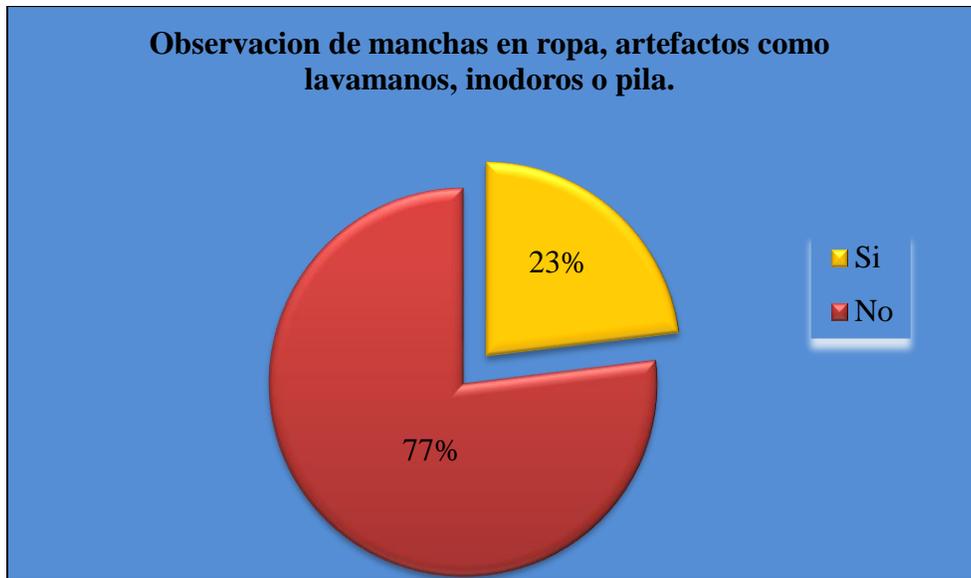


Figura 43. Observación de manchas en ropa, artefactos como lavamanos e inodoros.

Cuadro 44. Tratamiento extra en el agua del sistema comunitario.

Tratamiento de agua	Frecuencia	Porcentaje (%)
Ninguno	45	86
Filtración	6	12
Hervirla	1	2
Total	52	100



Figura 44. Tratamiento extra en su hogar al agua del sistema comunitario.

Cuadro 45. Efecto en la salud por el consumo del agua del sistema.

Efectos en la salud	Frecuencia	Porcentaje (%)
Ninguno	9	90
Dolor de estomago	1	10
Total	10	100

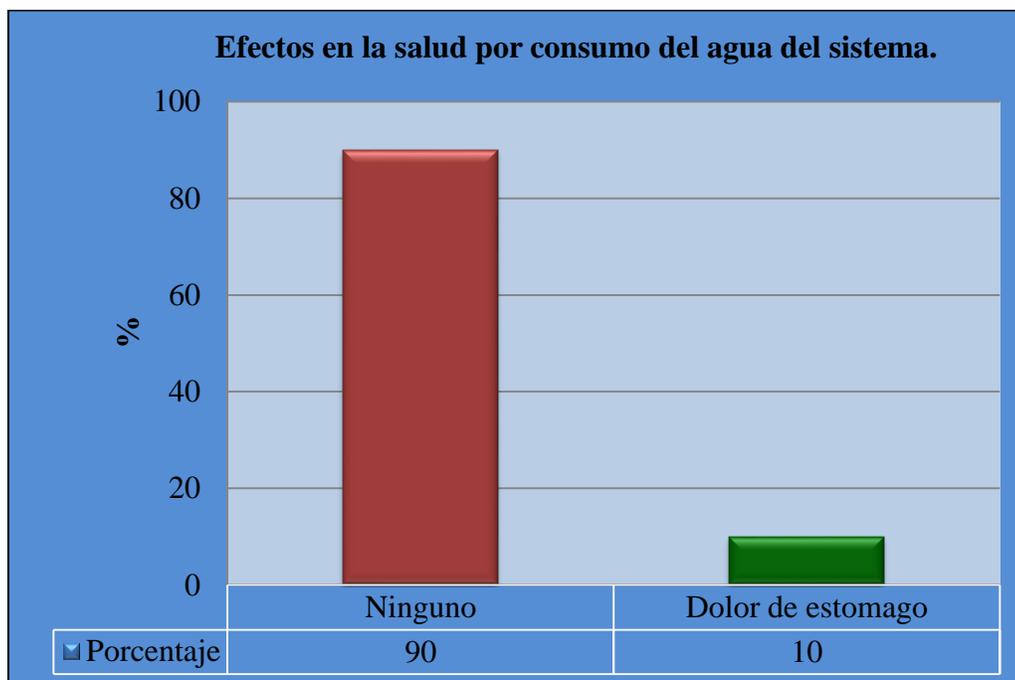


Figura 45. Efectos en la salud por consumo de agua del sistema.

Cuadro 46. Conoce alguna medida para el buen uso y manejo del agua.

Medida para buen uso del agua	Frecuencia	Porcentaje (%)
Si	52	100
No	0	0
Total	52	100

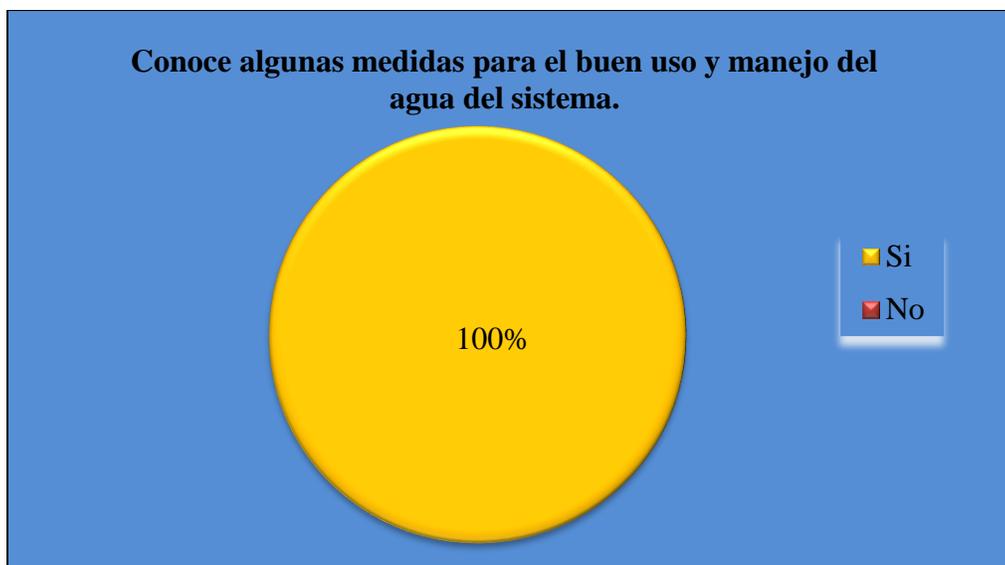


Figura 46. Conoce algunas medidas para el buen uso y manejo del agua del sistema.

Cuadro 47. Medidas que aplican los usuarios del sistema para ahorrar agua.

Medida de ahorro de agua	Frecuencia	Porcentaje (%)
Cierra de grifos	25	48
Cierra grifo y usa agua lluvia	2	4
Cierra grifo y reparar fugas	23	44
Regar plantas de noche	2	4
Total	52	100



Figura 47. Medidas que aplican los usuarios para ahorrar agua.

Cuadro 48. Considera importante el ahorro del agua en su casa.

Importancia del ahorro de agua	Frecuencia	Porcentaje (%)
Muy importante	52	100
Poco importante	0	0
No sabe	0	0
Total	52	100

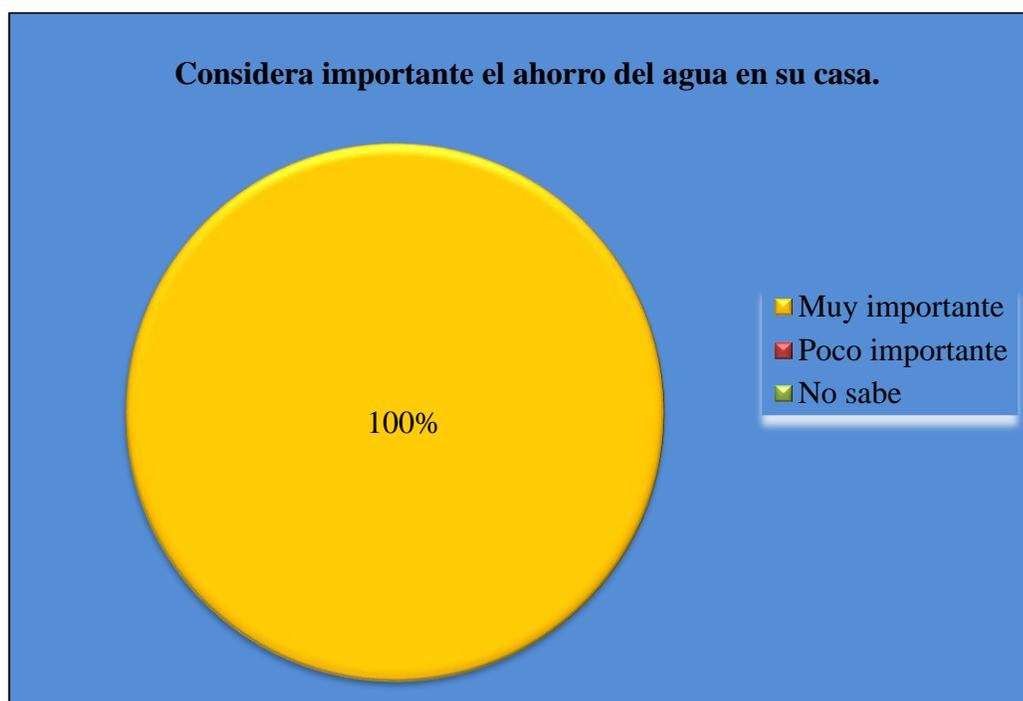


Figura 48. Valoración de la importancia del ahorro de agua.

Cuadro 49. Responsabilidad de cuidar el agua en la comunidad.

Medida de ahorro de agua	Frecuencia	Porcentaje (%)
La familia y la Junta de Agua	1	2
La familia y la ADESCO	1	2
Solo la familia	50	96
Total	52	100

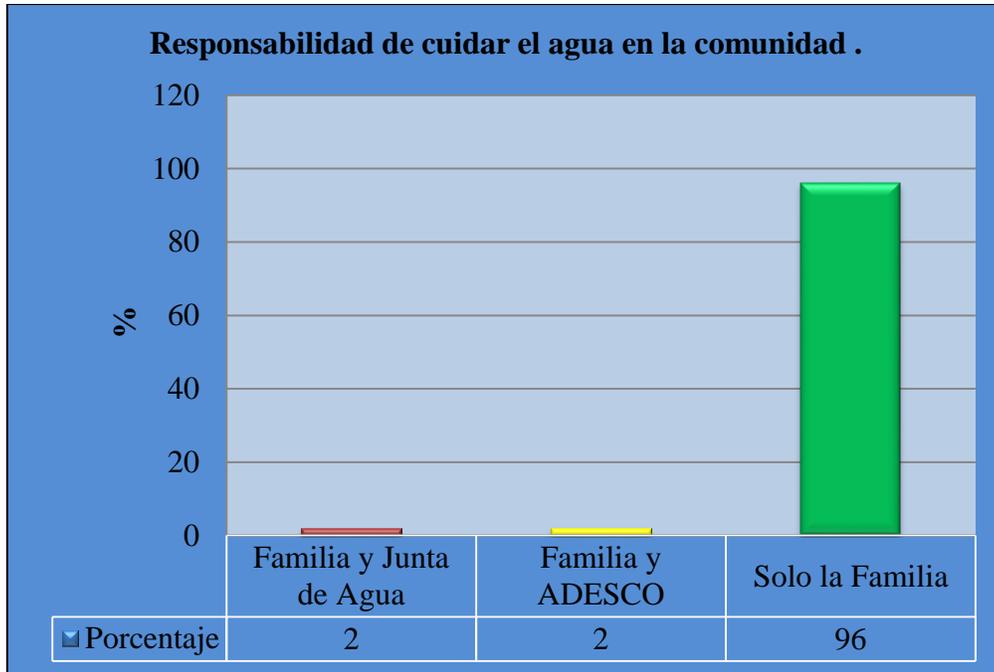


Figura 49. Responsabilidad de cuidar el agua en la comunidad.

Anexos 16. Resultado de laboratorio concentraciones de hierro y manganeso en agua.

Cuadro 50. Resultado de laboratorio concentraciones de hierro y manganeso en agua.

Lugar de muestreo (Volumen de muestra 100 ml)	Código	Sistema sin mejoras				Sistema con mejoras				Sistema sin mejoras				Sistema con mejoras			
		M1	M2	M3	M4												
		21/6/16	21/7/16	28/7/16	23/8/16	30/8/16	27/9/16	6/10/16	9/11/16	21/6/16	21/7/16	28/7/16	23/8/16	30/8/16	27/9/16	6/10/16	9/11/16
		Hierro (mg/l)				Hierro (mg/l)				Manganeso (mg/l)				Manganeso (mg/l)			
Pozo	A1	2.22	1.85	1.75	1.82	2.27	1.78	1.81	2.50	0.78	0.77	0.76	0.72	0.78	0.86	0.70	0.81
	A2	2.05	1.92	2.13	1.77	2.34	1.88	1.81	2.23	0.77	0.81	0.79	1.07	0.70	0.84	0.73	0.71
Después del Clorador	B1	2.00	1.73	1.27	1.52	2.18	1.45	0.71	1.26	0.76	0.65	0.68	0.65	0.64	0.74	0.57	0.64
	B2	2.37	1.74	1.53	1.85	2.19	1.54	0.62	1.13	0.68	0.72	0.68	0.66	0.67	1.13	0.40	0.64
Después de tanque aireador	C1	3.07	12.60	2.68	3.98	2.82	2.68	6.06	2.24	0.60	0.65	0.59	0.62	0.60	0.59	0.28	0.52
	C2	3.04	18.06	2.79	4.36	2.72	2.63	5.84	4.07	0.63	0.75	0.61	0.62	0.63	0.60	0.29	0.52
Después del filtro	D1	0.33	0.03	1.57	0.20	0.56	0.93	0.94	1.21	0.57	0.62	0.63	0.63	0.48	0.69	0.40	0.42
	D2	0.21	0.01	1.48	0.14	0.55	0.81	0.93	1.16	0.59	0.62	0.63	0.64	0.48	0.50	0.38	0.45
Tanque de distribución	E1	0.56	0.32	0.41	0.54	0.27	0.47	1.23	0.32	0.57	0.48	0.51	0.53	0.41	0.52	0.43	0.43
	E2	0.68	0.36	0.34	0.52	0.29	0.24	1.29	0.28	0.47	0.48	0.51	0.48	0.41	0.52	0.37	0.43
Usuario (inicio)	F1	0.65	0.23	0.23	0.58	0.31	0.26	0.20	0.14	0.12	0.11	0.25	0.78	0.12	0.088	0.093	0.093
	F2	0.45	0.32	0.26	0.42	0.30	0.29	0.20	0.13	0.12	0.23	0.24	0.42	0.10	0.10	0.093	0.093
Usuario (final)	G1	0.28	0.48	0.11	0.46	0.49	0.20	0.20	0.13	0.11	0.13	0.10	0.51	0.09	0.095	0.092	0.095
	G2	0.29	0.23	0.12	0.58	0.44	0.20	0.20	0.13	0.09	0.09	0.09	0.33	0.08	0.095	0.092	0.095

Fuente: Elaboración propia.

Anexos 17. Tríptico para la comunidad.

METODOLOGÍA	CONCLUSIONES.	<p>Universidad de El Salvador Facultad de Ciencias Agronómicas Escuela de Posgrado y Educación Continua</p> 
<p>Se realizó evaluó el sistema de agua por dos meses sin ninguna mejora, y dos meses con las mejoras implementadas, las cuales consistieron: determinación de dosis de hipoclorito de calcio, elaboración de filtros de esponjas, depósito colector de sólidos sedimentables y limpieza del filtro lento de arena. Los parámetros que se analizaron fueron: El cloro residual, sólidos sedimentables, determinación de la concentración de hierro y manganeso en el agua.</p> <p>Se determinó la dosis de hipoclorito de calcio al 70%, porcentaje de remoción de hierro y manganeso del sistema, comparación de los valores en el agua del grifo del usuario con los valores de la norma salvadoreña de agua potable y análisis estadístico.</p>	<ul style="list-style-type: none">✓ El sistema de agua con las mejoras realizadas es capaz de remover entre 79.83 a 94.5% de hierro y entre 85.15 a 88.94% de manganeso.✓ Con las modificaciones implementadas en el sistema de agua, se mejoró la remoción de hierro y manganeso obteniendo valores dentro del límite máximo permitido por la norma salvadoreña de agua potable.✓ Los filtros de esponjas y el sedimentador de sólidos solo son capaces de retener partículas sedimentables, por lo que las disueltas continúan moviéndose en el sistema de agua.✓ La presencia de estructuras de hierro en tanques aportan hierro al agua que ya ha sido tratada.✓ El mantenimiento del filtro lento de arena, es necesario para el funcionamiento del sistema.✓ Las partículas de hierro y manganeso han logrado adherirse en las tuberías del sistema de agua, apareciendo en las pilas de los usuarios.	
RESULTADOS	RECOMENDACIONES.	<p>Presenta: Alfaro Mendoza Q.A Asesores: Arias - de Linares, AY Bonilla - de Torres, EL Carranza - Estrada, FA</p>
<p>Al finalizar la investigación se tiene un sistema mejorado con filtro de esponja y colector de sólidos sedimentable, un filtro lento de arena limpio.</p> <p>La instalación del colector de sólidos sedimentables y filtro de esponja aumento la retención de sólidos en el tanque aireador en 30.53%, en la purga de lodos 71.14% y en el retro lavado del filtro lento de arena 60.50% en relación del sistema sin mejoras.</p> <p>Se estableció que se necesitan 228.53 g de hipoclorito de calcio al 70% para oxidara 2.22 mg/l de hierro, 0.78 mg/l de manganeso y dejando 0.5 mg/l de cloro residual para un volumen de 57 m³/d. Sin embargo al monitorear el cloro residual solo se registran 3.6 mg/l después del clorador y 0.6 mg/l antes del filtro lento de arena, después el cloro se pierde. Además se determino que el sistema de tratamiento mejorado puede remover entre 79.83 a 94.5% de hierro y entre 85.14 a 88.94% de manganeso y al comparar los valores del agua con la norma de agua potable, el valor del hierro en el grifo es menor a 0.30 mg/l y el manganeso menor a 0.1 mg/l, cumpliendo con lo establecido en norma.</p> <p>El análisis estadístico refleja que existen diferencias estadísticamente significativas entre las concentraciones de hierro y manganeso del agua de pozo y del agua que recibe el usuario.</p>	<ul style="list-style-type: none">✓ Desarrollar un mantenimiento a decuado al sistema de tratamiento, a fin de garantizar la remoción de hierro y manganeso.✓ Realizar un proceso de re-cloración del agua a partir del tanque de distribución.✓ Eliminar las estructuras de hierro que están dentro de tanques para evitar el aporte de hierro en el agua del sistema comunitario.✓ Realizar una vez al año el lavado o cambio de material del filtro lento de arena, para evitar su colmatación y mantener la eficiencia en la retención de hierro y manganeso.✓ Se debe instalar válvulas en los extremos de la tubería de distribución para realizar el lavado de la tubería que permita extraer partículas acumuladas.✓ Realizar análisis para los parámetros hierro, manganeso y bacteriológico en el agua del sistema una vez al mes de acuerdo a la frecuencia establecida en la norma salvadoreña de agua potable	
		<p>Ciudad universitaria, San Salvador, El Salvador, Mayo 2017</p>

Figura 50. Tríptico para la comunidad

Continuación anexos 17. Tríptico para la comunidad.



Instalación de filtro de esponja

Se elaboro e instaló un filtro artesanal de esponja para ayudar a la remoción de hierro y manganeso en el tanque de sedimentación y tanque de distribución, utilizando un deposito plástico el cual se perforo por la parte superior para permitir la entrada del agua y por la base para permitir la salida al agua filtrada, se utilizo esponja de cuatro pulgadas como material filtrante, piedra cuarta para darle fijes, accesorios de PVC de dos pulgadas para facilitar la instalación y el flujo de agua.



Retención de hierro y manganeso en el filtro de esponja



Purga de lodos antes de instalar el filtro de esponja

Se instaló un depósito para sedimentar sólidos entre el tramo de tubería que conduce el agua del tanque aireador-sedimentador hacia el filtro lento de arena, con el objeto de ayudar a la remoción de hierro y manganeso que se deposita en la tubería y retenerlo antes de llegar al filtro de arena, se utilizo un tanque plástico 450 l, accesorios de PVC, construcción de broquel de 1.2 m³ y se fundió con concreto el tanque para darle soporte, se instalando las válvulas de entrada y de salida para darle mantenimiento



Purga de lodos después de instalar el filtro de esponja



Filtro lento arena sin mantenimiento

Después de funcionar por dos años el sistema de agua, se realizo el lavado del filtro lento de arena, con el fin de remover los sólidos de hierro y manganeso retenidos en el lecho filtrante, para desarrollar esta labor se vació completamente el agua del filtro para extraer la arena, grava y piedra, y la tubería, se lavo con abundante agua hasta observarla limpia, se armo nuevamente el filtro agregando primero capa de piedra, grava, arena, se instalo una capa de esponja de dos pulgadas para evitar el rompimiento vertical de los sólidos retenidos y se agrego 30 cm mas de arena para darle soporte a la esponja.



Filtro lento arena después de las mejoras