

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS



**ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA DE UNA
PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE
TRATAMIENTO PARA LA POTABILIZACIÓN DEL
AGUA DE POZO QUE ABASTECE AL CANTÓN LOS
MENJÍVAR EN SAN FRANCISCO LEMPA,
CHALATENANGO**

PRESENTADO POR:
CELESTE ALEJANDRINA AGUILAR HERRERA
JACKELINE VICTORIA BURGOS BURGOS
KATIA LISSETTE HERNÁNDEZ PALACIOS

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERA QUÍMICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, MARZO DE 2020

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

MSc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL:

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO:

PhD. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA

SECRETARIO:

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS

DIRECTORA:

INGA. SARA ELISABETH ORELLANA BERRIOS

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA E INGENIERÍA DE ALIMENTOS

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERA QÚMICO

Título:

**ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA DE UNA PROPUESTA DE
DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LA
POTABILIZACIÓN DEL AGUA DE POZO QUE ABASTECE AL CANTÓN
LOS MENJÍVAR EN SAN FRANCISCO LEMPA, CHALATENANGO**

Presentado por:

**CELESTE ALEJANDRINA AGUILAR HERRERA
JACKELINE VICTORIA BURGOS BURGOS
KATIA LISSETTE HERNÁNDEZ PALACIOS**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

ING. JUAN RODOLFO RAMÍREZ GUZMÁN

San Salvador, marzo 2020

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

ING. JUAN RODOLFO RAMÍREZ GUZMÁN

AGRADECIMIENTOS

A Dios Todopoderoso por habernos permitido culminar esta etapa de nuestra vida, guiarnos durante todo este camino de nuestra formación profesional y por su misericordia infinita al ayudarnos a superar cada dificultad presentada en esta etapa.

A nuestros padres por ser pilares fundamentales en nuestra vida y durante todo este proceso, por apoyarnos y animarnos a seguir adelante, y por darnos la oportunidad de prepararnos profesionalmente por medio de sus sacrificios.

A Ing. Juan Ramírez por brindarnos asesoría en nuestro trabajo de graduación, por su paciencia, apoyo incondicional y por transmitirnos sus conocimientos que fueron un gran aporte a nuestra investigación. También agradecemos sus consejos y sus palabras de aliento para motivarnos a seguir adelante con este proceso.

A Lic. Benjamín Ardon, alcalde del municipio de San Francisco Lempa, Chalatenango, por habernos brindado información relevante para nuestro trabajo de graduación y por todas las facilidades brindadas para llevar a cabo la investigación.

A Ing. Fernando Ramírez, Inga. Ana Cecilia Díaz de Flamenco e Inga. Eugenia Gamero por su orientación y apoyo, por transmitirnos sus conocimientos y experiencias para la realización de este trabajo, así mismo por su paciencia, motivación y el tiempo que nos brindaron en cada consulta durante el desarrollo de nuestra investigación.

A los docentes de la Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos de la Universidad de El Salvador, por haber formado parte de nuestra formación académica, por su tiempo, dedicación y por transmitirnos todos los conocimientos que sin duda alguna nos han ayudado a llevar a cabo esta investigación. Extendemos nuestros agradecimientos a Dorita, por siempre recibirnos muy amablemente en la escuela.

A Lic. Víctor Manuel Segura Lemus por su enorme aporte realizado a nuestro trabajo de graduación, al transmitirnos sus valiosos conocimientos, y ayudarnos a comprender y solventar nuestras dudas para llevar a cabo la parte experimental de nuestra investigación.

DEDICATORIA

Porque cada victoria, cada meta concretada siempre está acompañada de un elemento esencial; el apoyo de todas aquellas personas que, estando junto a nosotros a lo largo del camino, fueron participes en la lucha para poder superar las dificultades que conlleva todo proceso. Por esto quiero agradecer a todas aquellas personas que me ayudaron a lo largo de mi carrera:

A Dios, por estar presente en cada momento, por guiarme y ayudarme a corregir aquellas decisiones equivocadas a lo largo de este trayecto, y poder así culminarlo. Por su amor, por proveer la fortaleza en los momentos difíciles, y por poner cerca de mí a todas las personas que me ayudaron y apoyaron en el momento que necesite.

A mis Padres, Erfidio Aguilar y Arely Herrera de Aguilar, a quienes agradezco infinitamente por el apoyo incondicional, por todo el esfuerzo que realizaron para darme la oportunidad de prepararme profesionalmente, por educarme con los principios y valores que hoy me ayudan a esforzarme para ser una persona de bien.

A mi hermano, Ismael Aguilar, quien ha sido mi compañero de batallas, quien ha estado a mi lado incondicionalmente.

A todos y cada uno de mis familiares que siempre me brindaron su apoyo y me ayudaron en muchas formas. A quienes amo y llevo en mi corazón.

A cada uno de mis compañeros y amigos, con quienes compartí momentos buenos y no tan buenos, de quienes siempre recibí apoyo para continuar.

A cada uno de los docentes que fueron parte de mi preparación, entre ellos, agradecer mucho a quien fue nuestro asesor en este trabajo de graduación.

A mis compañeras, Victoria Burgos y Katia Hernández por su esfuerzo y dedicación, con quienes compartí buenos momentos en el transcurso de esta última etapa de nuestra carrera.

A todas y cada una de las personas que ofrecieron su ayuda y apoyo, muchas gracias.

Celeste Alejandrina Aguilar Herrera

DEDICATORIA

Gracias a Dios por permitirme haber conseguido cumplir este propósito, por darme la oportunidad de estar con mi familia y compartir con ellos la vida.

Gracias a mis padres y mis dos hermanas mayores por todo el amor, la paciencia y el apoyo recibido a lo largo de toda mi vida y sobre todo en mi proceso de tesis.

Gracias a la Universidad de El Salvador por todos los conocimientos brindados y por la gran contribución que realizaron en mi formación como profesional.

Gracias a mis compañeras de tesis porque aun con las dificultades vividas, los desacuerdos, y el cansancio siempre logramos coordinarnos para manejar la información requerida en las actividades realizadas, gracias por todo ese tiempo compartido y por la oportunidad de conocer a dos grandes personas.

Gracias a mi asesor y a los catedráticos de la Escuela de Ingeniera Química e Alimentos por haber compartido conmigo sus conocimientos, y por todos los aportes brindados en el proceso, que se ven reflejados en la finalización de mi proyecto de tesis.

Gracias a mis amigas que estuvieron presentes durante todo el proceso, por haberme brindado su ayuda siempre que la necesite y porque a su manera ayudaron a que disfrutara de muchos momentos.

Jackeline Victoria Burgos Burgos

DEDICATORIA

A *Dios* y a la *Santísima Virgen María*, por brindarme salud, fortaleza y la sabiduría necesaria para poder llegar hasta esta etapa de mi vida y culminar con mucho orgullo mis estudios universitarios.

A mis padres *Carlos Hernández* y *Gloria Palacios de Hernández*, por el enorme sacrificio que ambos han realizado para que yo pudiera llegar hasta donde estoy, y por ser unos excelentes padres. Este logro va dedicado especialmente a ellos.

A mis hermanas *Tania* y *Patricia Hernández*, porque han sido pilares fundamentales durante este trayecto, ya que siempre me han animado a seguir adelante demostrándome que puedo contar con ellas siempre.

A mi familia, en especial a mis tíos *Erick* y *Verónica Palacios*, y a mis abuelos *Julio Palacios* y *Sebastiana Romero de Palacios*, por el apoyo incondicional que siempre he recibido por parte de ellos al mostrarse orgullosos con cada logro de mi vida.

A mis compañeros y amigos, en especial a mi mejor amiga *Lorena Benavides*, por apoyarme y estar pendiente de mí a pesar de la distancia y por todo su afecto y amistad incondicional en toda esta etapa de mi vida.

A mis maestros de la *Universidad de El Salvador* por haber sido parte fundamental de mi formación académica y transmitirme sus conocimientos.

A *Elizabeth Alvarenga* por abrirme las puertas de su casa cada vez que lo necesite para poder asistir a mis clases en la universidad.

A *Ing. Eduardo Blandon* y su hija *Beatriz Blandon*, por apoyarme y brindarme su ayuda en la realización de la parte experimental de mi trabajo de graduación.

A mis compañeras de trabajo de graduación *Celeste Aguilar* y *Victoria Burgos*, por compartir conmigo este logro y a todas las personas que han estado pendiente de mí y que de alguna u otra forma me han hecho sentir su apoyo durante todo este proceso.

Katia Lissette Hernández Palacios

RESUMEN

En el cantón Los Menjívar del municipio de San Francisco Lempa, Chalatenango, se ubica un pozo que fue construido por la Alcaldía Municipal del lugar, hace aproximadamente cuatro años, el cual abastece de agua a toda la comunidad. Desde el momento en que el pozo comenzó a funcionar se observaron características inusuales en el agua que abastece al cantón, ya que presentaba un color marrón y formaba incrustaciones en las tuberías y pilas de almacenamiento. La alcaldía municipal del lugar colocó columnas de adsorción de resina catiónica para la remoción de posibles contaminantes en el agua, siendo desinfectada, posteriormente, con cloro líquido antes de ser distribuida para su consumo. Tales medidas de corrección solo duraron alrededor de tres meses, luego de ello el agua presentó nuevamente el mismo problema. Esta situación provoca que los habitantes del lugar eviten consumir el agua proveniente del pozo en estudio, viéndose obligados a adquirir agua potable por otros medios para satisfacer sus necesidades, y de esta forma evitar los posibles efectos perjudiciales que puedan producirse en su salud a raíz del consumo del agua contaminada.

En el presente estudio, se llevó a cabo una caracterización fisicoquímica y microbiológica al agua de pozo del cantón, para conocer los contaminantes contenidos en ella. Los resultados obtenidos demostraron que el agua de pozo contiene concentraciones de hierro, manganeso y plomo por encima de los límites máximos permisibles por la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08 para agua potable, y además también presenta valores superiores a estos límites de bacterias coliformes totales y bacterias coliformes fecales o termotolerantes.

En base a estos resultados se hizo una revisión bibliográfica para hacer una adecuada selección de una metodología capaz de potabilizar el agua, es decir, disminuir las concentraciones de dichos contaminantes por debajo de los límites máximos permisibles por la norma.

El sistema de potabilización propuesto a nivel de laboratorio, consta de cuatro etapas. La primera etapa está compuesta por un tanque de contacto con agitación manual y capacidad de 4.38 L, en donde se lleva a cabo la pre-cloración con hipoclorito de calcio al 70 %, con el objetivo de oxidar el hierro y manganeso para facilitar su remoción. En la segunda etapa, se lleva a cabo un proceso de filtración-adsorción, mediante un recipiente de 24.5 x 11 cm que contiene capas de grava y Greensand Plus, en la cual se filtran las partículas de hierro y manganeso pre-oxidadas y el resto son removidas mediante el proceso de adsorción. En la tercera etapa se tiene un recipiente con las mismas dimensiones que el anterior, a diferencia que este contiene capas de grava y carbón activado granular obtenido a partir de cáscara de coco, el cual tiene la capacidad de remover plomo mediante el proceso de adsorción. Finalmente, se tiene otro tanque de contacto con las mismas características del primero, para llevar a cabo la post-cloración y estabilización del pH.

Se llevó a cabo un experimento preliminar por triplicado, con el motivo de conocer la eficiencia del sistema de potabilización propuesto del cual se obtuvieron porcentajes de remoción de 92.5 % para el hierro, 74.14 % para el manganeso y 72.73 % para el plomo. A partir de estos resultados, se procedió a diseñar el experimento, en donde se dividió el sistema en dos subsistemas, el primero compuesto de las etapas 1 y 2 para remoción de hierro y manganeso, y el segundo de la etapa 3 para remoción de plomo. Para el primer subsistema se seleccionó el diseño experimental del tipo 2³ en donde se establecieron el caudal, altura de lecho y oxidación previa como los factores que intervienen en el sistema, y en el segundo subsistema se establecieron caudal y altura de lecho en un diseño experimental del tipo 2². Luego, a partir de los resultados obtenidos en el diseño experimental se procedió a optimizar el sistema en donde se obtuvieron porcentajes de remoción de 85.14 % para el hierro, 36.36 % para el manganeso y 49.80 % para el plomo, por lo que se propusieron mejoras al sistema para obtener resultados deseados conforme a la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08 para agua potable.

INDICE DE CONTENIDOS

INDICE DE FIGURAS	xiv
INDICE DE TABLAS	xvi
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	3
OBJETIVOS	7
CAPITULO I. DESCRIPCIÓN Y UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.	8
1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA ZONA DE ESTUDIO	8
1.2 DATOS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO	9
1.2.1 Antecedentes históricos del municipio	10
1.2.2 División política-administrativa	10
1.2.3 Características sociales y económicas del cantón Los Menjívar	11
1.3 ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DE LA ZONA DE ESTUDIO	11
1.3.1 Hidrología	12
1.3.1.1 Características de la cuenca hidrográfica	12
1.3.1.2 Clima	12
1.3.1.3 Temperatura	12
1.3.1.4 Evapotranspiración	13
1.3.2 Geología	13
1.3.2.1 Geomorfología	13
1.3.2.2 Geología superficial	14
1.3.2.3 Estratigrafía	14
1.3.3 Hidrogeología	15
1.3.3.1 Formaciones diferenciadas	15
1.3.3.2 Inventario de puntos de agua	16
1.3.3.3 Características hidráulicas del acuífero	17
1.3.4 Balance hidrológico	19
1.4 DATOS GENERALES DEL POZO EN ESTUDIO	20

1.4.1	Ubicación geográfica del pozo	20
1.4.2	Aforo y análisis hidráulico del pozo	20
1.4.1.1	Descripción y diseño de columna litológica del pozo	22
CAPITULO II. CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO.		24
2.1	FUENTES NATURALES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA	25
2.2	AGUAS SUBTERRÁNEAS	25
2.2.1	Características físicas y químicas de las aguas subterráneas	27
2.2.2	Fuentes de contaminación de las aguas subterráneas	30
2.3	POSIBLES FUENTES DE CONTAMINACIÓN EN EL AGUA DEL POZO DEL CANTÓN LOS MENJÍVAR	33
2.4	PROBLEMÁTICA GENERAL DE LA CONTAMINACIÓN DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN EL SALVADOR	34
2.5	EFFECTOS PERJUDICIALES A LA SALUD POR LA INGESTA DE AGUA CONTAMINADA	35
2.5.1	Aspectos microbiológicos	36
2.5.2	Aspectos químicos	36
2.6	LEYES, REGLAMENTOS Y NORMAS QUE REGULAN LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN EL SALVADOR	37
2.6.1	Regulaciones de la calidad del agua en El Salvador	38
2.6.2	Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08	39
2.6.2.1	Requisitos de Calidad Microbiológicos	40
2.6.2.2	Requisitos de Calidad Físico-químicos	40
2.6.2.3	Vigilancia y verificación	42
CAPITULO III. TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO Y DESINFECCIÓN DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO PROVENIENTES DE POZOS.		43
3.1	PROTECCIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS	44

3.2 PRINCIPALES TECNOLOGÍAS EMPLEADAS EN EL TRATAMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO	44
3.2.1 Filtración	45
3.2.2 Desinfección	45
3.2.2.1 Desinfección con cloro	45
3.2.2.2 Desinfección con ozono	46
3.2.3 Radiación ultravioleta	46
3.2.4 Estabilización	46
3.3 TRATAMIENTO DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS E INORGÁNICOS	46
3.3.1 Oxidación	47
3.3.2 Tratamiento por métodos de adsorción	47
3.3.2.1 Intercambio iónico	47
3.3.2.2 Desmineralización	48
3.3.2.3 Proceso de membrana	48
3.4 TECNOLOGÍAS EMPLEADAS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS PARA CONSUMO HUMANO EN FUNCIÓN DE SUS POSIBLES CONTAMINANTES	49
3.4.1 Eliminación de hierro y manganeso	49
3.4.1.1 Precipitación química	49
3.4.1.2 Sustancias Químicas Oxidantes	50
3.4.1.3 Oxidación Biológica	53
3.4.1.4 Intercambiadores	53
3.4.1.5 Adsorción en medios acondicionados	54
3.4.1.6 Procesos Secuestrantes	54
3.4.2 Eliminación de metales pesados	54
3.4.2.1 Coagulantes	54
3.4.2.2 Carbón activo en polvo	55
3.4.2.3 Filtración a través de arena	55
3.4.2.4 Filtración a través de carbón activo en grano	55

CAPITULO IV. DISEÑO DE EXPERIMENTOS PARA REMOVER CONTAMINANTES EN AGUAS DE POZO.	56
4.1 METODOLOGIA ESTÁNDAR PARA LA TOMA Y PRESERVACIÓN DE LA MUESTRA	57
4.1.1 Ubicación del punto de muestreo	57
4.1.2 Tiempo y frecuencia del muestro	57
4.1.3 Volumen de muestras	58
4.1.4 Selección de envases	58
4.1.5 Procedimiento de recolección	59
4.1.6 Transporte, preservación y conservación de las muestras	60
4.2 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA DEL POZO EN ESTUDIO	61
4.3 METODOLOGÍA PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA DE POZO	65
4.3.1 Prueba preliminar del sistema de potabilización	65
4.3.1.1 Montaje del sistema de potabilización preliminar	66
4.3.1.2 Determinación de la reducción de hierro, manganeso y plomo utilizando el sistema de potabilización preliminar.	67
4.4 DISEÑO FACTORIAL TIPO 2^k	70
4.4.1 Procedimiento experimental para la determinación de la influencia de los efectos sobre la variable respuesta	73
4.4.2 Resultados obtenidos en el procedimiento experimental para la determinación de influencia de los efectos en la variable respuesta	75
4.4.2.1 Resultados obtenidos en el procedimiento experimental para remover hierro y manganeso	75
4.4.2.2 Resultados obtenidos en el procedimiento experimental para remover plomo	80
4.5 OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE POTABILIZACIÓN	84
4.6 EXPERIMENTO ÓPTIMO	86
4.6.1 Montaje experimental del sistema de potabilización	86
4.6.2 Determinación de la reducción de hierro, manganeso y plomo utilizando el sistema de potabilización óptimo	89

CAPITULO V. PROPUESTA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA POTABILIZAR AGUAS DE POZO.	92
5.1 PROPUESTA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA POTABILIZAR EL AGUA DEL POZO DEL CANTÓN LOS MENJÍVAR	94
5.1.1 Descripción del proceso de tratamiento experimental	94
5.1.2 Caracterización de materias primas	95
5.1.2.1 Greensand Plus	95
5.1.2.2 Carbón activado	97
5.1.2.3 Grava	100
5.1.2.4 Hipoclorito de Calcio	101
5.1.3 Diseño del sistema de tratamiento	102
5.1.3.1 Montaje del sistema de tratamiento	103
5.1.4 Mantenimiento del sistema de tratamiento	105
5.1.4.1 Greensand Plus	107
5.1.4.2 Carbón activado	108
5.2 MEJORAS PROPUESTAS AL SISTEMA EXPERIMENTAL	110
CAPITULO VI. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.	115
6.1 DISEÑO EXPERIMENTAL PRELIMINAR	115
6.2 DISEÑO DE EXPERIMENTOS Y OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA	116
6.2.1 Optimización del sistema de remoción de hierro y manganeso	116
6.2.2 Optimización del sistema de remoción de plomo	119
6.2.3 Caracterización final del agua de pozo tratada con el sistema de potabilización operando a condiciones óptimas	121
CONCLUSIONES	124
RECOMENDACIONES	127
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	129

ANEXOS	133
Anexo 1. Resultado de análisis fisicoquímico, muestra de agua de pozo del municipio de San Francisco Lempa en Chalatenango, realizado por ESPINSA, mayo 2003.	134
Anexo 2. Cálculos del posible radio de influencia del pozo Los Menjívar, San Francisco Lempa, Chalatenango.	136
Anexo 3. Cálculos del posible radio de captura del pozo Los Menjívar, San Francisco Lempa, Chalatenango.	137
Anexo 4. Medidas de protección de los acuíferos contra la contaminación en general (EPA, 1990).	138
Anexo 5 Resultados de análisis fisicoquímicos y microbiológicos en agua de pozo del cantón Los Menjívar, San Francisco Lempa, Chalatenango. Laboratorio fisicoquímico de aguas-Laboratorio de calidad microbiológica de aguas, Facultad de Química y Farmacia, Universidad de El Salvador.	142
Anexo 6. Manual de Prácticas de Laboratorio.	145
Anexo 7. Cálculos de la dosificación de hipoclorito de calcio 70 % a utilizar en el proceso experimental.	154
Anexo 8. Resultado de análisis fisicoquímico de prueba preliminar, Laboratorio Fisicoquímico de Aguas, Facultad de Química y Farmacia, Universidad de El Salvador.	159
Anexo 9. Localización de fuentes contaminantes por rubro a nivel municipal en la cuenca alta del río Lempa, que aportan desechos que contienen Cr, Cu, Zn, Hg y Pb, hasta el año 2004. (Cuadra y García, 2006).	162
Anexo 10. Resultados de análisis fisicoquímicos y bacteriológicos del agua de los pozos perforados (El Plan, Los Menjívar y Manantial El Tekal) en octubre del 2018, Laboratorio de Calidad de Agua de ANDA.	163
Anexo 11. Primeros diez municipios con iguales o mayores tasas de mortalidad por cáncer acumulada en la población igual o mayor de 20 años en El Salvador, período 2011-2015. (MINSAL, 2017).	165

Anexo 12. Primeros diez municipios con mayores tasas de mortalidad por enfermedad renal crónica acumulada en la población igual o mayor de 20 años de El Salvador, período 2011-2015. (MINSAL, 2017).	166
Anexo 13. Resultado de análisis de Nitratos en el agua proveniente del pozo El Tekal de San Francisco Lempa, en el mes de noviembre de 2019. Laboratorio Fisicoquímico de Aguas, Facultad de Química y Farmacia, Universidad de El Salvador.	167
Anexo 14. Resultado del diseño experimental tipo 2 ^K para remoción de Fe, Mn y Pb, Laboratorio Fisicoquímico de Aguas, Facultad de Química y Farmacia, Universidad de El Salvador.	168
Anexo 15. Resultado de pruebas óptimas para remoción de Fe, Mn y Pb, Laboratorio Fisicoquímico de Aguas, Facultad de Química y Farmacia, Universidad de El Salvador.	177
Anexo 16. Resultado de la caracterización final del agua tratada en el sistema de potabilización propuesto a nivel de laboratorio. Laboratorio Fisicoquímico de Aguas, Facultad de Química y Farmacia, Universidad de El Salvador.	180
Anexo 17. Resultado de análisis de Fe, Mn y Pb del pozo del cantón Los Menjívar en el mes de noviembre de 2019, Laboratorio Fisicoquímico de Aguas, Facultad de Química y Farmacia, Universidad de El Salvador.	181
Anexo 18. Valores permitidos para el agua de riego y drenaje de calidad por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 1994.	182
Anexo 19. Tablas de dosificación de hipoclorito de sodio para desinfección de agua, dado por la organización panamericana de salud y la organización mundial, según la concentración y la cantidad de agua a manejar.	184

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Mapa de ubicación del cantón Los Menjívar dentro del municipio de San Francisco Lempa.	9
Figura 4.1	Fotografía de los envases de HDPE utilizados para la toma de muestras de agua para los análisis fisicoquímicos.	59
Figura 4.2	Fotografía del frasco de polipropileno utilizado para la toma de la muestra para los análisis microbiológicos.	59
Figura 4.3	Esquema de la metodología utilizada en la fase experimental.	65
Figura 4.4	Segunda etapa del sistema de potabilización en prueba preliminar.	66
Figura 4.5	Tercera etapa del sistema de potabilización en prueba preliminar.	67
Figura 4.6	Montaje del sistema de remoción preliminar.	68
Figura 4.7	Toma de la muestra a la salida del tratamiento preliminar.	68
Figura 4.8	Bomba sumergible de 8 watts.	72
Figura 4.9	Tabla de Yates para realización de experimentos del modelo 2^k	73
Figura 4.10	Diagrama de Pareto de los efectos para las variables caudal, altura de Greensand Plus y oxidación previa del diseño 2^3 para la remoción de hierro y manganeso.	77
Figura 4.11	Gráfica normal de los efectos, para el diseño 2^3 de remoción de hierro y manganeso.	78
Figura 4.12	Gráfico de efectos principales para la reducción de hierro y manganeso.	80
Figura 4.13	Gráfico de Pareto del diseño 2^2 para la remoción de plomo.	82
Figura 4.14	Gráfica de efectos principales para la reducción de plomo.	83
Figura 4.15	Gráficos de optimización para la remoción de hierro y manganeso	85
Figura 4.16	Gráficos de optimización para la remoción de plomo	85
Figura 4.17	Primera etapa del sistema de potabilización en el experimento óptimo (Oxidación de Hierro y Manganeso con Hipoclorito de Calcio al 70 %).	87

Figura 4.18	Segunda etapa del sistema de potabilización en el experimento óptimo (Remoción de Hierro y Manganeso).	87
Figura 4.19	Tercera etapa del sistema de potabilización en el experimento óptimo (Remoción de Plomo).	88
Figura 4.20	Cuarta etapa del sistema de potabilización (Desinfección mediante cloración).	88
Figura 4.21	Sistema de potabilización de agua de pozo del cantón Los Menjívar a nivel de laboratorio en condiciones óptimas.	89
Figura 4.22	Recolección de muestras de 1 L de agua tratada en el sistema de potabilización del experimento óptimo, para su posterior análisis.	89
Figura 5.1	Planos de propuesta de sistema de potabilización de agua del pozo del cantón Los Menjívar a nivel de laboratorio.	106

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	División Política-Administrativa de San Francisco Lempa	11
Tabla 1.2	Distribución de la población del cantón Los Menjívar por grupos de edades en el año 2014	11
Tabla 1.3	Principales características de la zona donde se localiza el pozo Los Menjívar	12
Tabla 1.4	Temperatura mensual máxima en °C de la estación climatológica de Nueva Concepción	13
Tabla 1.5	Temperatura mensual mínima en °C de la estación climatológica de Nueva Concepción	13
Tabla 1.6	Valores mensuales de evapotranspiración pertenecientes a la estación climatológica de nueva concepción en mm/año	13
Tabla 1.7	Geología superficial del área de estudio	14
Tabla 1.8	Perfil litológico del pozo de Azacualpa	15
Tabla 1.9	Inventario de pozos perforados cerca del área de estudio	16
Tabla 1.10	Inventario de manantiales cerca del área de estudio	17
Tabla 1.11	Balance hidrológico de la zona de estudio	19
Tabla 1.12	Volúmenes hídricos del ciclo hidrológico de la zona de estudio	20
Tabla 1.13	Características Físicas del pozo Los Menjívar	21
Tabla 1.14	Coeficientes Hidráulicos	21
Tabla 1.15	Datos de aforo a caudal constante	21
Tabla 2.1	Características físicas más importantes del agua subterránea	27
Tabla 2.2	Características químicas más importantes del agua subterránea	28
Tabla 2.3	Causas fundamentales de contaminación del agua subterránea	32
Tabla 2.4	Efectos perjudiciales a la salud producidos por contaminación química en el agua para consumo humano	37
Tabla 2.5	Límites Máximos Permisibles para calidad microbiológica a evaluar en el pozo en estudio	40

Tabla 2.6	Límites permisibles de características físicas y organolépticas a evaluar en el pozo en estudio	40
Tabla 2.7	Valores para Sustancias Químicas a evaluar en el pozo en estudio	41
Tabla 2.8	Valores para sustancias químicas de tipo inorgánico de alto riesgo para la salud a evaluar en el pozo en estudio	41
Tabla 4.1	Parámetros microbiológicos medidos en el agua de pozo del cantón Los Menjívar determinados por el Laboratorio de Calidad Microbiológica de Aguas, Facultad de Química y Farmacia, Universidad de El Salvador.	62
Tabla 4.2	Parámetros fisicoquímicos medidos en el agua de pozo del cantón Los Menjívar determinados por el Laboratorio Fisicoquímico de Aguas, Facultad de Química y Farmacia, Universidad de El Salvador.	63
Tabla 4.3	Parámetros fisicoquímicos medidos en el agua de pozo del cantón Los Menjívar determinado con el medidor multiparámetros OAKTON 35618-Series.	63
Tabla 4.4	Resultados obtenidos en las muestras de agua tratada en la prueba preliminar	69
Tabla 4.5	Efectividad de remoción del sistema de tratamiento preliminar	69
Tabla 4.6	Valores máximos y mínimos asignados a los factores para el diseño experimental de remoción de hierro y manganeso	71
Tabla 4.7	Valores máximos y mínimos asignados a los factores para el diseño experimental de remoción de plomo	71
Tabla 4.8	Factores de ruido para ambos diseños experimentales de remoción	71
Tabla 4.9	Secuencia de experimentos para el diseño tipo 2^3 con los respectivos resultados alcanzados para la remoción de Hierro y Manganeso en el primer sistema	75
Tabla 4.10	Resumen de la estimación de los efectos del diseño 2^3 para la remoción de hierro y manganeso	77
Tabla 4.11	Análisis de varianza del experimento de la remoción de hierro y manganeso realizado como un diseño factorial 2^3	78

Tabla 4.12	Secuencia de experimentos para el diseño tipo 2^2 con los respectivos resultados alcanzados para la remoción de Plomo en el segundo sistema	80
Tabla 4.13	Resumen de la estimación de los efectos del diseño 2^2 para la remoción de plomo	81
Tabla 4.14	Análisis de varianza del experimento de la remoción de plomo realizado como un diseño factorial 2^2	82
Tabla 4.15	Condiciones óptimas obtenidas a partir de los análisis realizados en el diseño experimental	86
Tabla 4.16	Resultados obtenidos en las pruebas óptimas del sistema de potabilización	90
Tabla 4.17	Resultados obtenidos de la caracterización del agua tratada en la prueba final	90
Tabla 5.1	Características físicas de Greensand Plus	96
Tabla 5.2	Condiciones de operación de Greensand Plus	97
Tabla 5.3	Propiedades del carbón activado granular obtenido de la cáscara de coco	98
Tabla 5.4	Características de la Lignina, principal materia prima del mesocarpio de coco.	99
Tabla 5.5	Características físicas de las gravas	101
Tabla 5.6	Características físicas y químicas del Hipoclorito de Calcio	102
Tabla 5.7	Costo del sistema de potabilización	103
Tabla 5.8	Parámetros de operación del sistema de potabilización propuesto	105
Tabla 5.9	Propuesta de mejoras al sistema de potabilización	112
Tabla 6.1	Valores óptimos de los parámetros evaluados en el diseño experimental para la remoción de hierro y manganeso, en base a los resultados de remoción de hierro.	116
Tabla 6.2	Comparación de valores de concentración de Hierro, Manganeso y Plomo obtenidos en la primera y segunda caracterización en el agua de pozo sin tratar	118

Tabla 6.3	Resultado de remoción de hierro con el sistema operando a condiciones óptimas	118
Tabla 6.4	Resultado de remoción de manganeso con el sistema operando a condiciones óptimas	119
Tabla 6.5	Valores óptimos de los parámetros evaluados en el diseño experimental para la remoción de plomo.	120
Tabla 6.6	Resultado de remoción de plomo con el sistema operando a condiciones óptimas	120
Tabla 6.7	Comparación de resultados de la caracterización inicial realizada al agua sin tratar con la caracterización final realizada al agua tratada.	121
Tabla 6.8	Resultados de análisis realizados a muestras tratadas con el sistema experimental	122

INTRODUCCIÓN

El Salvador es uno de los países de América Latina con menor disponibilidad de agua por habitante, siendo el acceso al agua uno de los problemas más críticos que afectan la calidad de vida de los salvadoreños. Pese a esto, también se tienen problemas relacionados a la disponibilidad y calidad del agua. Según pronósticos del Banco Mundial con relación al balance hídrico, para el año 2030, El Salvador enfrentará un déficit hídrico, que desequilibraría el desarrollo económico y social del país. (FUNDE, 2006).

La calidad del agua de las fuentes naturales de abastecimiento en El Salvador se ve afectada por las diversas actividades que realizan los seres humanos, por lo que, según datos del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN, 2018), el 68% del agua del país contiene algún tipo de contaminación, encontrándose principalmente afectadas las fuentes de aguas superficiales. En cuanto al agua subterránea, el MARN realiza periódicamente mediciones de los parámetros fisicoquímicos y niveles estáticos en los acuíferos someros, ya que estos son los que presentan mayor vulnerabilidad intrínseca a la contaminación por su grado de exposición a las cargas parcialmente contaminantes.

Los habitantes de zonas rurales son los que se ven mayoritariamente afectados por los efectos perjudiciales producidos al consumir agua contaminada, ya que en estas zonas es más común el consumo de agua proveniente de pozos someros, en muchos casos, sin un adecuado control de su calidad, por lo que es muy importante asegurar un abastecimiento adecuado del agua destinada al consumo humano, que cumpla con los parámetros de calidad exigidos por las normativas de agua potable del país.

El estudio pretende evaluar la calidad del agua del pozo que abastece al cantón Los Menjívar, ubicado en el municipio de San Francisco Lempa departamento de Chalatenango, el cual fue perforado en el año 2014 con el fin de abastecer el servicio de agua potable del cantón, iniciando su funcionamiento el mismo año.

De acuerdo a los habitantes del lugar, desde que el pozo comenzó a funcionar, notaron en el agua características inusuales además de experimentar problemas relacionados con su salud por el consumo de la misma, por lo que han dejado de consumir esta agua viéndose en la necesidad de conseguirla por otros medios. El objetivo de este estudio es lograr, a nivel de laboratorio, la remoción de los posibles contaminantes del agua del pozo en estudio a valores permitidos por la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08. Para lograr este fin, se realizarán análisis fisicoquímicos y microbiológicos al agua del pozo para determinar los posibles contaminantes, y de esa forma seleccionar metodologías adecuadas de tratamiento y desinfección. Posteriormente se pretende proponer un sistema de potabilización a nivel de laboratorio que dé solución a dicho problema.

La investigación se llevará a cabo con el fin de solventar una problemática social que se está volviendo muy común en El Salvador, la cual es el consumo de agua contaminada. Por lo que, aplicando los conocimientos adquiridos durante la carrera, se pretende brindar alternativas de solución para mejorar la calidad del agua del pozo en estudio, que sea apta, ya sea para el consumo humano o para otros usos, de manera que se pueda aprovechar al máximo ese recurso sin que afecte la calidad de vida de las personas que habitan el lugar. De la misma forma se pretende que el estudio sirva de base para el diseño de sistemas de tratamiento destinados a mejorar la calidad del agua para consumo humano, en función de la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08 para agua potable, en diferentes zonas del país.

ANTECEDENTES

En el año 2003 se llevó a cabo la perforación y aforo de un pozo aproximadamente 500 metros al norte de la zona urbana, y 500 metros al oeste sobre la carretera que conduce a San Francisco Lempa, departamento de Chalatenango. Dicho pozo con profundidad de 125 metros aproximadamente se construyó con el propósito de abastecer a la población del municipio. Al finalizar la obra civil, se realizaron una serie de estudios para garantizar el buen funcionamiento del pozo y además se le realizó un análisis fisicoquímico estándar. Los resultados de los parámetros fisicoquímicos analizados fueron: pH de 7.1 (25.6 °C); Sólidos Totales Disueltos de 160.9 ppm; Dureza Total de 82.9 ppm CaCO₃; Hierro Total de 0.12 ppm; Manganeso Total de 0.1 ppm; Cloruros de 0.7 ppm; Sulfatos de 2.5 ppm; Plomo, Arsénico, Cromo y Color Verdadero no detectables; Nitratos de 6.3 ppm; Flúor de 0.18 ppm y Turbidez de 4.9 UNT. Por lo tanto, todos los parámetros a la fecha de los análisis se encontraban dentro de los rangos permisibles por la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08. (Alcaldía Municipal de San Francisco Lempa, 2003).

En el mes de abril del año 2014 el pozo construido en el 2003, que era el encargado de abastecer la demanda de agua potable tanto del sector urbano como del sector rural del municipio, se tuvo que profundizar alrededor de 24 metros para evitar su abatimiento en corto tiempo, y mejorar la eficiencia del equipo de bombeo. En vista de la escasez del servicio de agua potable que cada vez afectaba más al municipio, en junio del mismo año la alcaldía del municipio realizó una inspección en el lugar conocido como la Poza Azul ubicado aproximadamente a dos kilómetros al norte de San Francisco Lempa, con el propósito de buscar otra fuente adicional que produjera agua para suplir la demanda presente y también futura del municipio. Sin embargo, no se llevó a cabo ningún proyecto en ese lugar pues no se disponía de un análisis fisicoquímico del agua en ese momento y la práctica de un aforo podía resultar errónea al hacerlo ya en época lluviosa. (Alcaldía Municipal de San Francisco Lempa, 2014).

En el sitio de estudio se inició, en agosto del año 2014, un proyecto destinado al mejoramiento de agua potable, el cual consistía de forma general en emplazar un sistema propio de abastecimiento de agua potable independizado del sistema existente que hasta la fecha aún sirve a la zona urbana, que contaría con su propia fuente de extracción (pozo y equipo de bombeo), con un tanque local de almacenamiento y un reemplazo total de la red de distribución actual en ese entonces. Antes que se iniciara con la construcción civil del proyecto, el sistema de agua potable existente en el cantón, sólo era de distribución, pues no contaba con una fuente propia de abastecimiento, siendo dependiente del sistema central urbano de administración municipal, el cual se veía constantemente en dificultades para dar el servicio, teniendo que racionalizar entre lo urbano, barrios y el cantón Los Menjívar, así como teniendo que pagar cara alimentación energética para el funcionamiento de la bomba.

Por otra parte, dicha red de distribución estaba en condiciones de haberse deteriorado en sus partes, llegando a sobrepasar su vida útil; las constantes fallas implicaban incremento al costo de operación y mantenimiento, e incidía en deficiente servicio y costes de almacenamiento. Esto producía efectos perjudiciales en la salud, ya que al faltar el agua potable se potencia la proliferación de enfermedades de transmisión hídrica y vectores: parasitarias intestinales, diarreicas y gastroentéricas, que aumentan indicadores de la morbi-mortalidad en la comunidad, o al menos hay propensión a daños en desarrollo infantil tales como desnutriciones, anemias, parasitismo, etc. Otro punto importante a recalcar es que, en toda la zona del municipio y alrededores, la institución de ANDA, encargada de suministrar servicio de agua potable a nivel nacional, no cuenta con pozos ni con posibles proyectos de ampliación para esta zona de Chalatenango. Por lo tanto, con la construcción de un sistema propio e independiente del sistema del Casco Urbano, se pretendía mejorar notablemente el actual servicio racionado de agua potable, asegurando suministro tanto para el total de viviendas del cantón como beneficiando también a la población urbana al recuperar el volumen de agua que se había tenido que derivar racionalmente a éste; así se buscaba recuperar el recurso hídrico existente en el municipio, a su vez que se estaría ampliando con el nuevo pozo a perforar. (Alcaldía Municipal de San Francisco Lempa, 2014).

Sin embargo, casi inmediatamente de haber finalizado la construcción de la obra civil e iniciado su funcionamiento, los resultados no fueron los esperados, ya que según los habitantes del cantón, el consumir el agua de dicho pozo que los abastecía provocaba serios problemas en su salud; además el agua tenía una apariencia inusual en cuanto a su color marrón y las tuberías y pilas de almacenamiento presentaban incrustaciones del mismo color. Aproximadamente cuatro meses después de haberse puesto en marcha el nuevo sistema de abastecimiento, los habitantes del cantón hicieron una denuncia a las respectivas autoridades porque aseguraban que el agua del servicio potable proveniente del pozo estaba contaminada, y por lo tanto no era apta para el consumo humano, por lo que exigían que se le diera un tratamiento al agua proveniente del pozo o que se les restableciera el anterior servicio de agua potable.

Cabe mencionar que la metodología de tratamiento para potabilizar el agua que se está empleando hasta la fecha, es una solución de hipoclorito de sodio, y es inyectada mediante una caja hipocloradora. (Alcaldía Municipal de San Francisco Lempa, 2014). Después que los habitantes del cantón hicieron la respectiva denuncia, la Alcaldía Municipal de San Francisco Lempa instaló columnas de adsorción de resina catiónica para remover posibles contaminantes minerales en el agua y seguir desinfectándola, posteriormente, con cloro líquido antes de ser distribuida para su consumo, alternativa que no perduró por más de tres meses por no dársele seguimiento en cuanto a un mantenimiento adecuado. En ninguna de las metodologías de tratamiento antes mencionadas se le realizó un estudio al pozo para conocer la calidad tanto fisicoquímica como microbiológica del agua, para una correcta selección de tecnologías de tratamiento y desinfección de la misma.

La única referencia que se tuvo al momento de la planificación del proyecto de mejoramiento de agua potable en el lugar respecto a la calidad fisicoquímica de las aguas subterráneas en la zona, eran los resultados de un análisis fisicoquímico realizado en 1990 al agua del pozo del municipio de Azacualpa ubicado al noroeste de San Francisco Lempa, el cual fue tomado como el pozo perforado profundo más cercano al proyecto, por lo que se esperaba que la calidad del agua del cantón fuera parecida a la de dicho pozo.

Los resultados de los parámetros fisicoquímicos analizados en el pozo de Azacualpa fueron: pH de 8.08, Conductividad de 295 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$, Sólidos totales disueltos de 154 ppm, Temperatura de 38 °C, Turbiedad de 0.34 UNT, Cloruros de 2.5 ppm, Sulfatos de 7 ppm, Sílice de 93.91 ppm, Fluoruros de 0.13 ppm, Alcalinidad total de 150 ppm CaCO_3 , Dureza total de 52 ppm CaCO_3 , Calcio de 18.4 ppm y Magnesio de 1.46 ppm. La mayoría de los parámetros a la fecha de los análisis se encontraban dentro de los rangos permisibles para agua potable. (Alcaldía Municipal de San Francisco Lempa, 2014).

Por lo tanto, dicho problema relacionado con la calidad del agua del pozo en estudio sigue vigente hasta la fecha.

OBJETIVOS

Objetivo general

Proponer un sistema de tratamiento factible técnicamente para potabilizar el agua de pozo que abastece al cantón Los Menjívar del municipio de San Francisco Lempa en el departamento de Chalatenango.

Objetivos específicos

- a) Determinar las posibles fuentes de contaminación del agua del pozo localizado en el área de estudio.
- b) Evaluar la calidad del agua del pozo localizado en el sitio de estudio mediante el análisis de parámetros microbiológicos y fisicoquímicos, y comparar sus resultados con los valores permitidos por la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08.
- c) Seleccionar, a nivel de laboratorio, una metodología que permita remover de forma eficaz la contaminación que sea detectada en el agua del pozo en estudio, a valores permisibles por la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08.
- d) Proponer un sistema de tratamiento, a nivel de laboratorio, para potabilizar el agua del pozo en estudio, en base a la metodología seleccionada, y presentar el estudio de factibilidad técnica del mismo.

CAPITULO I. DESCRIPCIÓN Y UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.

De acuerdo con las cifras de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2018), en todo el mundo, al menos 2000 millones de personas se abastecen de una fuente de agua potable que está contaminada tanto química como microbiológicamente. El acceso a agua potable a nivel mundial es un problema de grandes magnitudes del cual el país no está exento.

En virtud de los antecedentes, se conoce que el pozo en estudio está ubicado en el cantón Los Menjívar, municipio de San Francisco Lempa, departamento de Chalatenango, el cual fue construido por la Alcaldía Municipal del lugar hace aproximadamente cuatro años. El agua suministrada por el pozo al cantón presenta indicios de contaminación, por lo que los habitantes del lugar se abstienen a consumirla, ya que no la consideran potable. A pesar de los esfuerzos realizados por la Alcaldía Municipal al instalar columnas de adsorción, el problema sigue vigente hasta la fecha, ya que no se le dio seguimiento al mantenimiento del equipo.

En este capítulo se presentan los datos generales tanto del cantón Los Menjívar como del municipio, con el fin de introducir este estudio con información de interés para luego profundizar en las causas del problema y las alternativas de solución del mismo. También se presenta el estudio hidrogeológico del pozo del cantón, y algunos datos de su construcción para conocimiento del lector.

1.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA ZONA DE ESTUDIO

San Francisco Lempa es un municipio perteneciente al departamento de Chalatenango, se encuentra ubicado hacia el nororiente aproximadamente a 105 km de la capital y a 12 km hacia el suroeste de la cabecera departamental de Chalatenango.

El municipio está limitado al norte y al oeste con la cabecera departamental, al noroeste con San Luis del Carmen, Chalatenango y Azacualpa, al sureste con San Luis del Carmen, al sur y suroeste con Suchitoto (véase Figura 1.1).

Sus coordenadas geográficas son: latitud 13°58' Norte, longitud 89°1' Oeste, y elevación de 240 m.s.n.m. Su extensión territorial es de 42.0 km². (Alcaldía Municipal de San Francisco Lempa, 2014).



Figura 1.1 Mapa de ubicación del cantón Los Menjívar dentro del municipio de San Francisco Lempa.

Fuente: FUNDAMUNI, 2003

El único sector de la zona rural lo conforma el cantón Los Menjívar, en donde se encuentra localizado el pozo en estudio, que corresponde a la parte sur poblada del municipio. Además, el municipio cuenta con una buena conectividad terrestre, contando con una calle que lo enlaza con San Miguel de Mercedes y Chalatenango. (Fundación de Apoyo a Municipios de El Salvador FUNDAMUNI, 2013).

1.2 DATOS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO

En esta sección se presentan algunas generalidades de la zona de estudio que ayudarán al lector a familiarizarse con la problemática expuesta en este estudio.

1.2.1 Antecedentes históricos del municipio

En el informe de Antecedentes y Factibilidad Técnica de la Alcaldía Municipal de San Francisco Lempa (2014), se da a conocer que el municipio se inició como aldea o cantón de San Francisco derivándose de la hacienda del mismo nombre a mediados del siglo XVIII. En 1807 perteneció al Partido de Chalatenango, pasando a formar parte del departamento de San Salvador, del 12 de junio de 1824 al 22 de mayo de 1835. Luego de tal período, desde esa última fecha hasta el 14 de febrero de 1855, fue de la jurisdicción del departamento de Cuscatlán, para terminar incorporándose al de Chalatenango.

A partir de marzo de 1864, figuró como pueblo; y por decreto legislativo el 8 de junio de 1928, alcanzó el título de villa, por haber adquirido notables mejoras, en su ornato, moral y en su estado económico; así como debido al notable incremento y desarrollo de su población.

Actualmente, conforme al Mapa de Pobreza de la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO-El Salvador), realizado con el objetivo de clasificar y ordenar los municipios según su condición de pobreza, y con base a las encuestas de la Dirección General de Estadística y Censos (DIGESTYC), San Francisco Lempa se clasifica en el lugar 68 en Pobreza Extrema Alta.

De acuerdo a un censo realizado por el Fondo de Inversión Social para el desarrollo Local (FISDL), bajo el Programa de Comunidades Solidarias Rurales en el año 2008, el municipio contaba con 850 habitantes distribuidos en 229 hogares. Para el último censo realizado en el año 2013, por la Unidad Comunitaria de Salud Familiar (UCSF) se cuantifican 964 habitantes en 330 hogares. De éstos el 25.5 % pertenece al área rural comprendida dentro del Cantón Los Menjívar.

1.2.2 División política-administrativa

En la Tabla 1.1 se presenta la división Política-Administrativa del municipio:

Tabla 1.1 División Política-Administrativa de San Francisco Lempa

Área urbana	Área rural
Barrio Santa Ana	Cantón Los Menjívar
Barrio El Centro	Cantón Los Zepeda
Barrio San Antonio	Caserío Los Menjívar
Barrio El Chile	Caserío Los Jiménez
Barrio San Francisco	-
Barrio Los Alas	-

Fuente: MARN, 1996.

Cabe mencionar que el cantón Los Zepeda fue inundado por la presa del Cerrón Grande, en el año 1976, donde hoy es el embalse Cerrón Grande, quedando fuera de la inundación el caserío los Jiménez. San Francisco Lempa perdió 3.5 km² de su territorio aproximadamente. (FUNDAMUNI, 2013).

1.2.3 Características sociales y económicas del cantón Los Menjívar

Según un estudio realizado por la Alcaldía Municipal de San Francisco Lempa, para el 2014 el cantón contaba con 232 habitantes, 115 mujeres y 117 hombres, y con 89 viviendas. En la Tabla 1.2 se presenta la distribución de los habitantes del cantón por edades:

Tabla 1.2 Distribución de la población del cantón Los Menjívar por grupos de edades en el año 2014

De 0 a 5 años	De 5 a 9 años	De 10 a 19 años	De 20 a 49 años	De 50 a 59 años	De 60 y más años
13	9	51	89	25	55

Fuente: Alcaldía Municipal SFL, 2014

1.3 ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DE LA ZONA DE ESTUDIO

En esta sección se presentan los resultados del estudio hidrogeológico de la zona de estudio realizado por la Alcaldía Municipal del lugar en el año 2014 con motivo de la construcción del pozo.

1.3.1 Hidrología

El sitio de interés presenta las siguientes características de carácter hidrológico:

1.3.1.1 Características de la cuenca hidrográfica

El área de estudio se encuentra delimitada en la parte media de la subcuenca hidrográfica de la quebrada Las Pilas, pero solo un porcentaje de ésta incide en el área del pozo del cantón, dicha subcuenca se encuentra entre las coordenadas geográficas siguientes: latitud norte: 315000 y 319000 y longitud oeste: 498000 y 503000.

Las características de la zona donde está ubicado el pozo se pueden observar en la Tabla 1.3. (Alcaldía Municipal SFL, 2014).

Tabla 1.3 Principales características de la zona donde se localiza el pozo Los Menjívar

Área	2.9 km ²
Perímetro	9.0 km
Elevación máxima	600 m.s.n.m.
Elevación mínima	245 m.s.n.m.
Pendiente media	10 %

Fuente: Alcaldía Municipal SFL, 2014

1.3.1.2 Clima

El pozo en estudio pertenece a una subcuenca hidrográfica que se localiza a una elevación promedio de 400 m.s.n.m., el área se clasifica como clima Sabanas Tropicales Calientes o Tierra Caliente. (Alcaldía Municipal SFL, 2014).

1.3.1.3 Temperatura

En cuanto a los valores de temperaturas, de acuerdo a resultados meteorológicos existentes en la cuenca de influencia del área de interés, la Alcaldía Municipal SFL (2014) muestra los siguientes máximos (véase Tabla 1.4) y mínimos (véase Tabla 1.5), pertenecientes a la temperatura mensual de la estación climatológica de Nueva Concepción (N.C.), que tiene un comportamiento similar al de la zona de interés:

Tabla 1.4 Temperatura mensual máxima en °C de la estación climatológica de Nueva Concepción

EST.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
N.C	33.3	34.2	36.0	36.1	34.3	31.9	32.4	32.4	31.7	32.0	32.4	32.9

Fuente: Alcaldía Municipal SFL, 2014

Tabla 1.5 Temperatura mensual mínima en °C de la estación climatológica de Nueva Concepción

EST.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
N.C	17.3	18.6	20.1	21.3	22.0	21.5	20.6	20.3	21.0	20.4	18.6	17.4

Fuente: Alcaldía Municipal SFL, 2014

1.3.1.4 Evapotranspiración

La evapotranspiración potencial anual del área que comprende al cantón alcanza valores de 1,901 mm/año. En la Tabla 1.6 se muestran los valores mensuales de evapotranspiración en mm/año, pertenecientes a la estación climatológica de Nueva Concepción (N.C.). (Alcaldía Municipal SFL, 2014).

Tabla 1.6 Valores mensuales de evapotranspiración pertenecientes a la estación climatológica de nueva concepción en mm/año

EST.	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
N.C.	152	153	186	190	182	157	160	159	144	143	136	139	1901

Fuente: Alcaldía Municipal SFL, 2014.

1.3.2 Geología

En cuanto a las características geológicas de la zona de interés se tiene lo siguiente:

1.3.2.1 Geomorfología

El área de interés se localiza sobre la unidad geomorfológica conocida como Montaña Nor-teña. La máxima altura en el área se ubica al noroeste en la zona denominada cerro La Ce-badilla y es de 617 m.s.n.m. A partir de este punto la topografía desciende hacia el suroeste. (Alcaldía Municipal SFL, 2014).

1.3.2.2 Geología superficial

Las formaciones que predominan en el área de estudio son: La formación Bálsamo y La Formación Cuscatlán, siendo la última la más antigua. Este tipo de formaciones son descritas en la Tabla 1.7.

Tabla 1.7 Geología superficial del área de estudio

Tipo	Descripción	Miembros geológicos	Área cubierta en la subcuenca
Formación Cuscatlán	Comprende el periodo Pleistoceno perteneciente a la era cuaternaria.	Piroclastitas ácidas, epiclastitas volcánicas.	10 %
Formación Bálsamo	Es la más antigua, aflora al norte del área de estudio y consiste en lavas básicas y tovas antiguas.	Efusivas básicas intermedias	10 %
		Efusivas básicas intermedias, piroclastitas, epiclastitas volcánicas.	80 %

Fuente: Alcaldía Municipal SFL, 2014.

1.3.2.3 Estratigrafía

En el estudio hidrogeológico del sitio de interés, para la estratigrafía, se tomó como base un pozo perforado en el municipio de Azacualpa, denominado “pozo 3”, cuya información se muestra en la Tabla 1.8.

Tabla 1.8 Perfil litológico del pozo de Azacualpa

Pozo 3 Azacualpa N 299350.0; W473700.0 Elevación: 460 m.s.n.m.	Profundidad (m)	
	Desde	Hasta
Sedimento Aluvional	0.00	3.05
Sedimento Aluvial Eluvial	3.05	78.05
Piroclásticos	78.05	86.89
Lava Basáltica	86.89	90.39

Fuente: Alcaldía Municipal SFL, 2014

1.3.3 Hidrogeología

En esta sección se presentan las siguientes características hidrogeológicas del sitio de interés:

1.3.3.1 Formaciones diferenciadas

La diferenciación de las unidades hidrogeológicas presentes en la zona está influenciada por las características hidráulicas (conductividad hidráulica) de los diferentes materiales que constituyen cada una de las formaciones geológicas identificadas. Por su antigüedad y consecuente descomposición, las rocas que conforman la formación geológica Bálamo, constituyen una unidad hidrogeológica de permeabilidad muy baja y puede considerarse en alguna parte del área de estudio como la unidad basal impermeable sobre la que descansan los sedimentos y rocas de las formaciones Cuscatlán.

Según el mapa hidrogeológico elaborado por la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANANDA), la unidad hidrogeológica que predomina en el área de estudio es la unidad de rocas no acuíferas. (Alcaldía Municipal SFL, 2014).

1.3.3.2 Inventario de puntos de agua

En la evaluación para el aprovechamiento del flujo subterráneo es de suma importancia conocer las características y propiedades del acuífero que se explotará, utilizándose para tal fin la información recopilada sobre los pozos perforados y excavados en el área cercana a la de estudio.

a. Pozos inventariados

De acuerdo al estudio hidrogeológico realizado por la Alcaldía Municipal del lugar (2014), no existen pozos excavados cerca del área de interés, por lo que se inventariaron dos pozos perforados, uno perteneciente al municipio de San Francisco Lempa denominado “Pozo 1” y el otro perteneciente al municipio de Azacualpa denominado “Pozo 3”, cuya información se presenta en la Tabla 1.9.

Tabla 1.9 Inventario de pozos perforados cerca del área de estudio

N°	Nombre	Ubicación		Elevación (msnm)	Profundidad (m)	Diámetro (Pulg.)	Nivel Est. (m)	Caudal Explot. (l/s)	Transmisividad (m ² /d)
		Norte	Este						
1	Pozo 1. San Francisco Lempa	317158	499364	310	121.95	8	70.12	N. D.	N. D.
2	Pozo 3. Azacualpa	322650	503514	293	90.39	14	14.48	18.92	241.55

Fuente: Alcaldía Municipal SFL, 2014

b. Manantiales

Con respecto a las fuentes superficiales, cerca del área de estudio, la Alcaldía Municipal ha inventariado los siguientes manantiales presentados en la Tabla 1.10:

Tabla 1.10 Inventario de manantiales cerca del área de estudio

N°	Nombre	Ubicación		Elevación (msnm)	Q (L/s)
		Este	Norte		
1	San Francisco Lempa M-1	500559	316833	360	0.75
2	San Francisco Lempa M-2	502176	316381	400	0.25

Fuente: Alcaldía Municipal SFL, 2014

1.3.3.3 Características hidráulicas del acuífero

La Alcaldía de San Francisco Lempa (2014) realizó una recopilación de información referente a las características de los pozos cercanos, que permitió conocer las propiedades del acuífero de la zona de estudio relacionándolos y esperando un comportamiento similar, debido a que pertenecen a un mismo sistema acuífero.

a. Profundidad del agua:

El nivel del agua encontrado en los pozos perforados corresponde a una sumatoria de condiciones que afectan al flujo subterráneo. Al nivel del agua encontrado en pozos profundos que, como en esta ocasión, no corresponde con el nivel de pozos excavados, se le llama nivel piezométrico. Se estima que, por los niveles encontrados en pozos perforados en la misma formación geológica, el agua subterránea se localiza entre 60 y 80 metros de profundidad.

b. Movimiento del agua subterránea:

El agua subterránea se mueve gravitacionalmente desde las zonas de recarga hacia las de descarga, principalmente siguiendo el curso de las quebradas. En el caso del municipio de San Francisco Lempa la dirección del flujo está definida por el fracturamiento existente en el área de estudio, por tal razón la dirección del flujo podría ser hacia el suroeste.

c. Coeficiente de almacenamiento:

El coeficiente de almacenamiento de un acuífero es el volumen de agua que cede o toma por unidad de área (planta) cuando la carga piezométrica se abate o se recupera una unidad. El valor de este coeficiente corrobora el tipo de acuífero a explotar, ya que nos indica si el acuífero es libre o confinado.

No se cuenta con información de pruebas de bombeo en la zona, la alcaldía del municipio analizó para ello los resultados de la columna estratigráfica, que indicaron que en la zona el tipo de acuífero que existe es del tipo semiconfinado.

d. Coeficiente de Transmisividad:

La transmisividad (T) se define como la cantidad de flujo que fluye a través de una sección transversal cuya altura es igual al espesor de la zona saturada y el ancho es unitario.

Según resultados de la prueba de bombeo del pozo N° 3 Azacualpa, el valor de transmisividad del acuífero en esa zona es de $241.55 \text{ m}^2/\text{día}$, este valor de transmisividad se puede asociar con materiales que presentan una porosidad secundaria.

e. Posible radio de influencia del pozo:

El radio de influencia de un pozo representa el área que se verá afectada cuando el pozo entre en operación, las aguas subterráneas experimentarán un descenso en su nivel que decrecerá desde el centro del pozo hasta alcanzar una distancia máxima en la cual el abatimiento experimentado será aproximadamente igual a cero. Al descenso provocado en otro pozo diferente al explotado se le conoce como interferencia. El radio de influencia estimado es de 212 metros, el cual fue calculado antes de la perforación del pozo, con el fin de dar marcha a la construcción del mismo para mejorar el servicio de agua potable en el cantón. Los cálculos de las estimaciones del radio de influencia del pozo se muestran en el Anexo 2.

f. Zona de captura del pozo proyectado:

De acuerdo al informe final de la construcción del pozo del sitio de interés (Alcaldía Municipal de San Francisco Lempa, 2014), para determinar la zona de captura del pozo proyectado se utilizó la metodología de zonificaciones de protección de fuentes de agua (ZOP), presentada en el año 2005, por el proyecto MARN-FORGAES. Se obtuvo un radio estimado de 415 metros, los cálculos se muestran detalladamente en el Anexo 3.

Cabe recalcar que no existen pozos propiedad de ANDA que se localicen dentro de la zona de captura del pozo en estudio y que pudieran ser afectados.

1.3.4 Balance hidrológico

Con la información detallada anteriormente la alcaldía municipal realizó un análisis del sistema hidrográfico de la zona de estudio, con el objeto de poder medir en forma tentativa el posible rendimiento de la cuenca y consecuentemente del pozo de explotación que se proyectaba perforar. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 1.11:

Tabla 1.11 Balance hidrológico de la zona de estudio

Parámetro	Cantidad
Precipitación media	1850 mm/año
E.T.P	1901 mm/año
Evapotranspiración Real	1189 mm/año
Escurrimiento superficial	380 mm/año
Infiltración	281 mm/año

Fuente: Alcaldía Municipal SFL, 2014

De lo anterior fueron determinados los volúmenes hídricos del ciclo hidrológico, considerando que el área de la cuenca hidrográfica es de 2.9 km² (véase Tabla 1.12):

Tabla 1.12 Volúmenes hídricos del ciclo hidrológico de la zona de estudio

Parámetro	Volumen
Precipitación	5,365,000.00 m ³ /año
Escorrentía superficial	1, 102,000.00 m ³ /año
Evapotranspiración Real	3,448,100.00 m ³ /año
Infiltración	814, 900.00 m ³ /año

Fuente: Alcaldía Municipal SFL, 2014

1.4 DATOS GENERALES DEL POZO EN ESTUDIO

Se presentan las siguientes generalidades del pozo de interés para conocimiento del lector:

1.4.1 Ubicación geográfica del pozo

El pozo se localiza en el cantón Los Menjívar aproximadamente 700 m al sur-poniente del casco urbano de San Francisco Lempa. Su ruta de acceso partiendo desde Chalatenango es sobre la carretera pavimentada hacia San Miguel de Mercedes, 3 km, luego se encuentra el casco urbano de Azacualpa a 9.10 km. Continúa hacia el sur poniente donde se localiza San Francisco Lempa aproximadamente a 12.5 km. Finalmente, el sitio del proyecto se localiza en el sector muelle del ferry La Luna, a unos 700 m sur poniente del casco urbano de San Francisco Lempa relativamente a orillas del embalse río Lempa-Cerrón Grande. (Alcaldía Municipal SFL, 2014).

1.4.2 Aforo y análisis hidráulico del pozo

Las características físicas e hidráulicas fueron evaluadas mediante pruebas de bombeo a caudal variable con un tiempo de duración de una hora por cada etapa y un aforo a caudal constante de 24 horas continuas. En las Tablas 1.13 y 1.14 respectivamente se muestran las características físicas e hidráulicas del pozo.

Tabla 1.13 Características Físicas del pozo Los Menjívar

Características Físicas	Valor
Profundidad	500 pies
Diámetro de revestimiento	8 pulgadas (PVC 250 PSI)
Posición de rejillas	280-300, 320-400 y 420-480 pies

Fuente: Alcaldía Municipal SFL, 2014

Tabla 1.14 Coeficientes Hidráulicos

Coeficiente hidráulico	Valor
Almacenamiento	8.161E-02, adimensional
Transmisividad	551.66 GPD/pie
Capacidad específica	0.354 GPM/pie
Inverso de la capacidad específica	2.824742 pie/GPM
Radio de influencia	27.44 m
Eficiencia	66.22 %

Fuente: Alcaldía Municipal SFL, 2014

Los coeficientes hidráulicos obtenidos corresponden a las variables utilizadas en la prueba de bombeo (véase Tabla 1.15), considerando que:

- a. El equipo de bombeo se instaló a 410 pies de profundidad.
- b. El nivel estático fue de 70 pies.
- c. La prueba se realizó a finales de temporada de invierno.

Tabla 1.15 Datos de aforo a caudal constante

Nivel estático	70 pies
Caudal	97 GPM
Altura piezométrica	3 pulgadas

Continúa

Tabla 1.15 Datos de aforo a caudal constante (continuación)

Nivel dinámico	344 pies
Tiempo	24 horas
Abatimiento máximo	274 pies
Capacidad específica (Ce)	0.354 GPM/pie
Inverso de Ce (Ce⁻¹)	2.824742 pie/GPM

Fuente: Alcaldía Municipal SFL, 2014

1.4.1.1 Descripción y diseño de columna litológica del pozo

De acuerdo al informe final de la construcción del pozo en estudio (Alcaldía Municipal SFL, 2014), la columna litológica se divide en las siguientes partes:

- a. **0' – 150' Zona arcillosa.** Espesor 150 pies. Color gris estructura compacta y textura elástica, consiste en una arcilla en descomposición seca con intercalaciones de fragmentos de piedras en estado de descomposición con una permeabilidad nula. Su mineralogía es pobre. La muestra de perforación es un barro grueso reseco con intercalaciones de piedras y de un periodo terciario mioceno.
- b. **150' – 180' Sedimento aluvional.** Espesor 30 pies. Color gris estructura suelta y textura clástica. Consiste en arena fina y en la parte baja un 20 % de incrustaciones de arcilla. Su mineralogía son plagioclasas y piritita con una permeabilidad media alta. La muestra de perforación es un grado redondeado con superficies antiguas y meteorizadas con tamaño que corresponde a arena fina.
- c. **180' - 280' Zona arcillosa.** Espesor 100 pies. Color gris oscuro, estructura compacta y textura elástica. Consiste en un barro grueso elástico del grupo de la smetita con intercalaciones de fragmentos de piedras, su permeabilidad es nula y son de épocas terciarias. La muestra de perforación es un barro grueso elástico con intercalaciones de piedras pequeñas.

- d. **290' Sedimento aluvional.** Espesor 20 pies. Color gris estructura suelta y textura clástica, consiste en arena fina con minerales primarios de plagioclasas, su permeabilidad es alta. La muestra de perforación es un grano redondeado del periodo terciario mioceno.

- e. **290' - 320' Zona arcillosa.** Espesor 30 pies. Color gris oscuro. Estructura semi-compacta y textura elástica. Consiste en un barro grueso con incrustaciones en un 10 % de arena fina con una permeabilidad baja de épocas terciarias. La muestra de perforación es un barro grueso elástico con intercalaciones de arena fina.

- f. **320' - 500' Sedimento aluvional.** Espesor 180 pies. Color gris a café, estructura suelta y textura clástica. Consiste en arena fina y mediana con minerales plagioclasas y en la parte media un 10 % de arcilla con una permeabilidad media alta de épocas terciarias.

CAPITULO II. CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO.

El agua es un recurso fundamental para el desarrollo sostenible y de la sociedad, ya que en sus actividades diarias entran en contacto directo con la misma. Por lo que, la calidad del agua es un factor determinante de las condiciones de vida y trabajo de una determinada región.

Ya que el agua es esencial para sustentar la vida, debe hacerse disponible un abastecimiento seguro y accesible a todos los seres humanos, mediante una correcta selección de una fuente natural de agua y, un posterior diseño y construcción de un sistema de abastecimiento de la misma a una determinada población. La gran mayoría de los problemas de salud relacionados con el agua son resultado de la contaminación microbiana por bacterias, virus, protozoarios, u otros agentes biológicos. Sin embargo, un número apreciable de consecuencias puede ocurrir como resultado de la contaminación química del agua para consumo humano. Por lo tanto, es indispensable que se lleve a cabo un adecuado análisis del agua destinada al consumo humano para evaluar su calidad microbiológica y fisicoquímica y hacer una adecuada selección de un sistema de tratamiento, comparando los resultados de los parámetros evaluados con los valores permitidos en cada región.

En este capítulo se describen las fuentes naturales de abastecimiento de agua existentes, haciendo énfasis en el agua subterránea, ya que es indispensable conocer sus características físicas y químicas, y además, sus posibles fuentes de contaminación. En base a esto, se presentan, posteriormente, las posibles fuentes de contaminación del agua del pozo que abastece al cantón Los Menjívar en San Francisco Lempa, Chalatenango, a partir de información proporcionada por la Alcaldía Municipal del lugar. Así mismo, se expone la situación actual del país en cuanto a la calidad del agua destinada al consumo humano, y las consecuencias a la salud que conlleva el consumir agua contaminada, ya sea fisicoquímica o microbiológicamente.

Por último, se presenta parte del contenido de la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08 para agua potable, vigente en el país, haciendo énfasis en los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos máximos permisibles que serán evaluados en la zona de estudio.

2.1 FUENTES NATURALES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

Las fuentes de abastecimiento más comunes son de aguas superficiales o subterráneas. Sin embargo, las aguas pluviales también pueden ser una fuente de agua de buena calidad a considerar, en caso de que no exista otra alternativa. (SER, 2008).

Es importante tomar en cuenta que para asegurar el abastecimiento de agua en cantidad suficiente a la población se debe realizar una adecuada selección, diseño y construcción de un sistema de abastecimiento, por lo que se consideran algunos factores, tales como ubicación, tipo, caudal, calidad del agua de la fuente de abastecimiento, entre otros. Además, es importante señalar que es imprescindible realizar análisis de calidad tanto fisicoquímica como microbiológica y evaluar los resultados con los valores de concentración máximos permisibles encontrados en guías de calidad de agua potable, tal como los establecidos por la OMS o por las normativas de cada país. Más adelante se presentan las normativas existentes en El Salvador que regulan la calidad del agua destinada al consumo humano.

Con el fin de profundizar en el objeto de este estudio, se hará énfasis en las fuentes de abastecimiento de aguas subterráneas, por lo que la siguiente sección está enfocada en el agua subterránea en lo concerniente a su composición y fuentes de contaminación.

2.2 AGUAS SUBTERRÁNEAS

El agua subterránea es el agua que se aloja y circula en el subsuelo, contenida dentro de formaciones geológicas llamadas acuíferos.

Su fuente de aporte principal procede de las precipitaciones, mediante el proceso de infiltración, pero también puede producirse a partir de escorrentía superficial o cursos superficiales de agua, tales como ríos, arroyos, lagos y lagunas. Otras fuentes de alimentación pueden ser los acuíferos próximos o retornos de ciertos usos, entre los que destacan los retornos de regadíos. (López, Fornés, Ramos González y Villarroya, 2009).

En cuanto a la distribución de las aguas subterráneas, Collazo y Montaña (2012), la describen de la siguiente manera:

Zona no saturada: Está situada entre la superficie del terreno y la superficie freática, sus poros y/o fisuras están ocupados por agua y aire. Esta zona se divide en:

a. Zona de evapotranspiración o zona edáfica:

Se extiende hasta donde llegan las raíces de la vegetación existente, por lo tanto, tiene espesor variable y se caracteriza por la variabilidad de los procesos fisicoquímicos y biológicos. Al existir abundante materia orgánica en esta sección, y por su fuerte actividad biológica vegetal y de microorganismos, que genera una alta producción de CO₂, contribuye a que la faja edáfica actúe como un eficiente filtro natural frente a posibles contaminantes, tales como: metales, plaguicidas, etc.

b. Zona intermedia:

Está comprendida entre el límite de ascenso capilar del agua y el límite de alcance de las raíces de las plantas.

c. Zona capilar:

Se encuentra desde la superficie freática hasta el límite de ascenso capilar del agua. Su espesor depende principalmente de la distribución del tamaño de los poros y de la homogeneidad del terreno.

Zona saturada: Está situada debajo de la superficie freática, y donde todos los poros y fisuras existentes en el terreno están llenos de agua.

El agua subterránea presenta características físicas, así como también sustancias químicas disueltas en la misma. Cuando éstas sobrepasan los valores máximos permisibles indican contaminación en el agua, proveniente de fuentes de contaminación de origen natural, o provocadas por actividades humanas.

2.2.1 Características físicas y químicas de las aguas subterráneas

Existe una mayor proporción de constituyentes disueltos en las aguas subterráneas que en las aguas superficiales, debido al mayor tiempo de contacto con materiales solubles en estratos geológicos. En áreas de recarga, tanto natural como artificial, la calidad del agua superficial infiltrada puede afectar en gran manera al agua subterránea.

Espinoza C. (2005) describe las características físicas y químicas más importantes del agua subterránea, de las cuales se describen las que serán evaluadas en este estudio (véase la Tabla 2.1 y Tabla 2.2):

Tabla 2.1 Características físicas más importantes del agua subterránea

Características	Descripción
Temperatura	Solo se ve afectada principalmente por las variaciones estacionales del calor recibido del sol y su transferencia en el interior de la tierra. Es considerablemente más baja que la temperatura media del aire durante la época seca.
Turbiedad	La turbiedad es una medida de la materia suspendida y coloidal, tal como arcilla, sedimentos, materia orgánica y organismos microscópicos. La unidad estándar de turbiedad es la unidad Jackson (UJT) o la nefelométrica (UNT), según el patrón que se use para medirla.
Olor y sabor	Puede derivar de bacterias, gases disueltos, materia mineral y fenoles.

Continúa

Tabla 2.1 Características físicas más importantes del agua subterránea (continuación)

Características	Descripción
Color	Generalmente, el color proviene de antigua vegetación o de materias orgánicas que se depositan dentro de las formaciones geológicas por las cuales fluye el agua, y aumenta a valores de pH alto. La determinación de color en un agua subterránea indica presencia de materiales orgánicos en el acuífero.

Fuente: Espinoza, 2005.

Tabla 2.2 Características químicas más importantes del agua subterránea

Características	Descripción
Dureza	Representa la concentración total del calcio (Ca) y magnesio (Mg), expresada como CaCO ₃ .
Conductividad Eléctrica (CE)	El agua presenta características conductoras cuando pequeñas cantidades de material disuelto se separan en iones positivos y negativos. A mayor número de iones presentes, mayor será la conductividad de la solución. Cuando las aguas subterráneas son muy diluidas, la conductividad específica varía directamente con la cantidad de minerales disueltos en el agua. La conductividad aumenta con la temperatura.
Plomo	En zonas donde las aguas son agresivas o ácidas, el uso de tuberías y accesorios, o de soldaduras de plomo puede dar lugar a altas concentraciones de plomo en el agua destinada al consumo humano.
Sulfato	El sulfato en aguas subterráneas se deriva principalmente del yeso o anhidrita (sulfato de calcio). También puede provenir de la oxidación de la piritita o sulfuro de hierro.

Continúa

Tabla 2.2 Características químicas más importantes del agua subterránea (continuación)

Características	Descripción
Concentración de Ion Hidrógeno o pH	En la mayoría de las aguas subterráneas el valor de pH es controlado por la cantidad de anhídrido carbónico, gas disuelto, y los carbonatos y bicarbonatos. Muestras de agua tomadas en un pozo no representan verdaderamente las características químicas del agua en el acuífero, por esto lo más recomendable es hacer las determinaciones de pH en el terreno mismo.
Sólidos Totales Disueltos	Los sólidos totales disueltos son una indicación general de la adecuación de un agua para determinado uso. Se determina por pesada del residuo seco remanente o sumando las concentraciones, determinadas separadamente, de todos los iones del agua.
Hierro	El hierro en aguas causa manchas en los artefactos sanitarios y ropas que se lavan, incrustaciones en las protecciones del pozo y obturación de tubos. El agua de pozo que contiene hierro en grandes cantidades puede ser completamente transparente e incolora cuando recién se ha bombeado, pero después de un tiempo, el contacto con el oxígeno del aire es suficiente para afectar la disolución del hierro y el agua comienza a enturbiarse y forma un depósito de polvo coloreado al fondo del envase.
Nitrato	El contenido de nitrato en aguas subterráneas es muy variable y en muchas ocasiones parece no estar relacionada con ninguna formación geológica. El alto contenido de nitrato en aguas de pozo puede deberse a flujo directo de agua superficial en el pozo, o a percolación de aguas contaminadas en el acuífero.

Continúa

**Tabla 2.2 Características químicas más importantes del agua subterránea
(continuación)**

Características	Descripción
Manganeso	Generalmente el manganeso está presente en aguas del mismo modo general que el hierro. Las manchas producidas por el manganeso son más perjudiciales y difíciles de remover que las causadas por el hierro. El bicarbonato de manganeso, se descompone de la misma manera que el bicarbonato ferroso, formando un depósito ligeramente negro cuando se libera CO ₂ del agua. La reacción química requiere oxígeno del aire.
Fluoruro	El fluoruro en general está presente sólo en pequeña concentración en el agua subterránea. Puede derivar de la fluorita, principal mineral fluorado de las rocas ígneas o de cualquiera de los compuestos de fluoruro. Los gases volcánicos y fumarolas pueden también contener fluoruro y en algunas áreas constituyen la fuente de fluoruro del agua.
Constituyentes Menores	Las aguas subterráneas pueden contener además otros minerales, pero generalmente estos no están presentes en cantidad significativa. Rutinariamente no se hace el análisis químico de metales trazas a menos que exista alguna circunstancia especial: condiciones geológicas, cambios notorios en el agua, derrame accidental de algún residuo que pueda infiltrarse a la reserva de agua subterránea, efectos notables en los cultivos, o investigación de nuevas fuentes de agua potable.

Fuente: Espinoza, 2005.

2.2.2 Fuentes de contaminación de las aguas subterráneas

Se entiende por contaminación del agua subterránea, la alteración de la calidad natural de la misma debida a la acción humana, que la hace total o parcialmente inutilizable para su consumo humano. Espinoza (2005) clasifica y describe tres aspectos importantes para distinguir las fuentes de contaminación de agua subterránea, de la siguiente manera:

- 1. Su localización**, la cual se divide en “puntual” o “no puntual”. Una fuente puntual se caracteriza por ser de pequeño tamaño y claramente identificable. Una fuente no puntual se caracteriza por tener un origen difuso de la contaminación.
- 2. La historia de la fuente**, la cual se refiere principalmente a como se ha modificado la tasa de producción del contaminante a través del tiempo. Ésta se clasifica en “continua” y “no continua”, dependiendo si el periodo de contaminación de la fuente es de forma instantánea o prolongada.
- 3. Los tipos de contaminantes que emana la fuente**, los cuales son muy difíciles de listar por ser una gran cantidad, por lo que se suele utilizar un enfoque que consiste en concentrarse en un grupo comúnmente encontrado en efluentes y fuentes de agua potable, y que produce efectos adversos sobre la salud o que persiste a través de la cadena alimenticia.

El deterioro de la calidad del agua subterránea se ve comúnmente afectado en gran manera por la contaminación provocada, ya sea directa o indirectamente, por las actividades humanas, por procesos naturales o lo que es más frecuente, por la acción combinada de ambos factores. Sánchez (2017) en su estudio sobre la hidrología superficial y subterránea encontró que las causas fundamentales de contaminación del agua subterránea se pueden agrupar de la manera siguiente (véase la Tabla 2.3):

A partir de esta información, se describen, en la siguiente sección, las posibles fuentes de contaminación del agua del pozo en estudio, según información recopilada por la Alcaldía Municipal de San Francisco Lempa.

Tabla 2.3 Causas fundamentales de contaminación del agua subterránea

Causas	Descripción
Residuos sólidos urbanos	Normalmente depositados en superficie. Alcanzan la superficie freática los líquidos procedentes de los propios residuos o el agua de lluvia infiltrada a través de ellos, que arrastra todo tipo de contaminantes orgánicos e inorgánicos.
Aguas residuales	Aportan diversas sustancias contaminantes: Detergentes, nitratos, bacterias, virus, y materia orgánica disuelta.
Actividades agrícolas	Muy difíciles de controlar al tratarse de contaminación difusa sobre grandes extensiones. Se dividen en: -Fertilizantes: Aportan al agua compuestos de nitrógeno, fósforo y potasio. -Plaguicidas: La persistencia oscila de una semana a varios años.
Ganadería	De los residuos de los animales proceden compuestos nitrogenados, fosfatos, bacterias, cloruros, y en algunos casos, metales pesados. Normalmente no ocasionan problemas importantes, salvo en el caso de grandes instalaciones.
Actividades industriales y mineras	Los casos más graves están relacionados con accidentes en balsas o estanques donde se depositaban los líquidos tóxicos. En el caso de las minas, puede producirse por las labores de tratamiento del mineral o por la infiltración de la lluvia a través de escombreras.
Actividades nucleares	En los reactores nucleares u otras industrias que utilicen combustible nuclear se producen residuos de baja actividad, y combustible usado, que son residuos de alta actividad, cuyo almacenamiento debe ser especialmente cuidadoso en lugares donde no exista flujo de agua subterránea.

Fuente: Sánchez, 2017.

2.3 POSIBLES FUENTES DE CONTAMINACIÓN EN EL AGUA DEL POZO DEL CANTÓN LOS MENJÍVAR

En un informe presentado por la Alcaldía Municipal de San Francisco Lempa (2013) se encuentran definidos algunos aspectos importantes que pueden ser causa de la contaminación del acuífero localizado en el área de estudio, los cuales son:

- a. En el cantón existe actividad agrícola, siendo los cultivos encontrados en el municipio normalmente de subsistencia. Esto se debe a que los suelos en la zona de estudio son de textura generalmente limosa y de fertilidad natural media a baja, los cuales permiten un uso restringido y con una productividad baja. Generalmente restringen su uso para vegetación permanente como bosques y praderas, requiriendo un manejo muy cuidadoso. Según datos recopilados por la Alcaldía Municipal de San Francisco Lempa (2013), existe carencia de terrenos para cultivar granos básicos en el cantón, por lo que es poco probable que la fuente de contaminación del agua del pozo ubicado en esta zona provenga de actividades agrícolas.
- b. En el municipio también existe actividad ganadera, pudiendo esto afectar la calidad de las aguas tanto superficiales como subterráneas del mismo municipio.
- c. Otro aspecto importante es que el cantón se encuentra aledaño al embalse Cerrón Grande, el cual es uno de los cuerpos de agua mayoritarios en el país y está fuertemente contaminado por la salida de aguas negras y grises del municipio, que puede repercutir en la contaminación del acuífero que abastece a la zona de estudio.
- d. Según datos hidrográficos relevantes del municipio, se puede mencionar que en la zona de estudio se encuentran dos quebradas de bajo caudal, una de ellas, de mayor relevancia para este estudio, es la Quebrada La Brígida, la cual está altamente contaminada con heces fecales y aguas negras provenientes del casco urbano.

Este es un aspecto muy importante, ya que según el estudio hidrogeológico del sitio de interés, el agua subterránea se mueve gravitacionalmente desde las zonas de recarga hacia las de descarga, siguiendo el curso de las quebradas. En este caso se conoce que la dirección del flujo es hacia el Suroeste, con altas probabilidades de que el acuífero que abastece al cantón esté conectado al acuífero perteneciente a dicha quebrada.

- e. Por último, según estudios realizados en la zona con motivo de evaluar la calidad del agua para la construcción del pozo en estudio, se informó que no existen, en el área, vertidos industriales que pudieran considerarse como fuente de contaminación.

2.4 PROBLEMÁTICA GENERAL DE LA CONTAMINACIÓN DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN EL SALVADOR

De acuerdo a un estudio realizado por el MARN (2016) con motivo de elaborar el Plan Nacional de Gestión Integrada del Recurso Hídrico de El Salvador, en donde se hizo énfasis en zonas prioritarias, se destacó que en las últimas décadas la contaminación de los cuerpos de agua se ha convertido en un problema grave para la población y los ecosistemas, ya que la disponibilidad de los recursos hídricos disminuye enormemente para las diferentes actividades de la población. El MARN dio a conocer un resumen del estado actual de las aguas superficiales y subterráneas de El Salvador a partir de información bibliográfica recopilada, basándose en los valores de referencia encontrados en la Norma Salvadoreña en materia de calidad de aguas y criterios internacionales para la realización de una adecuada valoración de las aguas.

Según esta información, la calidad de las aguas subterráneas, en su mayoría, presentan contaminación bacteriológica, siendo la más elevada la contaminación por coliformes fecales. Esta contaminación generalmente tiene su origen en las actividades domésticas y ganaderas, aunque también en las industrias cuya actividad se centra en los animales vivos y los productos del reino animal.

En este caso, el MARN recomienda que para destinar estas aguas al consumo humano deben ser sometidas previamente a un proceso de desinfección. Por otro lado, se detectó en buena parte de las aguas subterráneas del país concentraciones de algunos metales, tales como el hierro y el manganeso, que tienen comportamientos hidroquímicos parecidos y que su presencia elevada en las aguas subterráneas puede estar relacionada con un proceso de acidificación de las mismas con origen, generalmente, en contextos volcánicos, procesos mineros o tratamientos industriales.

Además, se detectaron concentraciones de sales, que al igual que los metales detectados, se encuentran por encima de los límites máximos permisibles establecidos por la Norma Salvadoreña Obligatoria: NSO.13.49.01:09, relativa al uso del recurso como agua potable.

También, en algunos pozos del país, sobre todo en los departamentos de La Libertad y San Miguel, se observó un exceso de nitratos, un químico orgánico de alto riesgo para la salud, por lo que el MARN recomendó evitar el consumo de estas aguas.

Por último, se identificaron zonas en alto riesgo de intrusión salina en el departamento de Ahuachapán, a partir de los parámetros de conductividad, sólidos totales disueltos y sales como los cloruros; por la alta probabilidad de encontrar agua salada en esta zona, el MARN recomendó evitar la explotación del acuífero profundo. (MARN, 2016).

2.5 EFECTOS PERJUDICIALES A LA SALUD POR LA INGESTA DE AGUA CONTAMINADA

En la mayoría de los países los principales riesgos para la salud humana asociados al consumo de agua contaminada son de índole microbiológica, aunque no se debe subestimar la importancia de la contaminación química. (OMS, 1998). En los siguientes apartados se describen con detalle los efectos adversos para la salud producidos por el consumo de agua que no cumple con los parámetros de calidad tanto fisicoquímica como microbiológica para agua potable.

2.5.1 Aspectos microbiológicos

El riesgo de contraer una infección transmitida por el agua aumenta con el nivel de contaminación con microorganismos patógenos. Esto depende en gran manera de factores tales como la dosis infecciosa y la susceptibilidad del huésped. A causa de esto, las mejoras en la calidad y la disponibilidad de agua, en la evacuación de las excretas, y en la higiene en general son factores importantes en la reducción de la morbilidad y la mortalidad por diarrea. La destrucción de los patógenos microbianos es indispensable y generalmente exige el empleo de agentes químicos reactivos como el cloro. El uso de desinfectantes químicos suele dar lugar a la formación de subproductos químicos, algunos de los cuales pueden ser peligrosos, pero los riesgos para la salud que presentan estos subproductos son sumamente pequeños en comparación con los inherentes a una desinfección insuficiente.

Es importante no comprometer la eficacia de la desinfección tratando de controlar estos subproductos. (OMS, 1998).

2.5.2 Aspectos químicos

Según la OMS (1998), en las zonas rurales de los países en desarrollo, un número considerable de problemas muy graves relacionados con la salud humana pueden ser resultado de la contaminación química de los recursos hídricos, esto se debe principalmente a que se emplean en exceso productos agroquímicos, por lo que existen concentraciones elevadas de plaguicidas en el agua, produciendo efectos potencialmente crónicos que aunque pueda ser difícil detectarlos en las poblaciones humanas, estos contaminantes pueden representar un riesgo para la salud. En la Tabla 2.4 se muestran los efectos perjudiciales más comunes causados por contaminación química en el agua para consumo humano.

Tabla 2.4 Efectos perjudiciales a la salud producidos por contaminación química en el agua para consumo humano

Sustancia química	Efecto en la salud
Plomo	Puede afectar al desarrollo mental de los niños.
Sulfato de magnesio y sulfato de sodio	Imparten un sabor amargo al agua que puede además actuar como laxante para personas no acostumbradas a beber este tipo de aguas, por lo que pueden experimentar diarrea y deshidratación.
Nitrato	Puede causar metahemoglobinemia en los lactantes.
Arsénico	Puede causar cáncer y lesiones cutáneas. También se ha asociado a problemas de desarrollo, enfermedades cardiovasculares, neurotoxicidad y diabetes. (Castro, 2006).
Flúor	En exceso produce la destrucción del esmalte dental y un conjunto de alteraciones de carácter endémico, que se agrupan bajo el nombre de fluorosis: deformación dental, manchas del esmalte dentario, descalcificación, mineralización de los tendones, molestias digestivas y nerviosas, etc.
Disolventes y metales pesados procedentes de las actividades de minería.	Producen toxicosis

Fuente: OMS, 1998.

2.6 LEYES, REGLAMENTOS Y NORMAS QUE REGULAN LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN EL SALVADOR

En los últimos años ha habido un avance en los sistemas de monitoreo de la calidad y suministro de agua en el país. En la actualidad, más de veinte instituciones diferentes combinan la gestión y la distribución del agua, incluida la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA), además existen alrededor de dos mil redes de agua administradas localmente para cubrir las brechas de servicios en las áreas rurales. (Gies, 2018).

Las normativas y reglamentos para la calidad del agua potable en el país establecen valores límites permisibles que deben cumplir tanto el agua destinada al consumo humano como las aguas residuales que son descargadas a los diferentes cuerpos receptores, para ser utilizados por estos entes municipales e instituciones públicas encargadas de velar por el servicio del agua en El Salvador.

En cuanto a la situación actual del servicio de agua del país, en el 2017 se presentó una propuesta en donde la Ley Integral del Agua propone una junta alternativa de cinco miembros con un representante del gobierno, dos del sector empresarial y dos de la asociación de municipios, con intención de privatizar la prestación de este servicio. (Gies, 2018).

En esta sección se describirán detalladamente los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos a evaluar en este estudio, en cuanto a sus valores máximos permisibles según la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08 para agua potable, con el fin de detectar cuáles parámetros están fuera de la norma y desarrollar un sistema para la remoción de los mismos a nivel de laboratorio.

2.6.1 Regulaciones de la calidad del agua en El Salvador

El Salvador cuenta con leyes, reglamentos y normas que regulan la calidad del agua para consumo humano con el objetivo de reducir los índices de contaminación de la misma, los cuales son:

1. Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08, Agua Potable
2. Reglamento Técnico Salvadoreño RTS 13.02.01:14, Agua de Consumo Humano. Requisitos de Calidad e Inocuidad
3. Norma Salvadoreña Obligatoria NSO.13.49.01:09, Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor
4. Reglamento Especial de Aguas Residuales
5. Ley de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados
6. Ley del Medio Ambiente
7. Código de Salud

Estas regulaciones establecidas por el MARN buscan garantizar el abastecimiento de agua apta para el consumo humano en el país y de la misma forma asegurar el bienestar de la población.

Con su cumplimiento se pretende evitar los efectos adversos producidos por el consumo del agua contaminada, y además, el manejo adecuado del recurso hídrico destinado al consumo humano. Estas normas no deben considerarse como un criterio de evaluación o control de las operaciones de las plantas de tratamiento, sino como las especificaciones generales para la aceptación del producto.

Tal es el caso de la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08, la cual establece los parámetros microbiológicos y fisicoquímicos máximos permisibles recomendados para la calidad del agua de consumo humano, así como también los procedimientos, registros, frecuencia mínima de muestreo y métodos estandarizados para el mismo; para el objeto de este estudio se hará uso de esta norma, para evaluar la calidad microbiológica y fisicoquímica del agua del pozo en estudio, antes y después de llevarse a cabo su tratamiento, para verificar que cumpla con los parámetros permitidos por la misma. En las siguientes secciones se presenta lo establecido por la NSO 13.07.01:08 en lo que concierne a los parámetros a evaluar en este estudio.

2.6.2 Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08

La Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08, Agua. Agua Potable, es una adaptación de la Guía para la calidad del Agua Potable de la OMS, Tercera Edición. Esta norma, aprobada por el Comité Técnico de Normalización 07, tiene por objeto de estudio el establecimiento de los requisitos físicos, químicos y microbiológicos que debe cumplir el agua potable para proteger la salud pública, ya que el agua para consumo humano no debe ser un vehículo de transmisión de enfermedades; aplica en todo el territorio nacional y considera todos los servicios públicos, municipales y privados, independientemente del sistema o red de distribución, en lo relativo a la prevención y control de la contaminación de las aguas, cualquiera que sea su estado físico.

2.6.2.1 Requisitos de Calidad Microbiológicos

La NSO 13.07.01:08 (2008) establece los límites máximos permisibles para la calidad microbiológica del agua destinada al consumo humano. En la Tabla 2.5 se presentan los parámetros que serán evaluados en el agua del pozo del cantón Los Menjívar.

Tabla 2.5 Límites Máximos Permisibles para calidad microbiológica a evaluar en el pozo en estudio

Parámetro	Límite Máximo Permisible		
	Técnicas		
	Filtración por Membranas	Tubos Múltiples	Placa vertida
Bacterias coliformes totales	0 UFC/100 ml	<1.1 NMP/100 ml	-----
Bacterias coliformes fecales o termotolerantes	0 UFC/100 ml	<1.1 NMP/100 ml	-----

Fuente: NSO 13.07.01:08, 2008.

2.6.2.2 Requisitos de Calidad Físico-químicos

En esta sección se presenta un resumen de estos parámetros haciendo énfasis en los que serán evaluados en este estudio para la caracterización fisicoquímica del agua del pozo en el cantón Los Menjívar, tales como las características físicas y organolépticas (véase Tabla 2.6), sustancias químicas (véase Tabla 2.7), y algunos de los valores para sustancias químicas de tipo inorgánico de alto riesgo para la salud (véase Tabla 2.8).

Tabla 2.6 Límites permisibles de características físicas y organolépticas a evaluar en el pozo en estudio

Parámetro	Unidad	Límite Máximo Permisible
Color Verdadero	(Pt-Co)	15
pH	-	8.5
Sólidos totales disueltos	mg/l	1000
Turbidez	UNT	5
Temperatura	°C	No Rechazable

Fuente: NSO 13.07.01:08, 2008.

La NSO 13.07.01:08 (2008) establece que el Límite Mínimo Permisible para el pH es de 6.0 Unidades, además establece que el Límite Máximo Permisible para el parámetro de Sólidos totales disueltos es debido a las condiciones propias del país.

Tabla 2.7 Valores para Sustancias Químicas a evaluar en el pozo en estudio

Parámetro	Límite Máximo Permisible (mg/l)
Dureza Total como (CaCO ₃)	500
Fluoruros	1.00
Sulfatos	400.00
Hierro Total	0.30
Manganeso	0.1

Fuente: NSO 13.07.01:08, 2008.

De acuerdo a la NSO 13.07.01:08 (2008), cuando los valores de hierro y manganeso superen el límite máximo permisible establecidos en la Tabla 2.7 y no 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 se generan.

Tabla 2.8 Valores para sustancias químicas de tipo inorgánico de alto riesgo para la salud a evaluar en el pozo en estudio

Parámetro	Límite Máximo Permisible mg/l
Arsénico	0.01
Nitrato (NO ₃)	45.00
Nitrito (Medido como Nitrógeno)	1.00
Plomo	0.01

Fuente: NSO 13.07.01:08, 2008.

Dado que los nitratos y los nitritos pueden estar simultáneamente presentes en el agua destinada al consumo humano, la suma de las razones de cada uno de ellos y su respectivo límite máximo permisible no debe superar la unidad, es decir (NSO 13.07.01:08, 2008):

$$\frac{NO_3}{LMP.NO_3} + \frac{NO_2}{LMP.NO_2} \leq 1 \quad \text{(Ecuación 2.1)}$$

2.6.2.3 Vigilancia y verificación

Corresponde la vigilancia y verificación de esta norma al Ministerio de Salud; y la observancia y cumplimiento de la norma corresponde a todas las empresas e instituciones públicas y privadas, y en general todas aquellas cuya función sea abastecer o comercializar por cualquier medio, agua a la población salvadoreña.

En base a la información presentada en este capítulo, en lo que concierne a las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua subterránea y sus posibles fuentes de contaminación, en el siguiente capítulo, se listan y describen detalladamente los métodos utilizados para la remoción de contaminantes de las aguas subterráneas destinadas al consumo humano, y otros aspectos importantes a considerar que contribuyen con el objeto de este estudio. Así mismo, se pretende seleccionar una metodología adecuada para la potabilización del agua del pozo que abastece al cantón los Menjívar, a partir de las metodologías de tratamiento presentadas en el siguiente capítulo.

CAPITULO III. TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO Y DESINFECCIÓN DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO PROVENIENTES DE POZOS.

La contaminación indiscriminada de los cuerpos de agua y el consumo de ella producen efectos adversos en la salud de los seres humanos, afecta su calidad de vida y les impide satisfacer sus necesidades. (Reynol, 2011). Con frecuencia, quienes dependen de este recurso, e incluso los que están a cargo de su manejo, no han adoptado acciones para asegurar la calidad del agua natural ni han realizado esfuerzos adecuados para evaluar los peligros potenciales de la contaminación. La protección de las aguas subterráneas es un aspecto muy importante a considerar, ya que es un recurso vital para el ser humano, los ecosistemas acuáticos y el medio ambiente en general. (Sánchez, 2016). Por lo que existe una gran necesidad de llevar a cabo acciones prácticas destinadas a proteger la calidad natural del agua subterránea. A pesar de estas medidas, el agua generalmente necesita tratarse para poder ser agua apta para consumo humano, y cumplir con las exigencias legales que regulan las normas de calidad del agua de cada país, desde el punto de vista de estándares físicos, bacteriológicos y químicos. Los procesos de tratamientos del agua de abastecimiento de consumo humano e industrial generalmente son una secuencia de operaciones o procesos unitarios seleccionados con el fin de remover en su totalidad la contaminación microbiana presente en el agua cruda, así como también remover parcialmente la contaminación química y fisicoquímica de tal manera que se cumplan con los límites aceptables estipulados por las normas de agua potable.

En este capítulo se describen en primer lugar las diferentes medidas destinadas a la protección de los cuerpos de agua subterráneos, lo que es sumamente importante, ya que en la mayoría de los casos es más conveniente, en términos económicos, prevenir la contaminación del agua subterránea destinada al consumo humano que darle un tratamiento posterior a la contaminación. Posteriormente, se presentan de forma general las tecnologías más utilizadas en la actualidad para potabilizar aguas subterráneas, además se detallan algunas tecnologías comúnmente utilizadas según el tipo de contaminante que el agua posee, en base a los parámetros a medir en este estudio.

A partir de esta información se pretende seleccionar una metodología de tratamiento eficaz para ser aplicada al agua del pozo que abastece al sitio de interés, con el propósito de remover los contaminantes presentes en el agua y que cumpla con los requisitos exigidos por la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08 para agua potable.

3.1 PROTECCIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

Para proteger los acuíferos contra la contaminación en general, existen una serie de medidas propuestas por la EPA (1990) con el fin de restringir las prácticas del uso del territorio, tales como la descarga de efluentes y vertido de residuos, las cuales se muestran detalladamente en el Anexo 4.

Existen también otras medidas propuestas por la OMS (1998), las cuales recomiendan que las fuentes de contaminación microbiológica deben estar a una distancia considerable de las fuentes de agua potable para eliminar o reducir al mínimo el riesgo a la salud. Esta distancia, la cual es denominada como Distancia Mínima de Seguridad (DMS), debe determinarse sobre la base del tiempo que tardan los contaminantes en viajar desde su punto de origen hasta los acuíferos de agua para beber, lo que dependerá tanto de las condiciones locales, como de las condiciones geológicas e hidrogeológicas de la zona, la cantidad de materia fecal que es previsible que se descargue, y el número de fuentes de contaminación existentes y planeadas. Por consiguiente, es muy difícil especificar una distancia mínima de aplicación general en la ubicación.

3.2 PRINCIPALES TECNOLOGÍAS EMPLEADAS EN EL TRATAMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO

Salamanca (2014) afirma que los tratamientos de aguas destinadas al consumo humano se dividen en físicos y químicos. En esta sección se describen en forma general las técnicas de tratamiento más comunes para potabilizar aguas con origen subterráneo.

3.2.1 Filtración

La filtración tiene como objetivo remover las partículas en suspensión que contiene el agua subterránea destinada al consumo humano, transportándola a través de un material poroso. Es un método muy común en las plantas de potabilización de agua, y se vale del proceso de adsorción para el control de la contaminación biológica y de la turbiedad. Los filtros se clasifican en función del material granular utilizado, como carbón-antracita o arena-carbón; en función del sistema de operación, ya sea por gravedad o por presión; y en función de la dirección del flujo de agua a través del filtro, en flujo ascendente y descendente. (Salamanca, 2014).

3.2.2 Desinfección

Es un proceso mediante el cual se garantiza la eliminación de los microorganismos patógenos presentes en el agua que pueden causar riesgos a la salud, como el caso de bacterias coliformes, escherichia coli, bacterias heterótrofas, etc. (Grupo TAR, 2017).

Los métodos para desinfección del agua se clasifican en físicos (mediante el uso de fuentes de calor) y químicos (mediante el uso de cloro, ozono y sales metálicas).

3.2.2.1 Desinfección con cloro

El cloro es un elemento con alto poder oxidante, por lo que es capaz de destruir tanto la materia orgánica como la inorgánica, y puede ser utilizado en sus diversas formas, ya sea gas (Cl_2), líquido (NaClO) o sólido ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$). (Grupo TAR, 2017).

El proceso de desinfección con cloro cuenta con dos etapas de dosificación, la primera etapa se encarga de matar a los microorganismos patógenos y de oxidar la materia orgánica e inorgánica, mientras que la segunda etapa está destinada a mantener un porcentaje de cloro libre como desinfectante residual para prevenir el crecimiento de los microorganismos en el sistema de distribución de agua. (Salamanca, 2014).

3.2.2.2 Desinfección con ozono

El ozono (O₃) es el compuesto con la mayor capacidad oxidante que existe, es capaz de oxidar casi todas las sustancias que lleva el agua (materia orgánica, inorgánica y microorganismos), y presenta la ventaja de no producir olores o sabores; su periodo de contacto es mucho más corto que el del cloro en lo que a la eliminación de patógenos se refiere. (Grupo TAR, 2017).

3.2.3 Radiación ultravioleta

Es otro sistema muy utilizado para la eliminación de bacterias y virus, pero debido a que el proceso de radiación, al igual que la desinfección con cloro, no puede dejar residuos desinfectantes en el agua, se requiere un compuesto oxidante secundario que puede ser el cloro entre otros. (Salamanca, 2014).

3.2.4 Estabilización

Según Salamanca (2016), el agua potable que salga de una planta de tratamiento y que entre al sistema de distribución debe estabilizarse. Esto significa que no debe formar depósitos de sales o ser corrosiva bajo las temperaturas en que será distribuida.

3.3 TRATAMIENTO DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS E INORGÁNICOS

Las sustancias orgánicas, mejor conocidas como compuestos orgánicos emergentes, abarcan pesticidas, compuestos orgánicos volátiles, trihalometanos, hidrocarburos aromáticos policíclicos y haluros orgánicos absorbibles; las cuales se depositan en el agua subterránea mediante el proceso natural de infiltración. La contaminación inorgánica se debe principalmente a las sustancias que de forma natural se encuentran en las rocas de los acuíferos y que se disuelven en el agua a medida que ésta se filtra por ellas, algunas de estas sustancias son arsénico, bario, radón, azufre, selenio, etc. (Galvín, 2014).

Para remover este tipo de contaminantes son utilizadas las siguientes tecnologías:

3.3.1 Oxidación

La oxidación es un proceso de deterioro de los materiales en el cual se produce una reacción en donde dichos materiales pierden electrones e incrementan su carga. (Salamanca, 2014). Este proceso puede ser usado para eliminar sustancias que puedan venir disueltas en el agua, como el caso de los minerales y de algunos compuestos orgánicos. También es útil en la eliminación de olores y sabores provocados por compuestos orgánicos, así como la eliminación de algunos organismos contaminantes causantes de enfermedades de transmisión hídrica. (Grupo TAR, 2017).

La oxidación se lleva a cabo mediante el uso de agentes oxidantes tales como el dióxido de cloro, ozono, permanganato de potasio y además mediante el proceso de aireación. Su elección depende del tipo de contaminante que se quiera oxidar, del tipo de instalaciones en la planta y del dinero que se disponga para dicho fin.

3.3.2 Tratamiento por métodos de adsorción

La adsorción es la atracción y acumulación de una sustancia sobre la superficie de otra. Los materiales utilizados en estos procesos se caracterizan por tener superficies de gran tamaño con numerosos poros que permiten remover contaminantes de diversa índole, ya sean orgánicos o inorgánicos, siendo el carbón y la alúmina activados los materiales más comunes.

El proceso de adsorción consiste en hacer pasar el agua a través de una columna rellena con material poroso; la remoción es una combinación entre adsorción e intercambio iónico, y es recomendable realizar regeneración del material poroso de manera regular para evitar saturaciones de contaminantes en el filtro. (Salamanca, 2014).

3.3.2.1 Intercambio iónico

En las aguas subterráneas es común tener concentraciones altas de dureza, lo que representa un riesgo tanto para la salud como para las instalaciones de distribución y bombeo.

Por lo tanto se requiere de un proceso de ablandamiento del agua que es una técnica utilizada para la remoción de cationes. Este proceso utiliza el intercambio iónico definido como la transferencia de iones entre un medio sólido (resina) y una solución, para intercambiar los iones contaminantes y reemplazarlos por iones sodio. (Salamanca, 2014).

3.3.2.2 Desmineralización

La desmineralización trabaja bajo el concepto de intercambio iónico; tiene como objetivo remover los sólidos disueltos en las fuentes de suministro de agua potable que pueden estar cargados tanto negativa como positivamente. (Salamanca, 2014).

A diferencia del proceso de ablandamiento, la desmineralización utiliza dos tipos de resinas, una para los cationes y otra diferente para los aniones; dichas resinas pueden trabajar con intercambio de iones hidronio que se dividen en ácidos fuertes y ácidos débiles, y con el intercambio de iones oxhidrilo que se dividen en bases fuertes y débiles. El agua resultante en este proceso es blanda, es decir carece de minerales por lo que para obtener agua potable de calidad se recomienda agregar la concentración adecuada de sales.

3.3.2.3 Proceso de membrana

Es un tipo de desmineralización que involucra el uso de membranas para la remoción de las sales de agua; una membrana es una película delgada que separa dos fases y que actúa como una barrera selectiva al transporte de materia. (Ayala, Mesa y Montoya, 2006).

Según Salamanca (2014), existen tres tratamientos que hacen uso del proceso de membrana, los cuales son:

- a. **Ósmosis normal:** El agua se mueve a través de la membrana del lado en donde la solución está más concentrada, hacia la parte de menor concentración; hasta que la presión hidrostática en la solución de mayor concentración es suficiente para detener el flujo.

- b. Ósmosis inversa:** El flujo de agua que pasa a través de la membrana semipermeable es inverso por la aplicación de presión externa que contrarresta la presión hidrostática. Esto trae como resultado mayor concentración de minerales de un lado y menor concentración y agua pura en el otro lado.
- c. Electrodiálisis:** Es la desmineralización del agua mediante el principio de ósmosis, pero haciendo uso de un campo eléctrico de corriente directa; en este proceso los minerales que contenga el agua se disocian en cationes y aniones.

3.4 TECNOLOGÍAS EMPLEADAS EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS PARA CONSUMO HUMANO EN FUNCIÓN DE SUS POSIBLES CONTAMINANTES

El tipo de tratamiento que necesita el agua depende en gran medida de la composición y calidad de la misma. En esta sección se detallan algunos de los tratamientos más comunes llevados a cabo para potabilizar el agua en función de su calidad, en base a los parámetros a medir en este estudio.

3.4.1 Eliminación de hierro y manganeso

En un estudio realizado por Duque (2009) se presentan los tratamientos más utilizados para la remoción del hierro y manganeso en aguas subterráneas, los cuales son:

3.4.1.1 Precipitación química

La remoción de hierro y manganeso del agua por precipitación química depende principalmente del estado disuelto en que se encuentran los compuestos formados en el agua. Los procesos más utilizados en la precipitación química son la coagulación y la aplicación de cal, que es utilizada básicamente para el proceso de ablandamiento del agua.

El Fe (II) y Mn (II) una vez oxidados, requieren de medios filtrantes diseñados adecuadamente y operando en condiciones óptimas para remover la mayoría de las partículas con tamaños de 5 a 10 μm .

Para las partículas de tamaño menores de 5 μm que no son retenidas en los medios granulares de los filtros, se utiliza la aplicación de sustancias químicas (coagulantes) para aglomerar estas partículas oxidadas y formar flóculos lo suficientemente grandes para ser filtrados. En el caso del agua subterránea, es importante tener en cuenta la aplicación de coagulantes como cloruro férrico o sulfato de aluminio como ayudantes para acelerar la maduración de los filtros.

3.4.1.2 Sustancias Químicas Oxidantes

Al utilizar sustancias químicas como oxidantes de hierro y manganeso, es importante garantizar un tiempo de contacto entre 5 y 30 minutos que permita una eficiente y completa reacción química. Para tal fin, es necesario incorporar tanques de contacto que garanticen el tiempo requerido en donde se podrá llevar a cabo secuencialmente ajuste del pH, aplicación del oxidante y retiro de material precipitado. Los oxidantes químicos más comunes usados en el tratamiento de aguas son:

- a. Cloración:** El comportamiento del cloro es distinto según se utilice como oxidante o como desinfectante.

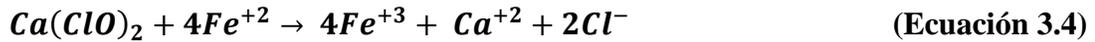
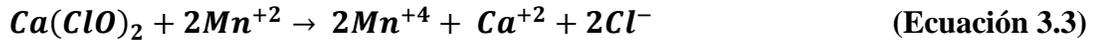
La eficacia del cloro como bactericida aumenta al disminuir el pH, mientras que su eficiencia como oxidante para sustancias tales como Fe^{+2} y Mn^{+2} , aumenta generalmente al aumentar el pH.

La estequiometría de las reacciones indica que 1 mg/L de cloro oxida 1.58 mg/L de hierro y 0.78 mg/L de manganeso. La oxidación del hierro y manganeso generalmente se lleva a cabo conjuntamente, el pH recomendado de la reacción debe estar entre 6 y 9.

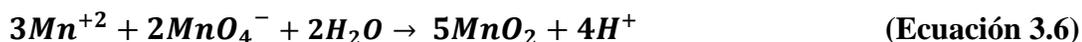
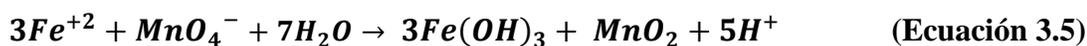
Cuando se añade hipoclorito de calcio al agua, se forma el ion hipoclorito el cual al reaccionar con el agua forma el ácido hipocloroso, mediante las siguientes reacciones:



El ácido hipocloroso es un ácido débil, que se disocia parcialmente a ion hipoclorito (ClO^-). Cuando el cloro se añade en forma líquida como hipoclorito sódico ($NaOCl$), en forma sólida como el hipoclorito cálcico $Ca(ClO)_2$ o en forma gaseosa, se formarán los equilibrios químicos respectivos. El hipoclorito sódico e hipoclorito cálcico son bases, que elevarán el pH del agua. La extensión del cambio de pH dependerá de la alcalinidad del agua. La interacción del hipoclorito de calcio con el manganeso y el hierro se expresa en las siguientes reacciones:



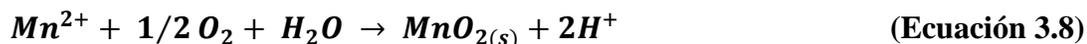
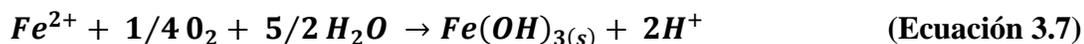
- b. Ozono:** El uso de ozono con el solo propósito de oxidar el Hierro y Manganeso no es muy utilizado, debido a la disponibilidad y los altos costos en la aplicación de esta tecnología en la mayoría de países.
- c. Permanganato de Potasio:** El Permanganato de Potasio es utilizado en algunos países como precursor químico en la elaboración de drogas y estupefacientes, por lo cual es restringida su utilización a nivel comercial, adicionalmente, la documentación y trámites para su adquisición es dispendiosa para comunidades rurales. La interacción del permanganato con el manganeso y el hierro se presenta en las siguientes reacciones:



Según la estequiometria de las reacciones, se necesitan 0.94 mg de permanganato de potasio para oxidar 1 mg de hierro (II); mientras que para oxidar un 1 mg de manganeso (II) se necesitan 1.92 mg de permanganato de potasio.

- d. Sistemas de Aireación:** La rapidez de la oxidación del hierro ferroso por el oxígeno depende de varios factores, en especial: temperatura, pH, contenidos de Hierro y de oxígeno disuelto.

La reacción será tanto más rápida cuando se sube el pH y cuanto más próxima esté el agua a la saturación de oxígeno. El Fe (II) y Mn (II) disueltos en el agua se oxidan con el oxígeno bajo condiciones adecuadas a sus formas precipitadas de hidróxido férrico y dióxido de manganeso, representadas en las siguientes ecuaciones:



La mayoría de aplicaciones y sistemas de tratamiento con aireación se pueden describir mediante la ecuación de equilibrio de la Ley de Henry. Teóricamente 1 mg/L de O₂ oxida 7 mg/L de hierro divalente y 3.4 mg/L de Manganeso divalente.

La velocidad de oxidación es función del pH del agua, siendo más rápida a valores de pH mayores de 7. Sin embargo, el Manganeso tiene una velocidad de oxidación muy lenta, vía el O₂ (acuoso). Esta técnica no es muy efectiva para la remoción de Mn⁺², excepto a valores de pH mayores de 9.5, el cual tarda alrededor de 1 hora para oxidarse.

Se espera que de la combinación entre el proceso de aireación y filtración se obtenga una reducción de hierro disuelto superior al 98% y 70% para el manganeso.

Con el proceso de transferir aire al agua subterránea se reduce la aplicación de sustancias químicas oxidantes que implican altos costos de operación y mantenimiento en sistemas de tratamiento de agua potable.

3.4.1.3 Oxidación Biológica

El Hierro y Manganeso también pueden ser removidos por oxidación biológica. La principal característica del metabolismo bacteriano es su naturaleza catalítica, por la cual se puede lograr una oxidación rápida del Hierro y el Manganeso, y su precipitación. Para la remoción biológica de Hierro, el rango de pH óptimo está entre 6.5 y 7.2 y el potencial redox (Eh) debe estar comprendido entre 100 y 400 mV. Con respecto a la remoción biológica del Manganeso, el rango de pH recomendado está entre 7.5 y 8.5 y el Eh debe ser mayor de 300 mV. Por otra parte, la concentración de oxígeno disuelto óptima para el Hierro es baja, ya que las bacterias involucradas son microaerófilas. Para el Manganeso, las concentraciones de oxígeno disuelto deben ser mayores a 5 mg/L.

El tratamiento de oxidación biológica funciona bajo condiciones de flujo libre, requiere de tiempos de retención altos, bajas velocidades de filtración, para que se garantice la formación de las biopelículas donde puedan crecer eficientemente los microorganismos.

3.4.1.4 Intercambiadores

Este proceso no se recomienda individual para la remoción de Fe (II) y Mn (II), ya que existe una mayor selectividad para el calcio y otros iones de mayor valencia. El intercambiador iónico es utilizado en su gran mayoría por la industria, cuando el agua contiene niveles menores de 0.5 mg/L de Hierro y Manganeso, el intercambiador puede remover estos valores, pero se ve afectado por la presencia de oxígeno, recomendando su utilización en ausencia del mismo.

3.4.1.5 Adsorción en medios acondicionados

Los medios filtrantes acondicionados (Greensand, Birm, Pyrolox, entre otros) para remover Hierro y Manganeso son de naturaleza similar, y su capacidad de regeneración, adsorción y filtración depende de la distribución de tamaño de partícula, de su forma y de los precipitados de óxidos de manganeso $[\text{MnO}_2(\text{s})]$ en su superficie.

El Greensand (arena verde) oxida el hierro soluble y el manganeso mediante la precipitación y el contacto con los óxidos de manganeso y los granos de arena. El Birm y el Pyrolox actúan como un catalizador para reforzar la reacción entre oxígeno disuelto y los compuestos férricos, refuerza la oxidación de Fe (II) a Fe (III) produciendo el hidróxido férrico que se precipita y puede filtrarse posteriormente.

3.4.1.6 Procesos Secuestrantes

Normalmente, tanto el silicato de sodio como los polifosfatos se utilizan para secuestrar Fe y Mn. Los agentes secuestrantes no remueven al Fe y Mn, solo evitan que precipiten y se recomienda su aplicación sólo para sistemas pequeños y concentraciones menores de 2 mg/L. Ambos elementos deben estar presentes en forma bicarbonática.

3.4.2 Eliminación de metales pesados

Se presentan los distintos tipos de tratamiento utilizados para la remoción de metales pesados en aguas destinadas al consumo humano, y la acción y efectos que estas técnicas ejercen sobre los mismos, según Orellana (2005):

3.4.2.1 Coagulantes

La coagulación con sulfato de aluminio solo elimina muy bien la plata, el plomo y el cobre, reduce aproximadamente en un 50 % el contenido de vanadio y de mercurio, y reduce solo en un 10 % el zinc. Por lo que se refiere al níquel, cobalto, magnesio y cromo, no experimentan reducción alguna mediante el tratamiento de coagulación.

3.4.2.2 Carbón activo en polvo

Las dosis que normalmente se utilizan (20 g/m³) son poco eficaces para la eliminación de metales pesados. Sería necesario adoptar dosis mayores de tratamiento.

3.4.2.3 Filtración a través de arena

Cuando, mediante la coagulación con sulfato de aluminio, se obtiene una reducción concreta, la filtración a través de arena lleva a contenidos prácticamente nulos por lo que respecta a la plata, el mercurio y el cobre. Por el contrario, el magnesio, el cromo, el cadmio, el vanadio y el cobalto no varían prácticamente. Por último, el contenido en zinc y en níquel se reduce sobre todo en presencia de cloro.

3.4.2.4 Filtración a través de carbón activo en grano

Después de una filtración a través de carbón activo en grano, se obtiene una reducción suficiente de los iones indeseables o tóxicos. La plata y el mercurio se eliminan por completo y los contenidos de plomo, cobre, etc., son inferiores al nivel aconsejable por la reglamentación en vigor.

En el siguiente capítulo se pretende seleccionar la metodología más adecuada para la remoción de los contaminantes encontrados en el agua del pozo que abastece a la zona de estudio, a partir de la información presentada en este capítulo, con el objetivo de proponer un sistema de potabilización a nivel de laboratorio. Dicha selección se realizará en función de los parámetros que se encuentren fuera de los límites máximos permitidos por la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08 para agua potable, en base a la caracterización fisicoquímica y microbiológica realizada al agua, cuyos resultados se muestran en el capítulo IV.

CAPITULO IV. DISEÑO DE EXPERIMENTOS PARA REMOVER CONTAMINANTES EN AGUAS DE POZO

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en la caracterización del agua de pozo del cantón Los Menjívar con respecto a los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos ya establecidos en el capítulo II. Así mismo, se presenta la metodología que se utilizó para llevar a cabo la recolección y preservación de las muestras utilizadas tanto en dicha caracterización, como también las utilizadas a lo largo del proceso experimental. En base a la revisión bibliográfica realizada en los capítulos anteriores, se llevó a cabo la selección de metodologías de remoción de los contaminantes encontrados en el agua de pozo, para proponer un sistema de potabilización de agua de pozo a nivel de laboratorio con el fin de disminuir las concentraciones de los contaminantes a valores máximos permisibles por la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08 para agua potable.

Además, se presenta un estudio experimental a nivel de laboratorio con el que se determinó la efectividad de las metodologías seleccionadas para la remoción de contaminantes, aplicando un análisis preliminar para demostrar la efectividad del sistema y posteriormente desarrollando un experimento, controlando las variables principales que influyen en el proceso de remoción; de esa manera se obtuvieron relaciones entre variables con la finalidad de obtener parámetros útiles para el diseño de un sistema de potabilización de agua de pozo. Se desarrolló un diseño experimental del tipo factorial 2^k para determinar los efectos significativos que influyen sobre la variable respuesta, para lo cual se determinaron las variables principales que afectan en el proceso de remoción de los contaminantes y sus diferentes combinaciones para llevar a cabo los experimentos. Para comprobar la efectividad de remoción de contaminantes de las metodologías seleccionadas, se llevó a cabo el montaje de un sistema de potabilización a nivel de laboratorio, con el que se evaluaron los parámetros definidos en los experimentos realizados.

4.1 METODOLOGIA ESTÁNDAR PARA LA TOMA Y PRESERVACIÓN DE LA MUESTRA

El muestreo es el primer paso para la determinación de la calidad de una fuente de agua, por lo que la persona que recoge una muestra y la lleva al laboratorio, es corresponsable de la validez de los resultados. (Benítez, Pacheco y Sandoval, 2017); además, dichos resultados también dependen de los procedimientos analíticos empleados.

Es de suma importancia asegurar que la muestra sea representativa de la fuente cuya calidad se desea evaluar, y que no se deteriore, ni se contamine antes de llegar al laboratorio, ya que de nada vale un excelente análisis, con equipos sofisticados, si la muestra no es representativa. Los aspectos que se tomaron en cuenta para asegurar la representatividad de las muestras en este estudio son los siguientes.

4.1.1 Ubicación del punto de muestreo

La toma de muestras de agua se llevó a cabo en un grifo identificado en la red de distribución, en el lugar donde se encuentra la bomba que extrae el agua del pozo para abastecer al cantón, por lo que se garantiza que el agua obtenida viene directamente del pozo.

4.1.2 Tiempo y frecuencia del muestro

En este estudio será indispensable llevar a cabo tres muestreos, dentro del periodo en el que se desarrolle el mismo, atendiendo la siguiente programación:

- a. Muestreo inicial para la caracterización del agua del pozo analizando los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos establecidos en el Capítulo II.
- b. Muestreo para la etapa experimental.
- c. Muestreo final para la utilización en el sistema de tratamiento a nivel de laboratorio para verificar la efectividad del sistema en la remoción de los contaminantes detectados en el agua del pozo de interés.

4.1.3 Volumen de muestras

El volumen recolectado depende del uso al que se destinará el agua, por lo que para la realización de los análisis tanto fisicoquímicos como microbiológicos se han muestreado volúmenes de agua de 3.25 litros en tres envases individuales de 1 litro y uno de 250 mililitros, y para los procedimientos experimentales se han recolectado 20 galones en envases individuales de 1 galón.

4.1.4 Selección de envases

En el caso de los análisis fisicoquímicos, los materiales más utilizados son el vidrio neutro o el plástico (polietileno, policarbonato o teflón), requiriéndose en algunos casos materiales más específicos como por ejemplo el vidrio ámbar o el politetrafluoroetileno PTFE, ya sea para el envase mismo o para sus tapas. El material de los envases, debe ser inerte, de manera que no produzca alteraciones en la composición de la muestra, tales como pérdidas por adsorción, volatilización o contaminación por materias extrañas.

En el caso de los análisis microbiológicos, los frascos de vidrio deben ser de borosilicato u otro vidrio neutro, provistos de tapa de rosca hecha de metal o plástico. Las tapas de metal deben ser forradas con un protector no tóxico que evite el contacto directo entre el metal y la muestra. Los frascos de plástico se recomiendan de polipropileno o policarbonato, el polietileno no es aconsejable. Tanto la botella como la tapa deben ser del mismo plástico.

Para la toma de las muestras de agua destinadas a los análisis fisicoquímicos se utilizaron tres recipientes de polietileno de alta densidad HDPE con capacidad de 1 litro cada uno (véase Figura 4.1).

Para la toma de la muestra de agua destinada a los análisis microbiológicos se utilizó un frasco estéril con capacidad de 250 ml, de plástico polipropileno proporcionado por el laboratorio (véase Figura 4.2). Estos frascos tienen la ventaja de ser livianos y resistentes.



Figura 4.1 Fotografía de los envases de HDPE utilizados para la toma de muestras de agua para los análisis fisicoquímicos.



Figura 4.2 Fotografía del frasco de polipropileno utilizado para la toma de la muestra para los análisis microbiológicos.

4.1.5 Procedimiento de recolección

En muestras para análisis microbiológicos se debe seguir el siguiente procedimiento (Laboratorio de calidad microbiológica de aguas, 2017):

- a. Para obtener la muestra, la persona que recolecta deberá lavarse las manos con agua y jabón.
- b. Limpiar la boquilla del grifo perfectamente con un algodón con alcohol.

- c. Abrir correctamente la llave o grifo y dejar correr el agua por lo menos 2 minutos.
- d. Reducir el flujo de agua para permitir la toma de la muestra.
- e. Abrir el frasco y obtener la muestra. Llenar el envase hasta el cuello para la agitación de la muestra.

En muestras para análisis fisicoquímicos se deben seguir los pasos siguientes (León, Montoya y Rivera, 2016):

- a. Abrir el chorro y dejar correr el agua aproximadamente por 3 minutos o hasta asegurarse que el agua que contenía las tuberías ha sido vaciada totalmente.
- b. Antes de tomar la muestra, enjuagar dos o tres veces el envase con un poco del agua que se va a analizar.
- c. Realizar el muestreo cuidadosamente, evitando que se contaminen el tapón, boca e interior del envase. Dejar aproximadamente 10 % de volumen de espacio libre, requerido para la agitación de la muestra previa al análisis. Efectuada la toma de muestra, cierre el recipiente cuidadosamente.

4.1.6 Transporte, preservación y conservación de las muestras

En base a un estudio realizado por Benites, Pacheco y Sandoval (2017), se tiene lo siguiente:

a. Transporte y preservación

- i. La técnica de preservación mediante refrigeración se debe aplicar durante la recolección y el transporte, como también en la mayoría de los casos en el laboratorio mientras las muestras están en espera de ser ensayadas, la temperatura de refrigeración debe ser entre 1 y 4 °C para muestras microbiológicas y de 4 ± 2 °C para muestras fisicoquímicas, evitando la congelación en ambos casos.
- ii. El transporte de los envases se deberá realizar en recipiente plástico con hielo debidamente tapado para evitar la radiación solar y el calor.

Las muestras deberán ser llevadas inmediatamente al laboratorio para la realización de los análisis. Para la preservación no será necesaria la adición de ningún preservante químico debido al tipo de parámetros de interés a analizar, según lo estipulado en la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08.

b. Conservación

- i. El tiempo de almacenamiento afecta en mayor medida a algunas determinaciones, ya sea por pérdidas debidas a adsorción en las paredes de los envases, intercambios iónicos, precipitación, solubilidad, actividad microbiana u otra serie de reacciones. Este tiempo se debe reducir al mínimo posible, siendo necesario incluso que algunos análisis sean realizados en terreno, en el mismo momento del muestreo.
- ii. Para el caso de los ensayos que por su complejidad o especialización se deben efectuar en el laboratorio, lo recomendado es que se ejecuten en forma inmediata luego del ingreso de las muestras, lo que muchas veces no se cumple. Por esta razón es que, sumado a las técnicas de preservación, se debe limitar el tiempo máximo de almacenamiento, el que dependerá de las características y naturaleza de la muestra y de la estabilidad de cada analito en particular.

4.2 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA DEL POZO EN ESTUDIO

En el capítulo II se hizo mención de los parámetros seleccionados para caracterizar el agua del pozo en estudio, los cuales, como ya se mencionó anteriormente, se delimitaron en función de la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08 vigente en el país, de las características fisicoquímicas y organolépticas presentadas en el agua del pozo y de los efectos perjudiciales que los habitantes de la zona manifiestan se han producido en su salud a raíz del consumo de la misma.

Tales parámetros son los siguientes: pH y Temperatura (determinados con el medidor multiparámetros OAKTON 35618-Series); Bacterias coliformes totales y Bacterias coliformes fecales o termotolerantes (determinados por el Laboratorio de Calidad Microbiológica de Aguas, Facultad de Química y Farmacia, Universidad de El Salvador) y Hierro total, Plomo, Manganeso, Arsénico, Conductividad, Dureza total, Sólidos totales disueltos, Sulfatos, Color verdadero, Fluoruros, Nitrato, Nitrito, Turbidez (determinados por Laboratorio Fisi-coquímico de Aguas, Facultad de Química y Farmacia, Universidad de El Salvador).

Los datos obtenidos al realizar la caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua proveniente del pozo que abastece al cantón Los Menjívar revelan que los parámetros que sobrepasan los límites máximos permisibles en la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08 son: Bacterias coliformes totales y Bacterias coliformes fecales o termotolerantes (véase Tabla 4.1), Hierro total, Manganeso y Plomo (véase Tabla 4.2), por lo que el principal propósito de este estudio es lograr reducir la concentración de estos parámetros de manera que el agua del pozo cumpla con los límites máximos permisibles por la norma y sea apta para el consumo humano (véase Anexo 5).

Tabla 4.1 Parámetros microbiológicos medidos en el agua de pozo del cantón Los Menjívar determinados por el Laboratorio de Calidad Microbiológica de Aguas, Facultad de Química y Farmacia, Universidad de El Salvador.

Parámetros	Método de Análisis	Resultados	Límite Máximo Permisible NSO 13.07.01:08
Bacterias coliformes totales	Tubos Múltiples	2 NMP/100 mL	< 1.1 NMP/100 mL
Bacterias coliformes fecales o termotolerantes	Tubos Múltiples	< 2 NMP/100 mL	< 1.1 NMP/100 mL

Tabla 4.2 Parámetros fisicoquímicos medidos en el agua de pozo del cantón Los Menjívar determinados por el Laboratorio Fisicoquímico de Aguas, Facultad de Química y Farmacia, Universidad de El Salvador.

Parámetros	Método de Análisis	Resultados	Límite Máximo Permisible NSO 13.07.01:08
Color verdadero	Fotométrico	8.4 Pt-Co	15 Pt-Co
Turbidez	Fotométrico	3.99 UNT	5 UNT
Fluoruros	Fotométrico	0.18 mg/L	1.00 mg/L
Nitrato	Fotométrico	No Detectado	45.00 mg/L
Nitritos	Fotométrico	0.042 mg/L	1.00 mg/L
Hierro total	Fotométrico	0.94 mg/L	0.30 mg/L
Plomo	Fotométrico	0.55 mg/L	0.01 mg/L
Manganeso	Fotométrico	0.58 mg/L	0.1 mg/L
Arsénico	Colorimétrico	NO DETECTADO	0.01 mg/L
Conductividad	Potenciométrico	333.00 μ /cm	-
Dureza total	Volumétrico	83.00 mg/L	500 mg/L
Sólidos totales disueltos	Potenciométrico	176.00 mg/L	1000 mg/L
Sulfatos	Fotométrico	40.00 mg/L	400.00 mg/L

Tabla 4.3 Parámetros fisicoquímicos medidos en el agua de pozo del cantón Los Menjívar determinado con el medidor multiparámetros OAKTON 35618-Series.

Parámetros	Resultados	Límite Máximo Permisible NSO 13.07.01:08
pH	7.21	8.5
Temperatura	37 °C	No Rechazable

La presencia de plomo en el pozo en estudio puede deberse a que el acuífero al cual pertenece el pozo puede estar conectado al embalse del Cerrón Grande que se encuentra a tan solo 1 km de este, el cual está contaminado con Cr, Cu, Zn, Hg y Pb debido a los desechos que recibe constantemente (véase Anexo 9). Además, puede ser causado por contaminación agrícola debido a fertilizantes y agroquímicos, ya que análisis realizados por ANDA en octubre de 2018, demostraron que los dos pozos que abastecen al casco urbano del municipio y que además son los más cercanos al pozo del cantón Los Menjívar contienen exceso de nitratos que exceden el límite establecido por la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08 (véase Anexo 10).

En el estudio Metales Pesados en Fertilizantes Fosfatados, Nitrogenados y Mixtos realizado en Argentina (2001), se encontró que todos los fertilizantes tradicionales ensayados contienen Pb y Cd. Según el INS-MINSAL en comunidades agrícolas del Bajo Lempa, se encontraron compuestos orgánicos persistentes que se esparcieron por el cultivo de algodón, además, metales pesados como cadmio y plomo, así como el metaloide arsénico en concentraciones más altas a las permitidas en normas para agua potable internacionales.

Según datos del Ministerio de Salud, San Francisco Lempa es el municipio con la tasa de mortalidad por cáncer acumulada más alta a nivel nacional y el número cuatro en mortalidad por enfermedad renal crónica acumulada en el período 2011-2015 (véase Anexo 11 y 12). Para el año 2019 según datos de la Unidad de Salud del municipio hasta el mes de noviembre se contabilizan 3 muertes por enfermedad renal crónica.

Como parte de este estudio se realizó un análisis de nitratos al agua proveniente del pozo El Tekal, uno de los dos pozos que abastecen al municipio, en noviembre de 2019. Sin embargo, los resultados obtenidos se encuentran dentro de los límites máximos permisibles por la norma (véase Anexo 13).

4.3 METODOLOGÍA PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA DE POZO

Para la remoción de hierro, manganeso, plomo y desinfección microbiológica del agua de pozo se utilizó un sistema de tratamiento elaborado a nivel de laboratorio, viable económicamente y fácil de operar. Los principales parámetros para evaluar fueron la eficiencia de Greensand Plus para adsorber hierro y manganeso, y del carbón activado para adsorber plomo. Dicho sistema se elaboró con el objetivo de realizar una prueba preliminar para posteriormente optimizarlo con un diseño experimental. En la Figura 4.3 se muestra un esquema de la metodología utilizada en la fase experimental.

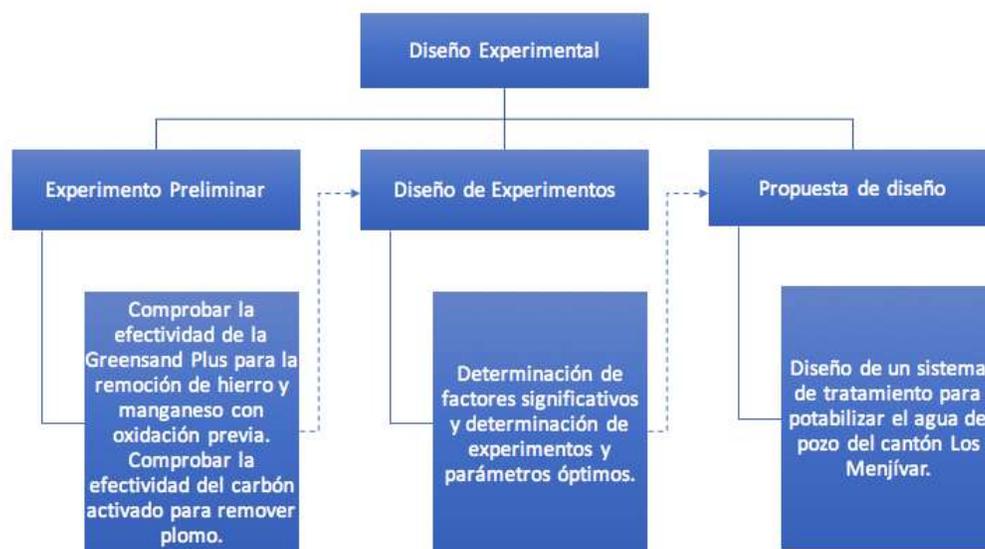


Figura 4.3 Esquema de la metodología utilizada en la fase experimental.

4.3.1 Prueba preliminar del sistema de potabilización

Se realizó una prueba por triplicado diseñando un sistema experimental preliminar de cuatro etapas, para lo que se utilizó hipoclorito de calcio al 70 % para la oxidación de partículas de Fe (II) y Mn (II) en la primera etapa, y dos etapas más para la remoción de estas partículas utilizando Greensand Plus, y para la remoción de partículas de Pb (II) mediante adsorción con carbón activado granular; la última etapa está destinada a la desinfección del agua mediante la post-cloración.

4.3.1.1 Montaje del sistema de potabilización preliminar

Las fases de elaboración del sistema, utilizado en las pruebas preliminares, se pueden ver en el procedimiento de elaboración del sistema de potabilización en el Anexo 6, procedimiento 2. Este sistema se separó en cuatro etapas:

- I. La primera etapa de pre-cloración tenía como objetivo oxidar al hierro y manganeso. En la oxidación con cloro se forma material floculado que no es lo suficientemente pesado como para ser removidos por simple sedimentación. El equipo utilizado para esta es un tanque de contacto de 4.38 L de capacidad con agitador manual. La oxidación se llevó a cabo con una concentración de 0.009 g de hipoclorito de calcio al 70 %, estos cálculos se muestran en el Anexo 7.
- II. La segunda etapa consistió en una columna de adsorción, contenida en un recipiente de 24.5 cm de altura y 11 cm de diámetro. En la parte inferior se agregó una capa de grava de 2 cm de altura, la cual funciona como soporte. Sobre esta capa se colocaron dos capas de algodón separadas por una malla metálica circular. Posteriormente, se agregó una capa de Greensand Plus para la adsorción de partículas de hierro y manganeso previamente oxidadas con el fin de mejorar la eficiencia de remoción del material adsorbente (véase Figura 4.4).



Figura 4.4 Segunda etapa del sistema de potabilización en prueba preliminar.

- III. La tercera etapa consistía en una capa de grava de 2 cm de longitud agregada en el fondo del recipiente, seguida por dos capas de algodón separadas por una malla metálica circular. Posteriormente se agregó una capa de 5 cm de altura de carbón activado granular obtenido a partir de la cáscara de coco, cuya función es la adsorción de partículas de Pb (II). Seguidamente se colocó una capa de algodón y una malla metálica circular para luego colocar la tercera y última capa de 1 cm de longitud de grava (véase Figura 4.5).



Figura 4.5 Tercera etapa del sistema de potabilización en prueba preliminar.

- IV. La cuarta y última etapa es la destinada a la desinfección del agua mediante la cloración utilizando hipoclorito de calcio al 70 % y un tanque con las mismas características del tanque de la primera etapa.

4.3.1.2 Determinación de la reducción de hierro, manganeso y plomo utilizando el sistema de potabilización preliminar.

Para la prueba preliminar se colocó un galón de agua cruda del pozo en estudio en el primer tanque de contacto, se agregó una dosis de 0.009 g de hipoclorito de calcio al 70 % y se agitó manualmente durante 20 minutos con el fin de oxidar las partículas hierro y manganeso disueltas en el agua.



Figura 4.6 Montaje del sistema de remoción preliminar.

Posteriormente, se dejó pasar el agua por el sistema de tratamiento, con un caudal de entrada de 0.1662 L/min, el cual fue previamente calculado y controlado con una bomba sumergible de 8 watts. Se tomó una muestra de 1 litro de agua a la salida del sistema de potabilización como se muestra en la Figura 4.7.



Figura 4.7 Toma de la muestra a la salida del tratamiento preliminar.

El proceso fue realizado por triplicado y las muestras fueron llevadas al Laboratorio Físico-químico de Aguas de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador para su posterior análisis. Los resultados se muestran en la Tabla 4.4 (véase Anexo 8). Posteriormente, los resultados fueron analizados con el uso de procedimientos estadísticos y se obtuvieron los datos de efectividad de remoción mostrados en la Tabla 4.5.

Tabla 4.4 Resultados obtenidos en las muestras de agua tratada en la prueba preliminar

Parámetro	Resultado del agua tratada en la prueba preliminar			Límite máximo permisible NSO 13.07.01:08
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	
Cloro residual libre	NO DETECTADO	NO DETECTADO	NO DETECTADO	1.1 mg/L
Hierro total	0.09 mg/L	0.05 mg/L	0.07 mg/L	0.3 mg/L
Manganeso	0.15 mg/L	0.10 mg /L	0.21 mg/L	0.1 mg/L
Plomo	0.03 mg/L	0.10 mg/L	0.32 mg/L	0.01 mg/L

Tabla 4.5 Efectividad de remoción del sistema de tratamiento preliminar

Parámetro	Concentración antes de entrar al sistema de potabilización	Resultados del agua tratada en la prueba preliminar (promedio de los resultados de la Tabla 4.4)	% de remoción
Hierro total	0.94 mg/L	0.07 mg/L	92.55%
Manganeso	0.58 mg/L	0.15 mg/L	74.14%
Plomo	0.55 mg/L	0.15 mg/L	72.73%

De acuerdo con los resultados obtenidos en la prueba preliminar, el hierro total fue removido en los tres casos hasta valores que cumplen con los requerimientos de la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08.

El manganeso únicamente en la muestra 2 alcanzó el límite máximo permisible por la Norma, y el plomo en ningún caso alcanzó el límite máximo permisible. Sin embargo, como se puede observar en la Tabla 4.4, en el experimento 1 se aproximó considerablemente al valor deseado.

4.4 DISEÑO FACTORIAL TIPO 2^k

Los modelos factoriales son modelos estadísticos clásicos cuyo objetivo es averiguar si unos determinados factores influyen en una variable de interés y si dicha influencia existe, cuantificar su valor. También tienen el objetivo de estudiar si al utilizar un determinado tratamiento se produce una mejora en el proceso o no.

El modelo factorial seleccionado para este estudio es del tipo 2^k no replicado, fue seleccionado porque permite manejar varios factores a la vez en un mismo ensayo, solo requiere de dos niveles por factor, uno mínimo y un máximo, no necesita de muchas observaciones para generar conclusiones válidas y objetivas sobre el sistema en estudio. La finalidad que se busca al utilizar el modelo factorial tipo 2^k no replicado es determinar la relación entre la concentración de hierro, manganeso y plomo a la salida del sistema de potabilización con los diferentes factores que intervienen en el proceso, y esto se logra investigando y probando todas las posibles combinaciones de todos los niveles de los factores en cada ensayo completo.

El diseño experimental de este estudio tiene como finalidad determinar las condiciones de funcionamiento de un sistema de tratamiento de aguas para reducir hierro, manganeso y plomo. La variación obtenida en los factores respuesta se evaluará a la salida del sistema, teniendo una concentración de contaminantes fija.

Debido a que se cuenta con dos columnas de adsorción diferentes, una para la remoción de hierro y manganeso (Greensand Plus) y otra para la remoción de plomo (Carbón Activado Granular) se realizó el experimento por separado, por lo que los factores niveles de cada una de las columnas de adsorción antes mencionadas se muestran en la Tabla 4.6 y 4.7 respectivamente.

Tabla 4.6 Valores máximos y mínimos asignados a los factores para el diseño experimental de remoción de hierro y manganeso

Variable	Valor mínimo (-)	Valor máximo (+)
Caudal	0.1662 L/min	0.2390 L/min
Altura de Greensand Plus	8 cm	11 cm
Oxidación	Si	No

Tabla 4.7 Valores máximos y mínimos asignados a los factores para el diseño experimental de remoción de plomo

Variable	Valor mínimo (-)	Valor máximo (+)
Caudal	0.1662 L/min	0.2390 L/min
Altura del Carbón Activado	5 cm	16 cm

Por otro lado los factores de ruido, que son variables que pueden modificar los resultados en el funcionamiento o desempeño de un sistema y que además pueden ser controlados durante todo el proceso, considerados son comunes para ambas columnas de adsorción, y se muestran en la Tabla 4.8.

Tabla 4.8 Factores de ruido para ambos diseños experimentales de remoción

Variable	Valor fijo (-)
pH	7.2
Temperatura	27-30 °C
Concentración de hierro	1.75 mg/l
Concentración de manganeso	0.33 mg/l
Concentración de plomo	0.83 mg/l

Los niveles para cada factor fueron representados por signos, siendo (+) para los niveles máximos y (-) para los niveles mínimos. El caudal es el mínimo y el máximo alcanzado por una bomba de 8 watts utilizada para descargar el agua en la primera etapa y alimentarla a la segunda etapa (véase Figura 4.8).

Los valores mínimos y máximos de las alturas de lecho para ambas columnas de adsorción han sido considerados a partir de los resultados obtenidos en las pruebas preliminares y a la capacidad dada por el recipiente usado para contener el material de adsorción. Por último, la variable de oxidación no es de carácter cuantitativa, por lo que fue representado como valor máximo el proceso de remoción de hierro y manganeso con oxidación previa y como valor mínimo sin oxidación previa.

Se utilizó la Tabla de orden de Yates para los experimentos 2^k (véase Figura 4.9), considerando que para las pruebas de remoción de hierro y manganeso solo se tienen 3 factores ($k = 3$) por lo que el experimento es de tipo 2^3 y requiere de 8 corridas, y para la prueba de remoción de plomo solo se tienen 2 factores ($k = 2$) por lo que el experimento es de tipo 2^2 y requiere de 4 corridas.



Figura 4.8 Bomba sumergible de 8 watts.

	No.	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
	1	-	-	-	-	-
k = 1	2	+	-	-	-	-
	3	-	+	-	-	-
k = 2	4	+	+	-	-	-
	5	-	-	+	-	-
	6	+	-	+	-	-
	7	-	+	+	-	-
k = 3	8	+	+	+	-	-
	9	-	-	-	+	-
	10	+	-	-	+	-
	11	-	+	-	+	-
	12	+	+	-	+	-
	13	-	-	+	+	-
	14	+	-	+	+	-
	15	-	+	+	+	-
k = 4	16	+	+	+	+	-
	17	-	-	-	-	+
	18	+	-	-	-	+
	19	-	+	-	-	+
	20	+	+	-	-	+
	21	-	-	+	-	+
	22	+	-	+	-	+
	23	-	+	+	-	+
	24	+	+	+	-	+
	25	-	-	-	+	+
	26	+	-	-	+	+
	27	-	+	-	+	+
	28	+	+	-	+	+
	29	-	-	+	+	+
	30	+	-	+	+	+
	31	-	+	+	+	+
k = 5	32	+	+	+	+	+

Figura 4.9 Tabla de Yates para realización de experimentos del modelo 2^k

Fuente: Benítez, Pacheco y Sandoval, 2017.

4.4.1 Procedimiento experimental para la determinación de la influencia de los efectos sobre la variable respuesta

Arreglo inicial del equipo y materiales a utilizar:

- a) Se hizo pasar por el sistema un total de 12 galones de agua de pozo, se trató 1 galón de agua por cada corrida, 4 de dichos galones fueron sometidos al proceso de oxidación, con hipoclorito de calcio al 70 % en una concentración de 0.0103 g.

- b) Se midieron las alturas de lecho de las columnas tanto de Greensand Plus como de carbón activado para las pruebas, estableciendo alturas de lecho máximas y mínimas para cada una. En la pruebas preliminares se comprobó que una altura de 8 cm para la columna de Greensand Plus y 5 cm para la columna de Carbón Activado daban un alto porcentaje de remoción de los contaminantes (92.55 % para el hierro, 74.14 % para el manganeso y 72.73 % para el plomo) por lo que se decidió aumentar la columna de Greensand Plus a un máximo de 11 cm, ya que al experimentar con alturas superiores se produjeron derrames de agua en el sistema. Para la columna de carbón activado se estableció una altura máxima de 16 cm, que fue la mayor altura que se pudo alcanzar conforme a las dimensiones del recipiente.

- c) Se utilizó una bomba sumergible de 8 watts con regulador de caudal, usando su máximo y su mínimo dependiendo de la corrida a realizar.

Desarrollo del proceso:

- a) Para el primer sistema, conformado por la etapa 1 y 2, se realizaron 8 corridas, en cada una se hizo pasar un galón de agua cruda, proveniente del pozo de interés, por la columna de Greensand Plus, variando la altura de lecho con un mínimo de 8 cm y un máximo de 11 cm, el caudal de la bomba con un mínimo de 0.1662 L/min y un máximo de 0.2390 L/min, y oxidando o no previamente. Del mismo modo se realizaron cuatro corridas en el segundo sistema conformado por la etapa 3, modificando la altura de lecho de carbón activado con un mínimo de 5 cm y un máximo de 16 cm, y el caudal de la bomba al igual que en el primer sistema.

- b) Luego se recolectaron 12 muestras de un litro que fueron llevadas al Laboratorio Físicoquímico de Aguas ubicado en la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador, para su posterior análisis.

4.4.2 Resultados obtenidos en el procedimiento experimental para la determinación de influencia de los efectos en la variable respuesta

Los resultados obtenidos del diseño experimental para la remoción del hierro y manganeso se muestran en la sección 4.4.2.1 y para la remoción de plomo en la sección 4.4.2.2.

4.4.2.1 Resultados obtenidos en el procedimiento experimental para remover hierro y manganeso

En la Tabla 4.9 se presentan los resultados obtenidos de la concentración de hierro y manganeso en las 8 corridas realizadas en el primer sistema y su porcentaje de remoción (véase Anexo 14).

Las irregularidades presentadas en las corridas 5, 6, 7 y 8 en los resultados del % de remoción de manganeso pueden deberse a un acondicionamiento no adecuado del material filtrante (Greensand Plus), que para el caso es recomendable que cada vez que se cambia o se agrega dicho material para aumentar la altura de lecho, deben llevarse a cabo retrolavados con agua libre de las sustancias que se desean tratar para su remoción; dichos lavados deben realizarse por lo menos tres veces antes de realizar la prueba, de manera que la cubierta de dióxido de manganeso se establezca de forma segura alrededor del núcleo compuesto de arena sílice.

Tabla 4.9 Secuencia de experimentos para el diseño tipo 2³ con los respectivos resultados alcanzados para la remoción de Hierro y Manganeso en el primer sistema

Prueba	Caudal	Oxidación	Altura (Greensand Plus)	Resultado de Fe (mg/l)	% de remoción de Fe	Resultado de Mn (mg/l)	% de remoción de Mn
1	+	+	-	0.80	54.28	0.19	42.42
2	+	-	-	0.84	52.00	0.13	60.61
3	-	+	-	0.76	56.57	0.11	66.67
4	-	-	-	0.83	52.57	0.10	69.70

Continúa

Tabla 4.9 Secuencia de experimentos para el diseño tipo 2³ con los respectivos resultados alcanzados para la remoción de Hierro y Manganeso en el primer sistema (continuación)

Prueba	Caudal	Oxidación	Altura (Greensand Plus)	Resultado de Fe (mg/l)	% de remoción de Fe	Resultado de Mn (mg/l)	% de remoción de Mn
5	+	+	+	0.48	72.57	3.83	-1060.61
6	+	-	+	0.60	65.71	0.46	-39.39
7	-	+	+	0.27	84.57	4.47	-1254.54
8	-	-	+	0.38	78.28	0.54	-63.64

Por los motivos antes mencionados, se tomaron en cuenta únicamente los datos obtenidos en la remoción de hierro, ya que los resultados obtenidos en la remoción de manganeso están comprometidos a conclusiones erróneas. Sin embargo, en base a la revisión bibliográfica consultada sobre el comportamiento químico del hierro y manganeso, se concluye que al comportarse ambos de manera similar, los análisis de optimización para la remoción de hierro pueden ser empleados en la remoción de manganeso.

Los resultados obtenidos de la remoción de hierro fueron tabulados y analizados con el uso de procedimientos estadísticos, obteniéndose para la variable respuesta “% remoción de hierro” los resultados de los efectos para cada factor influyente (véase Tabla 4.10).

Con los datos de las estimaciones de los efectos para cada factor y de la combinación de los factores se construye el diagrama de Pareto (véase Figura 4.10) el cual permite comparar con mayor claridad la magnitud relativa de los efectos y la significancia estadística tanto de los efectos como de sus interacciones.

Tabla 4.10 Resumen de la estimación de los efectos del diseño 2³ para la remoción de hierro y manganeso

Término	Estimación del Efecto	Coefficientes	V.I.F.
Constante	-	64.59	-
A: Caudal	-6.875	-3.437	1
B: Oxidación	4.875	2.437	1
C: Greensand Plus	21.43	10.71	1
AB	-0.275	-0.1375	1
AC	-5.425	-2.712	1
BC	1.725	0.8625	1
ABC	0.575	0.2875	1

Como puede observarse en dicho diagrama, el factor más significativo al 5 % para la remoción de hierro y manganeso es la altura de lecho, ya que es el único factor que pasa la línea de referencia determinada con el método lenth que tiene un valor de 18.65.

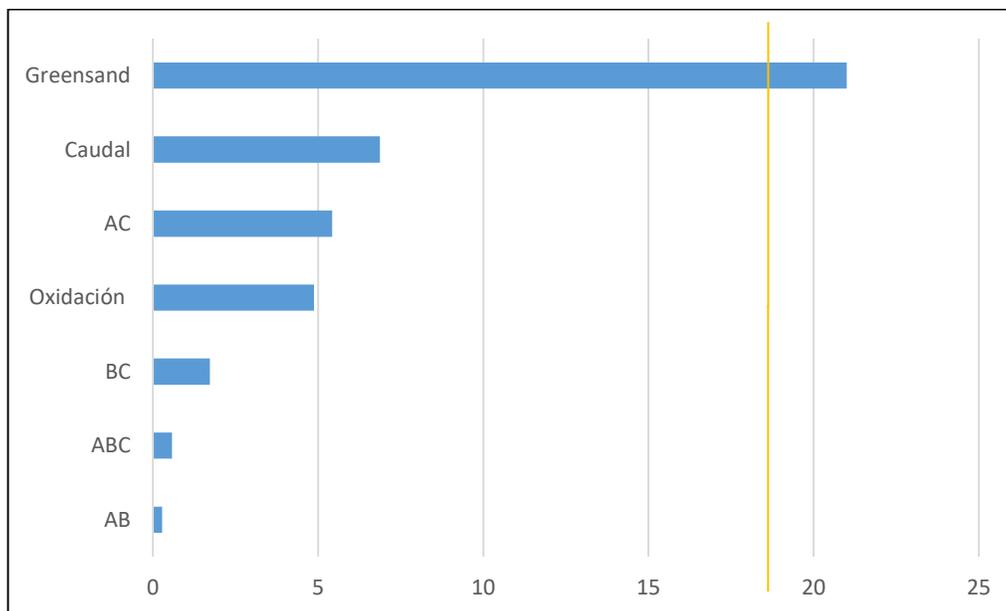


Figura 4.10 Diagrama de Pareto de los efectos (la respuesta es hierro a $\alpha = 0.05$) para las variables caudal, altura de Greensand Plus y oxidación previa del diseño 2³ para la remoción de hierro y manganeso. Siendo A: Altura de Greensand Plus, B: Oxidación previa y C: Caudal

El gráfico de probabilidad normal es otra forma de analizar los datos para determinar el nivel de significancia de los factores. Los factores y las interacciones que no tengan significancia tenderán a localizarse sobre una línea recta y los factores significativos están fuera de ella, como es el caso de la altura de Greensand Plus (véase Figura 4.11).

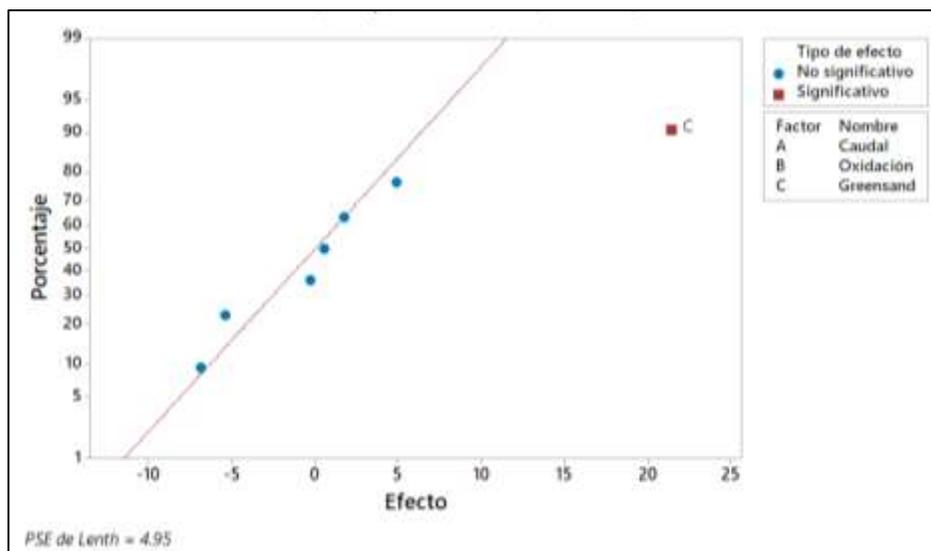


Figura 4.11 Gráfica normal de los efectos (la respuesta es hierro a $\alpha = 0.05$) para el diseño 2^3 de remoción de hierro y manganeso.

Para confirmar la magnitud cuantitativa de los efectos y ver si efectivamente son significativos los factores obtenidos en el diagrama de Pareto se hace un análisis de varianza el cual se detalla en la Tabla 4.11.

Tabla 4.11 Análisis de varianza del experimento de la remoción de hierro y manganeso realizado como un diseño factorial 2^3

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio
Modelo	7	1125.75	160.821
Lineal	3	1060.12	353.375

Continúa

Tabla 4.11 Análisis de varianza del experimento de la remoción de hierro y manganeso realizado como un diseño factorial 2³ (continuación)

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio
A: Caudal	1	94.53	94.531
B: Oxidación	1	47.53	47.531
C: altura de Greensand Plus	1	918.06	918.061
Interacciones de 2 términos	3	64.96	21.655
AB	1	0.15	0.151
AC	1	58.86	58.861
BC	1	5.95	5.951
Interacciones de 3 términos	1	0.66	0.661
ABC	1	0.66	0.661
Error	0	-	-
Total	7	1125.75	-

Resumen del modelo:

$R^2 = 100\%$

R^2 (Ajustado) = 0%

Para analizar el comportamiento de cada uno de los efectos de manera separada se tiene el gráfico de efectos principales, en donde puede observarse la posición en donde son más influyentes los factores para la remoción de hierro y manganeso (véase Figura 4.12).

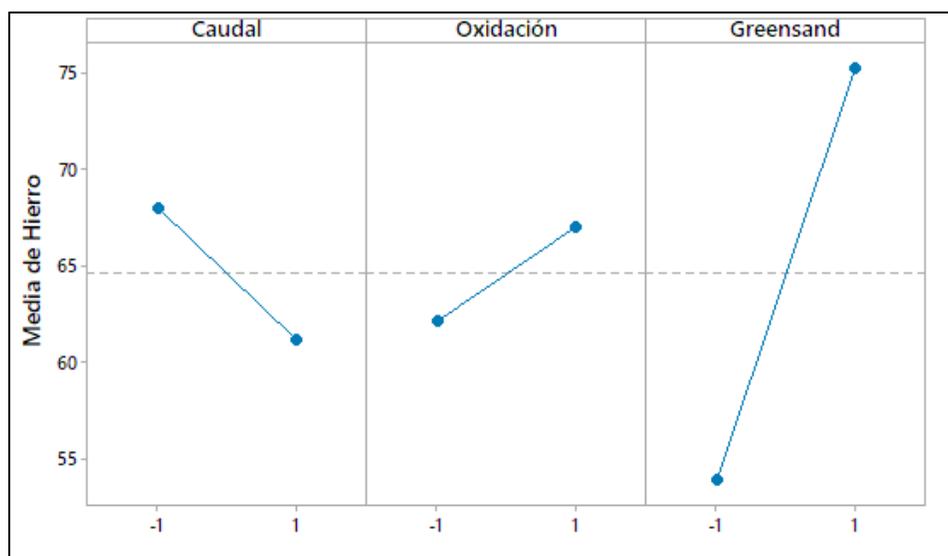


Figura 4.12 Gráfico de efectos principales para la reducción de hierro y manganeso.

Como puede observarse en la figura 4.12 el efecto que ejerce el caudal sobre la reducción de hierro es mayor al tender a su valor mínimo (-), mientras que el proceso de oxidación y la altura de lecho de Greensand Plus ejercen un mayor efecto cuando tienden a su valor máximo.

4.4.2.2 Resultados obtenidos en el procedimiento experimental para remover plomo

En la Tabla 4.12 se presentan los resultados obtenidos de la concentración de plomo en los cuatro experimentos realizados en el segundo sistema y su porcentaje de remoción.

Tabla 4.12 Secuencia de experimentos para el diseño tipo 2² con los respectivos resultados alcanzados para la remoción de Plomo en el segundo sistema

Prueba	Altura (carbón activado)	Caudal	Resultado de Pb (mg/l)	% de remoción de Pb
1	-	-	0.23	72.29
2	-	+	0.10	87.95
3	+	-	0.21	74.70
4	+	+	0.04	95.18

A partir de los datos presentados en la Tabla 4.12 se puede observar que el valor máximo de porcentaje de remoción de plomo alcanzado fue de 95.18 %, no habiendo logrado remover a valores por debajo de los límites máximos permisibles por la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08 (véase Anexo 14). Estos resultados pueden deberse a que el agua del pozo en el cantón Los Menjívar llevaba varios días sin ser bombeada al momento de realizar la recolección de muestras para llevar a cabo el diseño experimental, y dado a que es un pozo semi-cerrado (con una altura de 152.4 m entre la superficie y el acuífero subterráneo) las concentraciones de todos los contaminantes aumentaron y los criterios definidos a partir de las pruebas preliminares no fueron suficientes para lograr la remoción deseada de las partículas de hierro, manganeso y plomo, encontradas en el agua. Sin embargo, aunque no se logró remover los contaminantes a valores deseados para su consumo humano, se demostró que el sistema de adsorción tanto de Greensand Plus como de Carbón Activado Granular obtenido a partir de la cáscara de coco, posee la capacidad de remover los contaminantes de interés en este estudio.

Los resultados obtenidos de la remoción de plomo fueron tabulados y analizados con el uso de procedimientos estadísticos, obteniéndose para la variable respuesta “% de remoción de plomo” los resultados que se encuentran en la Tabla 4.13.

Tabla 4.13 Resumen de la estimación de los efectos del diseño 2² para la remoción de plomo

Termino	Efecto	Coefficientes	V.I.F.
Constante	-	82.53	-
A: Caudal	4.82	2.410	1
C: Carbón	18.07	9.035	1
AB	2.410	1.21	1

Con los datos de las estimaciones de los efectos para cada factor y de la combinación de los factores, se construyó el diagrama de Pareto (véase Figura 4.13), el cual permite comparar con mayor claridad la magnitud relativa de los efectos y la significancia estadística tanto de los efectos como de sus interacciones.

Como puede observarse en dicho diagrama, no se cuenta un factor significativo al 5 %, ya que ninguno de ellos sobrepasa la línea de referencia determinada con el método lenth, que tiene un valor de 91.87, por lo que se considera que ambos factores tienen igual efecto sobre el proceso de remoción de plomo.

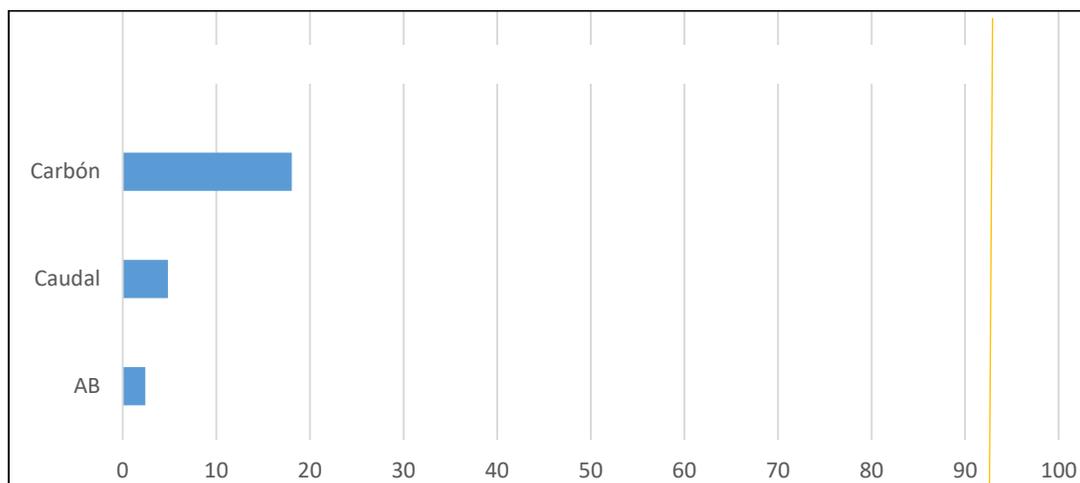


Figura 4.13 Gráfico de Pareto del diseño 2^2 para la remoción de plomo (la respuesta es plomo a $\alpha = 0.05$)

Siendo A: caudal y B: Altura de carbón activado.

Para confirmar la magnitud cuantitativa de los efectos y ver si efectivamente son significativos los factores obtenidos en el diagrama de Pareto se hizo un análisis de varianza el cual se detalla en la Tabla 4.14.

Tabla 4.14 Análisis de varianza del experimento de la remoción de plomo realizado como un diseño factorial 2

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio
Modelo	3	355.57	118.52
Lineal	3	3449.76	174.88
A: Caudal	1	23.23	23.23

Continúa

Tabla 4.14 Análisis de varianza del experimento de la remoción de plomo realizado como un diseño factorial 2² (continuación)

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio
B: Altura de Carbón	1	326.53	326.53
Interacciones de 2 términos	1	5.81	5.81
AB	3	5.81	5.81
Error	0	-	-
Total	7	355.56	-

Resumen del modelo:

R²= 100%

R² (ajustado)= 0%

Para analizar el comportamiento de cada uno de los efectos de manera separada se tiene el gráfico de efectos principales, en donde puede observarse la posición en donde son más influyentes los factores para la remoción de plomo (véase Figura 4.14).

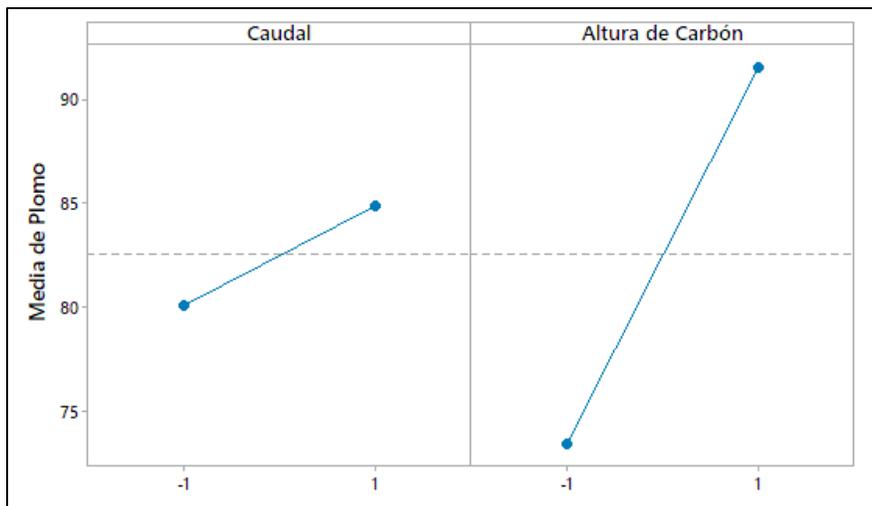


Figura 4.14 Gráfica de efectos principales para la reducción de plomo (medias ajustadas)

Como puede observarse en la Figura 4.14 el efecto que ejerce el caudal sobre la reducción de plomo es mayor al tender a su valor máximo (+), del mismo modo que la altura de lecho de carbón activado ejerce un mayor efecto cuando tiende a su valor máximo (+).

Cabe recalcar que el diseño experimental fue realizado únicamente con una réplica en todas las corridas llevadas a cabo, esto debido a las limitaciones presentadas en cuanto a los costos incurridos para llevar a cabo los análisis de las muestras de agua tratada en el sistema de potabilización, propuesto en este estudio, requeridos en el diseño experimental.

Manejar análisis con pocas réplicas a veces es riesgoso ya que los resultados pueden ajustarse al ruido y dar conclusiones erróneas, pero los datos obtenidos no presentan mucha variabilidad.

Sin embargo, el objetivo de utilizar un diseño factorial del tipo 2^k es encontrar los mejores valores de los factores seleccionados, que para este estudio son las alturas de lecho de los materiales adsorbentes, el caudal de alimentación y la oxidación previa, de manera que llevar a cabo el diseño 2^k no replicado es una alternativa confiable, ya que comprueba la efectividad del sistema de potabilización propuesto en este estudio, efectividad que se pudo ver reflejada en la prueba preliminar.

4.5 OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE POTABILIZACIÓN

Utilizando procedimientos estadísticos se procedió a realizar la optimización del experimento para la remoción de hierro, manganeso (véase Figura 4.15) y plomo (véase Figura 4.16).

Como se puede observar en la Figura 4.15 los valores con mayor deseabilidad están representados en color rojo y se consiguen cuando el caudal es mínimo (0.1662 l/min), con oxidación previa utilizando hipoclorito de calcio al 70 % (0.0103 g) y la altura de lecho máxima de Greensand Plus (11 cm).

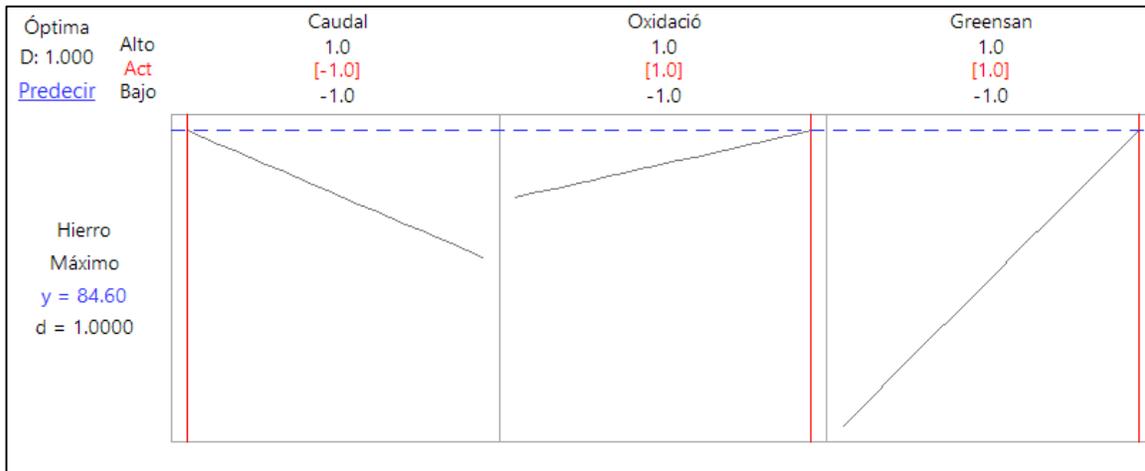


Figura 4.15 Gráficos de optimización para la remoción de hierro y manganeso

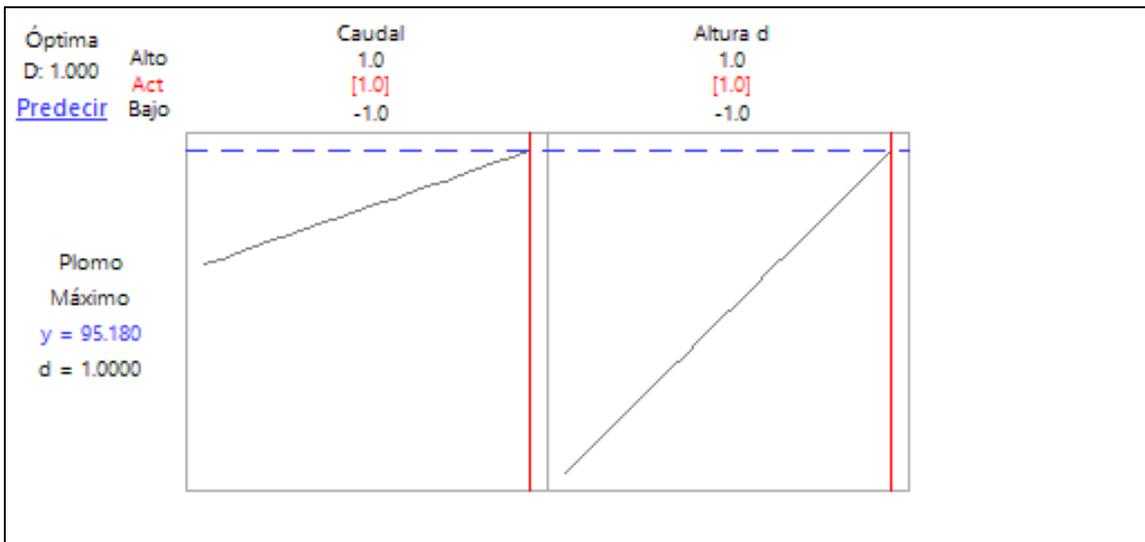


Figura 4.16 Gráficos de optimización para la remoción de plomo

Como se puede observar los valores con mayor deseabilidad están representados en color rojo y se consiguen cuando el caudal es máximo (0.2364 l/min), y la altura de lecho de carbón activado es máxima (16 cm). En los apartados anteriores se tiene el diagrama de Pareto para este experimento y se concluyó que el caudal no tiene la significancia suficiente al 5 % para optimizar la variable respuesta por lo que se tomarán como relevantes los valores de caudal que presenta el experimento para la remoción de hierro y manganeso.

4.6 EXPERIMENTO ÓPTIMO

A partir del análisis realizado en el diseño experimental, se procedió a elaborar el experimento en las condiciones óptimas para someter a prueba una muestra de agua de pozo del cantón Los Menjívar y evaluar la eficiencia del tratamiento realizado con el sistema operando en condiciones óptimas (véase Tabla 4.15).

Tabla 4.15 Condiciones óptimas obtenidas a partir de los análisis realizados en el diseño experimental

Prueba	Caudal	Oxidación	Altura (Greensand Plus)	Altura (Carbón Activado)	Deseabilidad
Optima	-	+	+	+	1
Valores	0.1662 l/min	Si se realizó el proceso de oxidación con 0.0103g de Hipoclorito de calcio	11 cm	16 cm	Línea de referencia en las Figuras 4.15 y 4.16

Siendo: (-) la representación para el valor mínimo y (+) la representación para el valor máximo.

4.6.1 Montaje experimental del sistema de potabilización

Luego de determinar las condiciones óptimas se procedió a realizar el montaje del equipo que consta de cuatro etapas: La primera etapa es de pre-cloración consiste en la oxidación del hierro y el manganeso con una concentración de 0.0103 g de hipoclorito de calcio al 70 % (véase Anexo 7), se aumentó la dosis de hipoclorito de calcio debido al aumento de concentración de hierro presentada en el agua de pozo por las razones ya antes mencionadas; el recipiente utilizado para ello es un tanque de contacto de 4.38 L de capacidad con un agitador manual incorporado. El tiempo de contacto y agitación manual llevado a cabo en esta etapa fue de 20 minutos por cada lote (véase Figura 4.17). La segunda etapa consta de una columna de adsorción de 24.5 cm de alto y 11 cm de diámetro, que tiene una capa de grava de 5 cm de altura cuya función es dar soporte al material filtrante.

Está separada por una capa de algodón, de 1 cm de altura, de una columna de 11 cm de altura Greensand Plus para llevar a cabo la filtración-adsorción de las partículas de hierro y manganeso previamente oxidadas para mejorar la efectividad de remoción del material filtrante. Finalmente contiene una segunda capa de algodón de 1 cm de altura y una malla metálica circular que sirve como soporte para evitar que el material filtrante se elevara mientras el agua fluía a través de él (véase Figura 4.18).



Figura 4.17 Primera etapa del sistema de potabilización en el experimento óptimo (Oxidación de Hierro y Manganeso con Hipoclorito de Calcio al 70 %).



Figura 4.18 Segunda etapa del sistema de potabilización en el experimento óptimo (Remoción de Hierro y Manganeso).

La tercera etapa está compuesta por una columna de adsorción de carbón activado para la remoción del plomo con una altura de 16 cm. Esta columna está separada con una capa de algodón, de 1 cm de altura, de una capa de grava de 5 cm de altura colocada al fondo del recipiente. Sobre la capa de carbón activado se colocó una capa de algodón de 1 cm y una malla metálica circular para dar soporte y evitar que las partículas de carbón activado se elevaran mientras el agua fluía a través de él (véase Figura 4.19).



Figura 4.19 Tercera etapa del sistema de potabilización en el experimento óptimo (Remoción de Plomo).

La cuarta etapa está compuesta por un tanque de contacto con características similares al de la primera etapa, en donde se debe llevar a cabo la desinfección del agua para la eliminación de microorganismos, y de ser necesario, la estabilización del pH del agua (véase Figura 4.20).



Figura 4.20 Cuarta etapa del sistema de potabilización (Desinfección mediante cloración).

En la Figura 4.21 se muestra el sistema de potabilización de agua de pozo del cantón Los Menjívar a nivel de laboratorio, operando a las condiciones óptimas del experimento.



Figura 4.21 Sistema de potabilización de agua de pozo del cantón Los Menjívar a nivel de laboratorio en condiciones óptimas.

4.6.2 Determinación de la reducción de hierro, manganeso y plomo utilizando el sistema de potabilización óptimo

Se recolectaron tres muestras de 1 L de agua de pozo del cantón Los Menjívar al final del sistema de potabilización, siguiendo el método estándar para la toma de muestras (véase Figura 4.22). Las muestras fueron llevadas al Laboratorio Físicoquímico de aguas de la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador para sus respectivos análisis, obteniéndose los siguientes valores (véase Tabla 4.16, Anexo 15):



Figura 4. 22 Recolección de muestras de 1 L de agua tratada en el sistema de potabilización del experimento óptimo, para su posterior análisis.

Tabla 4.16 Resultados obtenidos en las pruebas óptimas del sistema de potabilización

Prueba	Resultado de Fe (mg/l)	% de remoción Fe	Resultado de Mn (mg/l)	% de remoción Mn	Resultado de Pb (mg/l)	% de remoción de Pb
1	0.11	93.71	0.24	27.27	0.37	55.42
2	0.49	72	0.20	39.40	0.40	51.81
3	0.18	89.71	0.19	42.42	0.48	42.17
Promedio		85.14		36.36		49.80

A partir de los datos obtenidos en las pruebas óptimas del sistema de potabilización, se puede observar que el hierro obtuvo el mayor porcentaje promedio de remoción con un valor de 85.14%, seguido por el plomo con un valor de promedio de 49.80% y por último el manganeso con un valor promedio de 36.26%. Por lo que se recomienda hacer mejoras al sistema de potabilización propuesto en este estudio, a nivel de laboratorio, en futuras investigaciones, para lograr alcanzar valores deseados que garanticen la calidad del agua para consumo humano.

En la Tabla 4.17 se presentan los resultados de la caracterización final realizada al agua de pozo tratada en el sistema de potabilización operando a las condiciones óptimas, donde se puede observar que, en efecto, las concentraciones de Hierro, Manganeso y Plomo están por encima de los valores máximos permisibles por la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08 para agua potable (véase Anexo 16).

Tabla 4.17 Resultados obtenidos de la caracterización del agua tratada en la prueba final

Parámetros	Método de Análisis	Resultados	Límite Máximo Permisible NSO 13.07.01:08
Color verdadero	Fotométrico	9.4 Pt-Co	15 Pt-Co
Turbidez	Fotométrico	3.26 UNT	5 UNT

Continúa

Tabla 4.17 Resultados obtenidos de la caracterización del agua tratada en la prueba final (continuación)

Parámetros	Método de Análisis	Resultados	Límite Máximo Permisible NSO 13.07.01:08
Hierro total	Fotométrico	0.63 mg/L	0.30 mg/L
Plomo	Fotométrico	0.32 mg/L	0.01 mg/L
Manganeso	Fotométrico	0.25mg/L	0.1 mg/L
Conductividad	Potenciométrico	393 μ /cm	-
Dureza total	Volumétrico	77 mg/L	500 mg/L
Sólidos totales disueltos	Potenciométrico	193.6 mg/L	1000 mg/L

Los resultados obtenidos en la caracterización realizada con las condiciones óptimas encontradas en el análisis de datos realizado en procedimientos estadísticos (16 cm de Greensand Plus, 11 cm de Carbón Activado, realización del proceso de oxidación con 0.0103 g de hipoclorito de calcio al 70 %) (Véase tabla 4.17) nos confirman que la metodología, el proceso y el sistema seleccionados si cumplen con el propósito de remover los contaminantes. Sin embargo, los valores obtenidos en la concentración de hierro, manganeso y plomo no logran estar dentro de los límites máximos permisibles por la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08.

CAPITULO V. PROPUESTA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA AGUAS DE POZO.

Para la remoción de hierro, manganeso y plomo del agua de pozo del cantón Los Menjívar, se utilizó un sistema de tratamiento elaborado a nivel experimental, viable económicamente y fácil de operar. Los principales parámetros para evaluar fueron la eficiencia de Greensand Plus para adsorber hierro y manganeso, y del carbón activado para adsorber plomo. Dicho sistema se elaboró con el objetivo de realizar una prueba preliminar para posteriormente optimizarlo con un diseño experimental.

En la etapa experimental preliminar se propuso un sistema de tratamiento de cuatro etapas que consistía, en la primera etapa, de un tanque de contacto con agitación manual cuya función es llevar a cabo la oxidación previa de las partículas solubles de Fe (II) y Mn (II) contenidas en el agua de pozo; una segunda etapa que consistía en un recipiente donde se llevó a cabo la remoción de hierro y manganeso mediante una capa de grava de 2 cm de altura y una capa de Greensand Plus de 8 cm de altura, separadas mediante una capa de algodón y una malla metálica para evitar la pérdida de material, y en la parte superior otra capa de algodón y malla como soporte para evitar la elevación del material filtrante; en la tercera etapa que consistía en una capa de 2 cm de grava y una columna de 5 cm de altura de carbón activado, con dos capas de algodón y malla metálica dispuestas de la misma forma que en el recipiente anterior; finalmente, una cuarta etapa destinada a la desinfección del agua mediante cloración. A partir de la prueba preliminar, se obtuvieron resultados positivos, logrando una reducción de hasta un 92.55% de hierro, 74.14% de manganeso y 72.73% de plomo, lográndose alcanzar los límites permisibles por la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08 para agua potable en el caso de hierro y manganeso, y valores cercanos a este límite de plomo. Sin embargo, dado que las concentraciones de estas sustancias varían según transcurre la estación lluviosa o seca del año, se procedió a plantear un diseño experimental, para posteriormente optimizar el experimento y encontrar los valores óptimos de los factores que afectan el tratamiento del agua de pozo para su potabilización.

El diseño experimental realizado en la segunda etapa del sistema consistió en un modelo 2^k con tres factores, los cuales eran caudal, altura de la columna de Greensand Plus y oxidación previa, con valores máximos y mínimos, para determinar su significancia en el tratamiento del agua en la etapa de remoción de hierro y manganeso. Se realizaron 8 corridas experimentales, combinando los valores máximos y mínimos para cada factor, utilizando la Tabla de Yates. Posteriormente, se analizaron los resultados obtenidos utilizando procedimientos estadísticos.

El diseño experimental llevado a cabo en la tercera etapa del sistema consistió también en un modelo 2^k , pero con dos factores, los cuales eran caudal y altura de la columna de Carbón activado, con valores máximos y mínimos. Se realizaron 4 corridas experimentales, combinando los valores máximos y mínimos para cada factor, como en la etapa anterior. Posteriormente, se analizaron los resultados obtenidos utilizando procedimientos estadísticos.

El experimento de optimización mostró que los valores para alcanzar una mayor remoción de hierro y manganeso en el agua de pozo del cantón Los Menjívar son una altura en su valor máximo de 11 cm de Greensand Plus, caudal de 0.1662 L/min en su valor mínimo y oxidación previa. Para el caso de la tercera etapa, los valores para alcanzar una mayor remoción de plomo fueron un caudal de 0.1662 L/min en su mínimo valor y altura máxima de carbón activado de 16 cm.

Se procedió a reproducir los valores óptimos experimentalmente, utilizando un sistema de tratamiento con modificaciones respecto al sistema preliminar, para mejorar la calidad del agua obtenida, alcanzando una efectividad de remoción 85.14 % para el hierro, 36.36 % para el manganeso y 49.80 % para el plomo. La pre-cloración se llevó a cabo con el objetivo de oxidar las partículas de Fe (II) y Mn (II) con una concentración de 0.0103 g de hipoclorito de calcio al 70%, el recipiente utilizado para ello es un tanque de contacto con agitación manual y una capacidad de 4.38 L. El tiempo de contacto y agitación establecido fue de 20 minutos.

5.1 PROPUESTA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA POTABILIZAR EL AGUA DEL POZO DEL CANTÓN LOS MENJÍVAR

5.1.1 Descripción del proceso de tratamiento experimental

En base a los resultados obtenidos en el desarrollo experimental se definió el sistema con las condiciones óptimas de los factores significativos para remover Hierro, Manganeso y Plomo, para mejorar la calidad del agua del pozo que abastece al sitio de interés. El diseño óptimo del sistema de potabilización de agua a nivel de laboratorio se desarrolla en las siguientes 4 etapas:

Etapa I: En esta etapa se alimenta el agua al tanque de contacto para llevar a cabo la precloración, donde se dosifica una cantidad previamente calculada de hipoclorito de calcio al 70 % en base a las concentraciones de Fe (II) y Mn (II) presentadas en los resultados de la caracterización del agua de pozo, y a la estequiometría de las reacciones químicas. El tanque de contacto cuenta con un agitador manual que garantiza la eficiencia de la reacción del agente oxidante con las partículas de hierro y manganeso en un tiempo de contacto de 20 minutos, además de retener partículas depositadas en el fondo del tanque por acción gravitatoria.

Etapa II: Al finalizar el tiempo de contacto y agitación manual de la etapa anterior se procede a descargar el agua directamente a la columna de adsorción subsecuente con ayuda de una bomba sumergible de 8 watts. El agua se hace pasar por una columna de Greensand Plus en donde se lleva a cabo la oxidación de las partículas de hierro y manganeso, que no fueron oxidadas en la etapa anterior, en la superficie del medio filtrante. Posteriormente, las partículas son retenidas por adsorción disminuyendo considerablemente la concentración de hierro y manganeso en el agua.

Etapa III: El agua proveniente de la etapa anterior pasa por una columna de Carbón Activado Granular obtenido a partir de la cáscara de coco, el cual, además de eliminar el color, sabor y olor, como parte de sus propiedades como material adsorbente también remueve Pb (II) que se encuentra en altas concentraciones en el agua de pozo. Al igual que en la etapa anterior, es necesario aumentar la altura del lecho de carbón activado para obtener mejores resultados.

Etapa IV: Finalmente, el agua procedente de la etapa anterior, es recolectada nuevamente en un tanque de contacto con agitador manual donde se lleva a cabo el proceso de post-cloración para la desinfección del agua con el objetivo de eliminar los microorganismos contenidos en ella, dosificando concentraciones de hipoclorito de calcio previamente calculadas, proporcionando un tiempo de contacto de 20 minutos y de reposo de 30 minutos para que el cloro elimine las bacterias presentes. En esta etapa también se debe llevar a cabo la estabilización del pH del agua en caso de ser necesario.

5.1.2 Caracterización de materias primas

Los materiales utilizados para la elaboración del sistema de tratamiento de agua se seleccionaron en base a su disponibilidad y facilidad para adquirirlos dentro del país, y por sus propiedades requeridas para la remoción de las partículas de interés en este estudio.

5.1.2.1 Greensand Plus (Inversand Company, 2018)

Greensand Plus o también llamada arena verde, es un medio filtrante color morado-negro usado para remoción de hierro, manganeso y sulfuro de hidrógeno de los suministros de agua subterránea. También puede remover radio y arsénico. Es procesada con minerales de glauconita y zeolita.

Utiliza arena sílica recubierta de dióxido de manganeso que actúa como un catalizador en la reacción de oxidación-reducción del hierro y el manganeso generando su precipitación en el medio y además le permite soportar aguas con bajo contenido de sílice, TDS y dureza sin descomponerse. Cuando se inyecta un oxidante fuerte en la corriente de agua cruda antes de un filtro Greensand Plus, el hierro soluble y el manganeso se oxidan fácilmente y los precipitados quedan atrapados por los medios.

Es más eficaz a temperaturas de funcionamiento y presiones diferenciales más altas que la arena verde de manganeso, lo que proporciona tiempos de ejecución más largos entre los retrolavados y un mayor margen de seguridad. Este material debe regenerarse, ya sea en operación continua o intermitente y puede utilizar cloro o permanganato para su regeneración. No requiere cambios en la velocidad de retrolavado, en los tiempos ni en los productos químicos.

Adicionalmente la arena verde está fabricada bajo las normas americanas ANSI/NSF Estándar 61 para componentes en tratamiento de agua potable. Los sistemas pueden diseñarse utilizando filtros de presión verticales u horizontales, así como filtros de gravedad. En esta sección se muestran las características físicas y las condiciones de operación bajo las cuales se puede hacer un correcto diseño de un sistema utilizando filtros Greensand Plus (véase Tabla 5.1 y Tabla 5.2):

Tabla 5.1 Características físicas de Greensand Plus

Número de malla	18 x 60 mesh
Color	Marrón claro a marrón rojizo
Densidad	100 lb/pie ³
Tamaño efectivo	0.45-0.55 mm
Coefficiente de uniformidad	1.6 o menos
Solubilidad en ácido	0.3–1.6 %

Fuente: Ficha técnica de Greensand Plus.

Tabla 5.2 Condiciones de operación de Greensand Plus

pH del agua	6.2 a 8.5
Profundidad de cama	30 pulgadas
Espacio de la cama	35 – 50 %
Caudal de servicio	2–5 gpm/pies ² (5-12 m/h)
Flujo de retrolavado	12 gpm/pies ² a 55 °F (30 m/h a 13 °C)
Temperatura máxima	Sin límites
Límite máximo práctico de hierro (Fe⁺⁺) o manganeso (Mn⁺⁺) en agua cruda	15 ppm

Fuente: Ficha técnica de Greensand Plus.

5.1.2.2 Carbón activado (Carrillo y Sánchez, 2013)

El nombre de carbón activado se aplica a una serie de carbones porosos preparados artificialmente, a través de un proceso de carbonización, para que exhiban un elevado grado de porosidad y una alta superficie interna. El carbón activado es un adsorbente muy versátil, ya que el tamaño y la distribución de sus poros en la estructura carbonosa pueden ser controlados para satisfacer las necesidades de tecnología actual y futura.

El carbón activado posee la capacidad de adherir o retener en su superficie uno o más componentes del líquido que está en contacto con él. Este fenómeno se denomina poder adsorbente. También se caracteriza por poseer una superficie específica (alrededor de 500 a 1500 m²/g) con una gran cantidad de poros muy finos que son los que adsorben ciertos compuestos no deseados. Son las altas temperaturas, la atmósfera especial y la inyección de vapor del proceso de fabricación del carbón activado lo que activa y crea la porosidad.

La estructura única del carbón activado, pone a disposición un área superficial de adsorción de grandes dimensiones. Típicamente 1 kg de carbón activado granular posee un área superficial de 1.1x10⁶ m².

El carbón activado puede ser producido a partir de una gran variedad de materias primas carbonizables, siendo entre ellas las principales: Carbón mineral, cáscara de coco, madera, lignita, etc. Las propiedades intrínsecas del carbón activado que se obtiene son totalmente dependientes de la fuente de materia prima utilizada.

La concha de coco, es muy utilizada para producir carbón activado comercial, debido a su disponibilidad y bajo costo, ya que los productos obtenidos a partir de él tienen las propiedades que cubren toda la gama de aplicaciones que el Carbón Activado puede tener. El Carbón Activado de Coco es el carbón con más proporción de microporos, por lo tanto, es el más adecuado para retener moléculas pequeñas; es el carbón más utilizado para purificación de aguas, ya que es el más duro y resistente a la abrasión. En la Tabla 5.3 se presentan algunas propiedades de este tipo de carbón activado:

Tabla 5.3 Propiedades del carbón activado granular obtenido de la cáscara de coco

Materia prima	Cáscara de coco
Microporos	Altos
Macroporos	Bajos
Dureza	Alta
Cenizas	5 %
Cenizas solubles en agua	Altas
Polvo	Bajo
Regeneración	Buena
Densidad Aparente	0.48 g/cc
Número de lodo	1100

Fuente: Carrillo y Sánchez, 2013.

La estopa de coco es adecuada para la preparación de carbón activado microporoso debido a su excelente estructura natural y a su bajo contenido de cenizas. El mesocarpio de coco posee grandes potencialidades para adsorber iones de metales pesados.

Su naturaleza porosa es un elemento que influye en su elevada adsorptividad, además contiene lignina (15-36 %), celulosa (33-61 %), pentosa (29,27 %) y ceniza (0,61 %), entre otros componentes. Sus propiedades adsorptivas se atribuyen a la presencia de algunos grupos funcionales como el carboxilo, el hidroxilo, y la lactona, que tienen una elevada afinidad por los iones metálicos. La interacción que gobierna la captación de los iones metálicos en el mesocarpio está dada principalmente por la presencia de lignina y celulosa, ya que poseen grupos funcionales como alcoholes y grupos carboxilo, que intervienen en el intercambio del ion mediante la formación de complejos con los cationes metálicos. (Pérez, 2015).

La lignina presenta propiedades químicas como dispersante, adsorbente, aglomerante, emulsionante y estabilizador de emulsiones. Debido a la presencia de estos sitios activos, la molécula de lignina tiene mayor afinidad con iones metálicos, por lo que puede ser utilizada en la adsorción de metales pesados como Pb (II), Cu (II), Cd (II), Zn (II), y Ni (II) en el tratamiento de aguas (véase Tabla 5.4). (Ramírez y Enríquez, 2014).

Tabla 5.4 Características de la Lignina, principal materia prima del mesocarpio de coco.

Materia prima	Lignina
Carbón (%)	35-40
Volátiles (%)	58-60
Densidad (g/cc)	0.3-0.4
Ceniza (%)	-
Textura del carbón activado	Suave, gran volumen de poro
Aplicación	Adsorción en fase acuosa

Fuente: Pérez y Ventura, 2019.

5.1.2.3 Grava (Carbotecnia, 2004)

Cuando el tamaño de los orificios del sistema de descarga de agua del filtro es más grande que el de las partículas del medio filtrante, se requiere un sistema de capas de grava de soporte para prevenir que el medio filtrante se escape y tape la salida del filtro. La grava además ayuda a distribuir al fluido en los retrolavados para que sean más eficientes.

Se recomienda usar los siguientes parámetros para seleccionar el tamaño y el espesor de las capas de grava:

- a. El tamaño de las partículas de cada capa debe ser lo más uniforme posible, con una relación del tamaño de la partícula mayor entre la menor no mayor de 2.
- b. El tamaño de la partícula más pequeña de la capa superior debe ser de 4 a 4.5 veces el tamaño efectivo del medio filtrante más fino a ser retenido.
- c. Entre capa y capa de grava, la relación del tamaño (diámetro) de la partícula más grande de la capa inferior entre el de la partícula más chica de la capa superior no debe ser mayor a 4.
- d. Las partículas más chicas de la capa de grava base deben ser de 2 a 3 veces el tamaño del orificio del sistema de recolección de salida del líquido.
- e. El espesor de cada capa de grava debe ser al menos 3 veces el diámetro de la partícula más grande, pero no menor a 3 pulgadas, en cualquier caso.

La grava debe consistir en un material donde la mayoría de partículas son redondeadas. Estas deben poseer gran dureza y resistencia a la degradación durante el manejo y uso. Deben cumplir con las especificaciones de solubilidad en ácido y dureza, que se muestran en la Tabla 5.5. Además, no más de un 25 % (en peso) de las partículas podrán tener más de una cara fracturada.

Un máximo de 2 % (en peso) de las partículas podrán ser planas o alargadas, entendiendo por alargada, una partícula cuyo eje mayor sea más de 5 veces el eje menor. Las gravas deben estar visiblemente libres de partículas ajenas como tierra y no deben tener más de 8 % (en peso) de finos, ni más de 8 % en gruesos.

Tabla 5.5 Características físicas de las gravas

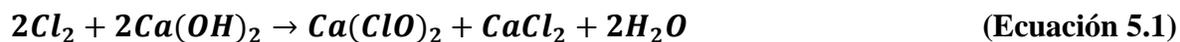
Tamaño de partícula (mm)	Solubles en ácido (% máx.)	Gravedad Específica
<2.36	5	2.5
2.36-25.4	17.5	2.5
>25.4	25	2.5

Fuente: Carbotecnia, 2004.

5.1.2.4 Hipoclorito de Calcio (Díaz, 2019)

El hipoclorito de calcio es un compuesto inorgánico de fórmula $\text{Ca}(\text{ClO})_2$. Es una sal comercializada como gránulos o comprimidos. Se descompone fácilmente en agua liberando oxígeno y cloro. Tiene un fuerte olor a cloro y se utiliza principalmente como agente blanqueador o desinfectante.

El proceso de producción de hipoclorito de calcio consiste básicamente en una reacción de cal hidratada (hidróxido de calcio) con cloro gaseoso mediante la cloración de una suspensión de cal y sosa cáustica con precipitación subsiguiente de hipoclorito de calcio dihidratado, secado al vacío. La reacción es la siguiente:



El compuesto posee un peso molecular de 142.98 g/mol y una densidad de 2.35 g/ml. Tiene un punto de fusión de 100 °C y un punto de ebullición de 175 °C donde comienza a descomponerse. El compuesto es soluble en agua siendo capaz de disolver 21 gramos por cada 100 ml de este solvente. Algunas de las propiedades físicas y químicas del hipoclorito de calcio se muestran en la Tabla 5.6.

Tabla 5.6 Características físicas y químicas del Hipoclorito de Calcio

Características	Especificación
Cloro Activo	67 % min.
Insolubles	5 % máx.
Humedad	10 % máx.
Olor	Característico de cloro o hipoclorito

Fuente: Díaz, 2019.

El hipoclorito de calcio es un poderoso agente oxidante, particularmente en medio acuoso y al descomponerse cuando se calienta para liberar oxígeno y gases de cloro. Sus usos son los siguientes:

- i. En potabilización del agua, tratamiento de aguas residuales, piscinas y otras.
- ii. Desinfección de equipos para el procesamiento de bebidas, alimentos, etc.
- iii. En las industrias cervecera, de bebidas gaseosas, vinos, jugos de frutas, etc.
- iv. Control microbiológico en la agricultura (frutas, papas, vegetales, etc.) asimismo en el saneamiento de equipos y ambientes de las industrias lecheras, pesqueras, cárnicas, granjas avícolas, etc.

5.1.3 Diseño del sistema de tratamiento

La propuesta de diseño de un sistema de potabilización de agua del pozo que abastece al cantón Los Menjívar, San Francisco Lempa, Chalatenango, como ya se describió en la sección 5.2.1 consta de cuatro etapas, en donde primero se lleva a cabo la oxidación de las partículas de Fe (II) y Mn (II), luego la remoción de las mismas con Greensand Plus, posteriormente la remoción de las partículas de Pb (II) mediante adsorción con carbón activado y finalmente la desinfección mediante cloración.

En el sistema de tratamiento se utilizaron recipientes que cumplen con las medidas necesarias para contener material filtrante y simular tanques de contacto con agitación manual a nivel de laboratorio. En la Tabla 5.7 se muestra el costo del equipo y materia prima propuestos:

Tabla 5.7 Costo del sistema de potabilización

Cantidad	Descripción	Precio en el mercado	Total
2	Carcasas portafiltro	\$13.95	\$27.90
2	Depósitos de 4.38 L con tapadera y agitador manual.	\$4.07	\$8.13
1 m	Manguera	\$0.25	\$0.25
1 m	Tubería de PVC para unión.	\$0.55	\$0.55
1	Grifo cuello de ganso.	\$2.95	\$2.95
1	Soporte para el sistema de potabilización.	\$20.00	\$20.00
2.2 Lb	Hipoclorito de calcio	\$1.28	\$3.10
3.5 Lb	Greensand Plus	\$7.60	\$26.60
2 Lb	Carbón Activado	\$3.75	\$7.50
1 yd	Malla de fibra de vidrio	\$0.80	\$0.80
1	Bomba sumergible de 8 watts.	\$12.90	\$12.90
Total			\$ 110.40

5.1.3.1 Montaje del sistema de tratamiento

El sistema de potabilización consta en la primera etapa de un recipiente de plástico con capacidad de 4.38 litros y una tapadera con un agitador manual, tipo paleta plana, incorporado.

En este recipiente se lleva a cabo la oxidación, con una concentración previamente calculada de hipoclorito de calcio al 70 %, de Fe (II) y Mn (II) contenidos en 1 galón de agua de pozo.

La segunda etapa consta de un recipiente con tapadera de rosca y un tamiz metálico cuya función es evitar la pérdida de materiales y dar soporte al lecho de Greensand Plus para evitar su elevación mientras el agua fluye por el mismo. En esta etapa se coloca una columna de 11 centímetros de Greensand Plus que es el responsable de la remoción de hierro y manganeso contenidos en el agua de pozo. La entrada de agua desde el primer tanque de contacto se lleva a cabo a través de una manguera de ¾”.

En el tercer recipiente se lleva a cabo la remoción del color, olor y sabor del agua, y además la adsorción de las partículas de Pb (II) contenidas en la misma. El recipiente consta de una tapadera de rosca y una entrada de 1”. Está conectado mediante un tubo PVC de 1” al recipiente anterior. En su interior contiene una columna de 16 centímetros de carbón activado granular obtenido a partir de cáscara de coco. Consta también de una salida de 1” en la parte inferior.

El cuarto recipiente tiene las mismas características del primer recipiente. Es un tanque de contacto donde se lleva a cabo la desinfección del agua con hipoclorito de calcio al 70%. Este recipiente contiene una entrada en la parte superior conectada mediante una tubería de PVC al recipiente anterior y una salida con grifo que sirve como dispensador del agua tratada, ambas de 1”. Esta es la etapa final del sistema de potabilización.

En la tabla 5.8 se muestran los parámetros de operación del sistema de tratamiento propuesto.

Tabla 5.8 Parámetros de operación del sistema de potabilización propuesto

Parámetros de operación	
Tasa de filtración	0.3 L/min
Agente oxidante	Hipoclorito de calcio al 70%
Material de adsorción	Greensand, carbón activado
Diámetro de tubos de entrada	1"
Diámetro de tubos de salida	1"
Capacidad del tanque de contacto	4.38 L
Diámetro de carcasa del filtro	11.0 cm
Longitud de carcasa del filtro	24.5 cm
Altura del lecho de Greensand	11.0 cm
Altura del lecho de carbón activado	16.0 cm

En la Figura 5.1 se muestran los planos del sistema propuesto para potabilizar el agua de pozo que abastece al cantón Los Menjívar, a nivel de laboratorio, y que fue utilizado para la realización del experimento óptimo.

5.1.4 Mantenimiento del sistema de tratamiento

Es de suma importancia tener en cuenta el mantenimiento regular de cada una de las etapas del sistema de potabilización propuesto, para garantizar la obtención de resultados confiables en el tratamiento de agua del pozo. En esta sección se describen las metodologías utilizadas para llevar a cabo tanto el acondicionamiento como la regeneración de los materiales adsorbentes utilizados en el sistema de tratamiento propuesto en este estudio.

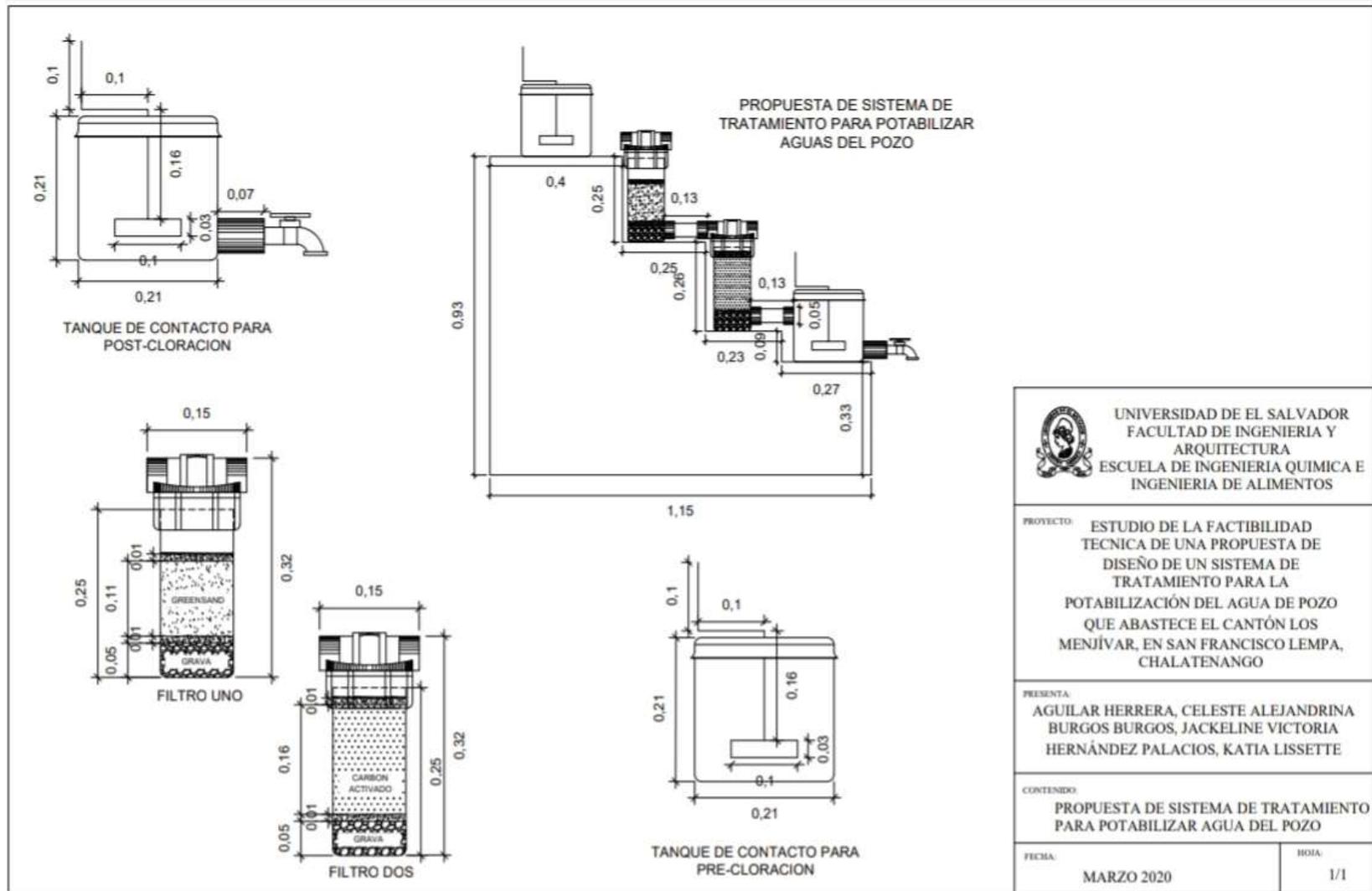


Figura 5.1 Planos de propuesta de sistema de potabilización de agua del pozo del cantón Los Menjívar a nivel de laboratorio

5.1.4.1 Greensand Plus (Inversand Company, 2018)

El hierro y el manganeso solubles se oxidan y precipitan a medida que entran en contacto con la arena. Una vez que el lecho del filtro está lleno de estas partículas oxidadas, debe limpiarse mediante lavado a contracorriente o enjuague, ya que Greensand Plus tiene una capacidad oxidante limitada antes de que deba regenerarse para continuar funcionando. Existen dos formas de regenerar Greensand Plus.

1. **Regeneración por lotes:** Regeneración periódica, generalmente realizada cada tres días. Una vez que se agota el poder de la capacidad oxidante, el lecho filtrante se puede regenerar con una solución débil de permanganato de potasio, también conocido como PotPerm. Una dosis de 1½ a 2 onzas de permanganato de potasio en solución, por pie cúbico de Greensand Plus se considera suficiente para la regeneración normal.
2. **Regeneración constante:** Este método implica alimentar cloro (Cl_2) en un tanque de retención o almacenamiento antes del filtro Greensand Plus. Un residuo de cloro transportado a través del filtro mantendrá Greensand Plus en una condición continuamente regenerada para un rendimiento superior.

También es importante tener en cuenta que antes de poner en servicio Greensand Plus, debe acondicionarse mediante la regeneración. Los medios deben recibir un lavado a contracorriente y eliminar los finos de la superficie de la cama antes del acondicionamiento.

Para acondicionar Greensand Plus adecuadamente se debe seguir el siguiente procedimiento:

1. Mezclar 0.5 gal (1.9 L) de lejía doméstica al 6 % ó 0.75 L (0.2 gal) de hipoclorito de sodio al 12 % por cada 1 pie³ (28.3 L) de Greensand Plus en 6.5 galones (25 L) de agua.

2. Drenar el filtro lo suficiente como para agregar la mezcla de cloro diluido.
3. Aplicar el cloro diluido al filtro asegurándose de permitir que la solución entre en contacto con los medios Greensand Plus.
4. Dejar en remojo durante un mínimo de 4 horas, luego enjuagar hasta que el residuo de cloro libre sea inferior a 0.2 mg/L.

Los medios Greensand Plus deben lavarse antes de agregar la tapa de antracita. La velocidad de retrolavado Greensand Plus debe ser un mínimo de 12 gpm /pie² a 55 ° F. Una vez finalizado el lavado a contracorriente, el Greensand Plus debe estar acondicionado.

5.1.4.2 Carbón activado (Pérez y Ventura, 2019)

Los lechos de carbón activo van perdiendo capacidad de adsorción a medida que el propio carbón va saturándose de las sustancias adsorbidas, llegando a un punto de ruptura tal que hay que tomar la decisión de proceder a su regeneración, para lo cual hay que extraer este carbón y trasladarlo a la instalación de regeneración correspondiente. Los métodos para regenerar el carbón granular se basan en:

- a) Paso de vapor a baja presión a través del lecho, para evaporar y eliminar el disolvente ocluido. Si el carbón usado sólo ha adsorbido algunos productos muy volátiles, puede practicarse la regeneración del mismo mediante vapor, que además es útil para quitar la obstrucción de la superficie de los gránulos y esterilizar el carbón.
- b) Extracción del adsorbato mediante un disolvente, un ácido o un álcali. Se citan desarrollos que emplean un disolvente a 100 °C y a pH elevado, con pérdidas de carbón del orden del 1 %.
- c) Regeneración por vía térmica.

d) Tratamiento del carbón con gases oxidantes.

Es frecuente el uso de una de las dos primeras técnicas en combinación con las siguientes; así, el carbón granular se regenera fácilmente por oxidación de la materia orgánica y su posterior eliminación de la superficie del carbón en un horno.

La técnica de regeneración de mayor uso es la térmica, pero ésta demanda un alto consumo de energía y es necesario el traslado del carbón a empresas donde pueda ser tratado.

El Instituto de Materiales de la Universidad de Alicante en el año 2017 desarrolló un nuevo procedimiento para la regeneración de materiales porosos saturados con contaminantes mediante métodos electroquímicos. Esta tecnología permite la regeneración del carbón activado y la transformación de los contaminantes desorbidos en un solo paso y en el mismo sitio (in situ) donde se produce la saturación del material poroso. Se trata de un proceso muy sencillo, eficiente y económico que aporta una serie de ventajas respecto a la regeneración térmica utilizada actualmente, entre ellas:

- i. Posee un alto rendimiento en la regeneración.
- ii. Permite destruir los contaminantes adsorbidos o transformarlos en otros (menos tóxicos o de alto valor añadido).
- iii. No se modifica la porosidad y las propiedades iniciales del carbón.
- iv. Tiene un consumo más bajo de energía.
- v. La tecnología se puede adaptar a los sistemas existentes para llevar a cabo la regeneración in situ.

Por tanto, el proceso de regeneración electroquímica es muy versátil y permite tanto la regeneración del carbón activado al término de su vida útil, como la transformación del contaminante. Además, permite el aumento del rendimiento en el proceso de adsorción durante el uso del carbón activado.

En casos en los que no se considere la regeneración del adsorbente, se deberá disponer del mismo de acuerdo con la legislación y manejarlo como un residuo peligroso.

5.2 MEJORAS PROPUESTAS AL SISTEMA EXPERIMENTAL

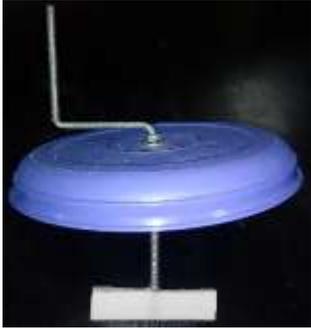
En la tabla 5.9 se proponen algunas mejoras a realizar al sistema de potabilización de agua de pozo del cantón Los Menjívar a nivel de laboratorio, con el objetivo de alcanzar mayores eficiencias de remoción de hierro, manganeso y plomo, logrando obtener valores bajo los límites máximos permisibles por la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08 para agua potable.

Tabla 5.9 Propuesta de mejoras al sistema de potabilización

MEJORAS	DISEÑO EXPERIMENTAL	DESVENTAJAS	PROPUESTA
<p>Contenedores del sistema.</p>	 <p><u>Características:</u> Color transparente. Diámetro regular de 11 cm y Altura de 24.5 cm. Tapadera de rosca.</p>	<p>Espacio limitado para aumentar la altura del lecho filtrante.</p> <p>Difícil manipulación de los componentes utilizados.</p>	 <p><u>Características:</u> Color transparente. Diámetro regular de 11 cm y Altura de 50.8 cm. Tapadera de rosca.</p>
<p>Tamices de retención de sólidos</p>	<p><u>Características:</u> Elaborados con mallas de tela metálica de aluminio de 1 mm.</p>	<p>Se oxida fácilmente al permanecer en contacto con el agua retenida en los filtros.</p>	 <p><u>Características:</u> Malla de fibra de vidrio fina. Retenedor de sólidos.</p>

Continúa

Tabla 5.9 Propuesta de mejoras al sistema de potabilización (continuación)

MEJORAS	DISEÑO EXPERIMENTAL	DESVENTAJAS	PROPUESTA
<p>Sistema de agitación de los tanques de contacto.</p>	 <p><u>Características:</u> Varilla de acero inoxidable de 12 cm de longitud. Paleta de lámina de acrílico de 10 x 2.5 cm.</p>	<p>Agitación poco eficiente. Control de velocidad no precisa. Incomodidad en la aplicación.</p>	 <p><u>Características:</u> Agitador mecánico de laboratorio. Tamaño del banco de trabajo de 20 x 30 cm. Capacidad de carga máxima de 10 L. Velocidad ajustable de 60~2000 rpm. Voltaje de 220~250 V.</p>

Continúa

Tabla 5.9 Propuesta de mejoras al sistema de potabilización (continuación)

MEJORAS	DISEÑO EXPERIMENTAL	DESVENTAJAS	PROPUESTA
<p>Montaje del sistema de potabilización</p>	<p><u>Características:</u></p> <p>Los recipientes utilizados en el sistema para la remoción de hierro y manganeso con Greensand Plus y para la remoción de plomo con carbón activado tienen una longitud de 24.5 cm.</p> <p>Conectados mediante tuberías horizontales.</p> <p>Flujo de agua por gravedad.</p>	<p>La longitud de los recipientes no permite el aumento de la altura del lecho tanto de Greensand Plus como de carbón activado para mejorar la eficiencia de remoción.</p> <p>El sistema no cuenta con recirculación.</p>	<p>Se propone colocar las columnas de adsorción en serie, tanto para la remoción de hierro y manganeso con Greensand Plus como para la remoción de plomo con carbón activado o aumentar la altura de los lechos, necesitando para ello recipientes más grandes como los especificados al inicio de esta Tabla.</p> <p>Se propone incluir en el sistema la recirculación del agua tratada con el fin de mejorar la calidad del agua a la salida del sistema y que cumpla con los requisitos de calidad para su consumo humano.</p>

CAPITULO VI. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

En el capítulo IV se presentaron los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizados al agua del pozo que abastece al cantón Los Menjívar, San Francisco Lempa, Chalatenango, los cuales fueron realizados por el Laboratorio Fisicoquímico de aguas y Laboratorio de Calidad Microbiológica de aguas respectivamente, ambos ubicados en la Facultad de Química y Farmacia de la Universidad de El Salvador. A partir de estos resultados obtenidos, se procedió al diseño experimental con el objetivo de determinar los factores óptimos de funcionamiento del sistema de potabilización basado en las metodologías seleccionadas para la remoción del hierro, manganeso y plomo en aguas para consumo humano expuestas en el capítulo III. Finalmente, se procedió a verificar la eficacia del sistema de tratamiento comparando los resultados con los parámetros máximos permisibles presentados por la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08 para agua potable, cuyos resultados serán presentados en este capítulo.

6.1 DISEÑO EXPERIMENTAL PRELIMINAR

En el capítulo IV se presentaron los resultados de las pruebas preliminares llevadas a cabo con el motivo de verificar la eficacia de remoción de los medios de adsorción seleccionados, Greensand Plus para la remoción de hierro y manganeso con oxidación previa utilizando hipoclorito de calcio al 70 %, y Carbón Activado Granular obtenido a partir de cáscara de coco. Los resultados obtenidos de estas pruebas fueron casi satisfactorios, logrando alcanzar porcentajes de remoción promedio de 92.75 % para el hierro, 74.14 % para el manganeso y 72.73 % para el plomo con alturas de lecho de 8 cm de Greensand Plus y 5 cm de Carbón Activado. No se realizó caracterización al agua tratada en las pruebas preliminares por falta de recursos.

En base a estos resultados obtenidos se procedió a diseñar el experimento para optimizar los parámetros utilizados en el diseño del sistema de potabilización a nivel de laboratorio.

6.2 DISEÑO DE EXPERIMENTOS Y OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA

El sistema de potabilización seleccionado se dividió en dos partes, uno con el fin de poder diseñar un experimento para la remoción de hierro y manganeso, y el otro para la remoción del plomo. El primer sistema consta de las fases 1 y 2 del sistema general, es decir, del tanque de contacto con agitador manual para la pre-cloración (oxidación) y de la primera columna de adsorción con el medio adsorbente Greensand Plus. El segundo sistema consta de la tercera fase, donde se tiene la segunda columna de adsorción con el medio adsorbente Carbón Activado Granular obtenido a partir de cáscara de coco.

6.2.1. Optimización del sistema de remoción de hierro y manganeso

Se seleccionó el diseño experimental factorial 2^3 , es decir, tres factores a dos niveles y se realizaron 8 corridas. Se utilizó un procedimiento estadístico para encontrar los valores óptimos bajo los cuales debe operar el sistema para obtener los mejores porcentajes de remoción de hierro y manganeso en el agua de pozo que abastece al cantón Los Menjívar, determinándose que el único valor significativo es la altura del lecho de Greensand Plus, y los valores no significativos son la oxidación previa y el caudal.

A partir de los resultados del diseño experimental mostrados en el capítulo IV, se tiene que, en base a los resultados de remoción de hierro por las razones antes mencionadas, los valores óptimos de remoción se encontraron en la corrida 7, cuyos resultados se resumen en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1 Valores óptimos de los parámetros evaluados en el diseño experimental para la remoción de hierro y manganeso, en base a los resultados de remoción de hierro

Prueba	Oxidación	Caudal (L/min)	Altura de lecho (cm)	Valor inicial (mg/L)	Resultado (mg/L)	% de remoción
Descripción	+	-	+	1.75	0.27	84.57
Valor	Si	0.1662	11.0			

Como se puede observar en la Tabla 6.1, el porcentaje de remoción de hierro, a condiciones óptimas del sistema, disminuyó en comparación de los resultados obtenidos en las pruebas preliminares, en las cuales se utilizó una altura de lecho menor a la utilizada como máxima en el diseño experimental. Esto pudo deberse a que al momento de recolectar las muestras de agua a ser utilizadas en el diseño experimental, el funcionamiento del pozo fue interrumpido por parte de la Alcaldía Municipal del lugar, es decir, el agua tenía varios días de no ser bombeada para suministrarla a los habitantes del lugar, por lo que las concentraciones tanto de hierro y plomo aumentaron con respecto a las obtenidas en la caracterización que se hizo al inicio con motivo de conocer la calidad del agua, y que a las mismas condiciones fueron llevadas a cabo las pruebas preliminares. Esta situación afectó el desarrollo del proceso experimental de este estudio, ya que los parámetros establecidos para su evaluación en el diseño experimental con motivo de optimizar el sistema fueron seleccionados en base a la caracterización inicial y resultados de pruebas preliminares, por lo que no se obtuvieron los resultados esperados.

De acuerdo a la Guía Operativa para la Recogida, Almacenamiento y Transporte de Muestras de Aguas Subterráneas Destinadas al Análisis Químico (Protocolo General IGME UPC), para la toma de muestras de un pozo que no se encuentre en funcionamiento debe removerse tres veces el volumen de agua del pozo para evitar tomar la muestra en agua estancada. Lo anterior no pudo realizarse en esta investigación por lo que se tuvo que proceder a realizar la toma de la muestra con agua del pozo estancada por lo que no pueden realizarse comparaciones entre los resultados preliminares, que se tomaron con agua del pozo funcionando (bombeando y suministrando agua al cantón) y los resultados del Diseño de Experimentos y Optimización del Sistema, que se tuvieron que realizar con muestras de agua estancada del pozo. A pesar de que el del Diseño de Experimentos y Optimización del Sistema se realizaron con estas condiciones, el sistema de potabilización propuesto logró disminuir las concentraciones de hierro total, manganeso y plomo en el agua.

Las variaciones de concentración de hierro, manganeso y plomo con respecto a las obtenidas al inicio del proceso experimental se muestran en la Tabla 6.2 (véase Anexo 17).

Tabla 6.2 Valores de concentración de Hierro, Manganeso y Plomo obtenidos en la primera y segunda caracterización en el agua de pozo sin tratar.

Parámetro	Primera caracterización (mg/L)	Segunda caracterización (mg/L)	Límite Máximo Permisible NSO 13.07.01:08 (mg/L)
Hierro total	0.94	1.75	0.3
Manganeso	0.58	0.33	0.1
Plomo	0.55	0.83	0.01

El experimento óptimo para la remoción de hierro y manganeso se llevó a cabo con el sistema operando a las condiciones descritas en la Tabla 6.1, es decir, con oxidación previa, caudal mínimo de 0,1662 L/min y altura de lecho máximo de 11 cm.

El experimento óptimo se realizó por triplicado y las muestras fueron llevadas al Laboratorio Fisicoquímico de Aguas de la Facultad de Química y Farmacia en la Universidad de El Salvador. Los resultados de remoción de hierro y manganeso se muestran en la Tabla 6.3 y Tabla 6.4 respectivamente.

Tabla 6.3 Resultado de remoción de hierro con el sistema operando a condiciones óptimas

Experimento	Concentración de Fe en muestra de agua de pozo	Concentración de Fe en agua de pozo tratada	Observación	Porcentaje de remoción
1	1.75 mg/L	0.11 mg/L	Disminuye 1.64 mg/L	93.71 %
2	1.75 mg/L	0.49 mg/L	Disminuye 1.26 mg/L	72.0 %
3	1.75 mg/L	0.18 mg/L	Disminuye 1.57 mg/L	89.71 %
Promedio			Disminuye 1.49 mg/L	85.14 %

Como puede observarse en la Tabla 6.3, el porcentaje promedio de remoción de hierro alcanzado con el sistema operando a condiciones óptimas es de 85.14 %, alcanzándose valores deseados con respecto a la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08 en las corridas 1 y 3.

Tabla 6.4 Resultado de remoción de manganeso con el sistema operando a condiciones óptimas

Experimento	Concentración de Mn en muestra de agua de pozo	Concentración de Mn en agua de pozo tratada	Observación	Porcentaje de remoción
1	0.33 mg/L	0.24 mg/L	Disminuye 0.09 mg/L	27.27 %
2	0.33 mg/L	0.20 mg/L	Disminuye 0.13 mg/L	39.39 %
3	0.33 mg/L	0.19 mg/L	Disminuye 0.14 mg/L	42.42 %
Promedio			Disminuye 0.12 mg/L	36.36 %

En la Tabla 6.4 se puede observar que el porcentaje promedio de remoción de manganeso es de 36.36 %, no habiéndose alcanzado valores deseados con respecto a la norma en ningún caso. Estos resultados pueden deberse a que el pH de operación del agua no era favorable para la remoción de Manganeso, ya que se estuvo operando con un pH de 7.2, y como ya se expuso en el capítulo III sección 3.5.1.2, la eficiencia de la remoción de hierro y manganeso aumenta al aumentar el pH, estando el rango recomendado entre 6 y 9.

6.2.2. Optimización del sistema de remoción de plomo

Se seleccionó el diseño experimental factorial 2², es decir, dos factores a dos niveles, por lo que se llevaron a cabo 4 corridas. Los resultados obtenidos se analizaron con procedimientos estadísticos para encontrar los valores óptimos a los cuales debe operar el sistema para obtener los mayores porcentajes de remoción de plomo, obteniéndose que, ninguno de los factores seleccionados en el diseño son significativos.

A partir de los resultados del diseño experimental mostrados en el capítulo IV, se tiene que, los valores óptimos de remoción se encontraron en la corrida 4, cuyos resultados se resumen en la Tabla 6.5.

Tabla 6.5 Valores óptimos de los parámetros evaluados en el diseño experimental para la remoción de plomo

Prueba	Caudal (L/min)	Altura de lecho (cm)	Resultado (mg/L)	Valor inicial (mg/L)	% de remoción
Descripción	-	+	0.04	0.83	95.18
Valor	0.1662	16.0			

El experimento óptimo para la remoción de plomo se llevó a cabo por triplicado con el sistema operando a caudal mínimo de 0.1662 L/min y altura de lecho máximo de 16 cm. Las muestras fueron llevadas al Laboratorio Fisicoquímico de Aguas de la Facultad de Química y Farmacia en la Universidad de El Salvador, cuyos resultados se muestran en la Tabla 6.6.

Tabla 6.6 Resultado de remoción de plomo con el sistema operando a condiciones óptimas

Experimento	Concentración de Pb en muestra de agua de pozo	Concentración de Pb en agua de pozo tratada	Observación	Porcentaje de remoción
1	0.83 mg/L	0.37 mg/L	Disminuye 0.46 mg/L	55.42 %
2	0.83 mg/L	0.40 mg/L	Disminuye 0.43 mg/L	51.81 %
3	0.83 mg/L	0.48 mg/L	Disminuye 0.35 mg/L	42.17 %
Promedio			Disminuye 0.41 mg/L	49.80 %

Como puede observarse en la Tabla 6.6, el porcentaje promedio de remoción de plomo alcanzado con el sistema operando a condiciones óptimas es 49.80 %, no habiéndose alcanzado valores deseados con respecto a la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08 en ninguno de los casos, lo que puede deberse a las razones expuestas con anterioridad.

6.2.3 Caracterización final del agua de pozo tratada con el sistema de potabilización operando a condiciones óptimas

Los resultados de los parámetros fisicoquímicos analizados para la muestra de agua de pozo tratada en el experimento final se muestran en la Tabla 6.7, y se comparan con los valores reportados en la caracterización inicial. Así mismo, en la Tabla 6.8 se comparan los resultados de la prueba experimental final con los valores máximos permisibles por la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08 para agua potable.

Tabla 6.7 Comparación de resultados de la caracterización inicial realizada al agua sin tratar con la caracterización final realizada al agua tratada.

Parámetros	Caracterización inicial	Valor medido en el agua tratada en el experimento	Observación
Color verdadero	8.4 Pt-Co	9.4 Pt-Co	Aumenta (1.0)
Turbidez	3.99 UNT	3.26 UNT	Disminuye (0.73)
Hierro total	0.94 mg/L	0.63 mg/L	Disminuye (0.31)
Plomo	0.55 mg/L	0.32 mg/L	Disminuye (0.23)
Manganeso	0.58 mg/L	0.25 mg/L	Disminuye (0.33)
Conductividad	333.00 μ /cm	393 μ /cm	Aumenta (60.0)
Dureza total	83.00 mg/L	77 mg/L	Disminuye (6.0)
Sólidos totales disueltos	176.00 mg/L	193.6 mg/L	Aumenta (17.6)

En la Tabla 6.7 se puede observar un leve aumento en los valores de color verdadero, conductividad y sólidos totales disueltos, medidos en el experimento final.

Este aumento puede deberse ya sea a las circunstancias expuestas en la sección 6.3.1, así como también a que la caracterización inicial se hizo en época seca y el experimento se desarrolló durante la época lluviosa.

En la Tabla 6.8 se puede observar que los parámetros en estudio se mantienen dentro de la norma, exceptuando los valores de Hierro, Manganeso y Plomo que se mantienen fuera de la norma a pesar de haber sido removidos en un porcentaje considerable. Por lo que se concluye que el sistema de potabilización propuesto a nivel de laboratorio no altera ningún parámetro de interés en este estudio.

Tabla 6.8 Resultados de análisis realizados a muestras tratadas con el sistema experimental

Parámetros	Valor medido en el agua tratada en el experimento	Límite Máximo Permisible NSO 13.07.01:08	Observación
Color verdadero	9.4 Pt-Co	15 Pt-Co	Cumple (5.6)
Turbidez	3.26 UNT	5 UNT	Cumple (1.74)
Hierro total	0.63 mg/L	0.30 mg/L	No cumple (0.33)
Plomo	0.32 mg/L	0.01 mg/L	No cumple (0.31)
Manganeso	0.25mg/L	0.1 mg/L	No Cumple (0.15)
Conductividad	393 μ /cm	-	-
Dureza total	77 mg/L	500 mg/L	Cumple (423.0)
Sólidos totales disueltos	193.6 mg/L	1000 mg/L	Cumple (806.4)

A partir de estos resultados, se proponen una serie de mejoras que pueden contribuir a la obtención de resultados deseables para cumplir con el objetivo de este estudio, es decir, mejorar la calidad del agua de pozo que abastece al sitio de interés con el fin de que sea apta para su consumo humano, en base a los límites máximos permisibles por la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08 para agua potable.

De acuerdo a los resultados obtenidos en los experimentos óptimos con respecto a la remoción de hierro, manganeso y plomo, y comparándolos con los límites máximos permisibles establecidos por la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08 para agua potable, se observa que el agua no puede ser utilizada para el consumo humano ni para la realización de las tareas domésticas al encontrarse los parámetros por encima de dichos límites.

Los límites máximos permisibles establecidos por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) son 5 mg/l para el hierro, 0.2 mg/l para el manganeso y 5 mg/L para el plomo, por lo que al encontrarse las concentraciones de manganeso por encima de su límite, no se recomienda su uso en el riego agrícola, ya que puede afectar los cultivos, sobre todo en suelos ácidos, y dado que afecta la estética de los lugares públicos no puede usarse en lugares recreacionales (véase Anexo 18).

Por lo anterior, se deben realizar las mejoras propuestas al sistema con el fin de volverla útil para los habitantes del cantón los Menjívar, y aprovechar de mejor manera este recurso.

CONCLUSIONES

1. Se verificó que el agua de pozo que abastece al cantón Los Menjívar no cumple con los valores límites permisibles por la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08 para agua potable, en el caso de los parámetros fisicoquímicos: hierro total, manganeso, plomo, y los parámetros microbiológicos: bacterias coliformes totales y bacterias coliformes fecales o termotolerantes, concentraciones que pueden deberse a causas naturales e influencia antropogénica.
2. Según la revisión bibliográfica realizada en este estudio, se encontró que las concentraciones altas de hierro y manganeso en el agua del pozo de interés pueden deberse a causas naturales, por el tipo de suelo de la zona el cual está compuesto de rocas con alto contenido de óxido férrico; mientras que las altas concentraciones de plomo pueden tener dos orígenes: el primero es que el pozo se encuentra aledaño al embalse Cerrón Grande, el cual está contaminado con Pb, pudiendo pertenecer ambos al mismo acuífero; el segundo es por contaminación agrícola, ya que existe fuerte actividad agrícola en todo el municipio evidenciada por altos contenidos de nitrato encontrados en el agua de los dos pozos más cercanos al pozo del cantón, conociéndose mediante un estudio que los fertilizantes tradicionales contienen plomo. Por último, la contaminación microbiológica puede deberse ya sea a las actividades domésticas tanto del cantón como del municipio que descargan aguas negras y grises en quebradas cercanas al pozo, como a la cercanía de este con el embalse.
3. Se logró verificar mediante pruebas experimentales que el sistema de potabilización propuesto preliminarmente con una altura de lecho de Greensand Plus de 8 cm y de Carbón Activado Granular obtenido a partir de cáscara de coco, de 5 cm y un diámetro de 11 cm, puede remover un porcentaje promedio de 92.75 % de hierro, 74.14 % de manganeso y un 72.73 % de plomo en muestras de agua de pozo cuando este se encontraba funcionando, bombeando y suministrando agua al Cantón Los Menjívar.

4. El sistema de potabilización propuesto a nivel de laboratorio se dividió en dos subsistemas: el primero para remoción de hierro y manganeso y el segundo para remoción de plomo. Se aplicó un diseño factorial del tipo 2^k en ambos casos para determinar la combinación óptima de los principales factores que intervienen en el proceso de remoción obteniéndose la siguiente: altura de lecho máxima de 11 cm, caudal mínimo de 0.1662 L/min y con oxidación previa para el primer subsistema, y con altura de lecho máxima de 16 cm y caudal máximo de 0.2390 L/min para el segundo subsistema.
5. Al analizar el agua tratada con el sistema de potabilización propuesto a nivel de laboratorio, se demostró que los parámetros fisicoquímicos hierro total, manganeso y plomo siguen sin cumplir con los valores máximos permisibles por la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08 para agua potable. Estos resultados pueden deberse al aumento de concentración de hierro y plomo en el agua ocurrido mientras se llevaba a cabo la recolección de muestras para el diseño experimental, debido a que se dejó de bombear agua al cantón y no pudo realizarse el procedimiento de remover 3 veces el volumen de agua del pozo para evitar tomar la muestra en agua estancada que establece la Guía Operativa para la Recogida, Almacenamiento y Transporte de Muestras de Aguas Subterráneas Destinadas al Análisis Químico (Protocolo General IGME UPC) debido a limitaciones en las condiciones operativas del pozo.
6. Al analizar el agua tratada con el sistema de potabilización propuesto a nivel de laboratorio, se demostró que los parámetros fisicoquímicos hierro total, manganeso y plomo siguen sin cumplir con los valores máximos permisibles por la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08 para agua potable.

7. Estos resultados pueden deberse al aumento de concentración de hierro y plomo en el agua ocurrido mientras se llevaba a cabo la recolección de muestras para el diseño experimental, debido a que se dejó de bombear agua al cantón, por lo que las condiciones establecidas a partir de los resultados obtenidos con el pozo funcionando en condiciones normales, no fueron suficientes para obtener los resultados deseados.

8. Se determinó de acuerdo a los resultados obtenidos en los análisis del agua tratada con el sistema de potabilización operando a condiciones óptimas, que de no ser realizadas las mejoras al sistema propuesto en este estudio para lograr mejorar la calidad del agua del pozo del cantón, ésta no podrá ser utilizada para su consumo humano, para riego agrícola o para uso recreacional, por no cumplir los parámetros estudiados con los valores máximos permisibles por las normas que rigen la calidad de agua para los respectivos usos.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar algunas mejoras al sistema de potabilización a nivel de laboratorio propuesto en este estudio para obtener mejores resultados de remoción de hierro, manganeso y plomo con el fin de mejorar la calidad del agua para su posterior uso. Estas mejoras son las siguientes:
 - i. Instalar una segunda columna de adsorción conectada en serie, para cada subsistema de remoción, con el fin de mejorar los resultados de remoción de hierro, manganeso y plomo en el agua de pozo.
 - ii. Instalar columnas de adsorción de mayor tamaño, con el fin de aumentar las alturas de lecho tanto de Greensand Plus como de carbón activado.
 - iii. Aumentar el pH al inicio del proceso de oxidación, ya sea con hidróxido sódico, hidróxido cálcico o carbonato sódico, con el fin de mejorar las condiciones de oxidación de manganeso, ya que según la literatura, se obtienen mejores resultados si se trabaja en un rango de pH de 8 a 9 para la remoción de manganeso.
 - iv. Incluir recirculación en el sistema para obtener mejores resultados de remoción de hierro, manganeso y plomo al final del proceso.
2. Debe darse seguimiento a los niveles de concentración de hierro, manganeso, plomo y metales pesados al pozo del cantón “Los Menjívar”, así también de nitratos y metales pesados a los pozos que abastecen el casco urbano del municipio.
3. Los gobiernos a nivel local y nacional podrían emplear agricultura con enfoque ecológico como una estrategia que aumente la salud del agroecosistema y el desarrollo rural, involucrando a las comunidades y brindando estímulos a las personas agricultoras para que hagan uso de un sistema de agricultura orgánica.

4. Para realizar la desinfección del agua del pozo del cantón los Menjívar se recomienda dosificar hipoclorito de sodio, ya que la cantidad de microorganismos patógenos que contiene dicha agua es menor de 2NMP/100 ml por lo que es sencillo de potabilizar por tratamientos convencionales, además de que la localidad cuenta con un sistema inyector de cloro líquido al agua antes de su almacenamiento en el tanque de distribución, lo que permite utilizar los equipos ya existentes. Además de que el cloro líquido es más sencillo de dosificar, y es más accesible económicamente (véase Anexo 19).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcaldía Municipal Villa de San Francisco Lempa. (2013). *Plan Estratégico Participativo Del Municipio San Francisco Lempa 2013-2018*. Chalatenango: El Salvador.
- ANDA. (2018). *Estudio Hidrogeológico en la microcuenca de quebrada La Brígida para la perforación de un pozo para el mejoramiento del abastecimiento de agua potable en el Municipio San Francisco Lempa, Departamento Chalatenango. El Salvador*.
- Artiga, R., y Molina, H. (1999). *Recursos de información sobre el agua en El Salvador: Situación actual y desafíos*. [Versión de Prisma]. Recuperado de <https://prisma.org.sv/asset/dosuments/1756>. San Salvador. El Salvador.
- Asociación Mundial para el Agua. (2016). *Situación de los Recursos Hídricos en Centroamérica*. Recuperado de https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam_files/situación-de-loss-recursos-hidricos_fin.pfd. Tegucigalpa, Honduras.
- Benítez Cañas, J. J., Pacheco González, L. E., y Sandoval Blanco, C. A. (2017). *“Propuesta de un sistema de tratamiento para disminuir fluoruros del agua del pozo de Caserío Escamil, Cantón Santa Rosa, Agua Caliente, Chalatenango”*. (Trabajo de graduación). Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.
- Carbotecnia. (2015). Desinfección con cloro. Recuperado de <https://www.carbotecnia.info/desinfeccion-con-cloro/>. Jalisco, México.
- Carbotecnia. (2004). Filtros de grava, arena sílica y antracita. *Boletín técnico AG-009*. Recuperado de <https://www.carbotecnia.info/PDF/boletines/AG-009.pdf>. Jalisco, México.

Carrillo, V, Y., y Sánchez Muñoz, N. E. (2013). *Elaboración de un filtro a base de carbón activado obtenido del endocarpio de coco con el propósito de reducir la dureza en el agua potable*. (Tesis de graduación). Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.

Castro de Esparza, M.L. (2006). *Remoción del arsénico en el agua para bebida y biorremediación de suelos*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS-SB/SDE/OPS) Urbanización Camacho, La Molina, Lima, Perú.

Collazo Caraballo, M. P. y Montaña Xavier, J. (2012). *Manual de Agua Subterránea*. Ministerio de agricultura, ganadería y pesca. Montevideo: Denad Internacional S.A.

Cuadra Zelaya, C. D., Romero García, D. A. (2006). *Aplicación de Biomonitores para Evaluar la Contaminación por Metales Pesados en el Lago Suchitlán*. (Trabajo de graduación). Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.

Departamento de regulación de los programas de la salud y el ambiente del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. (2006). *Guía técnica de tratamiento y desinfección de agua para consumo humano*. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. Guatemala. Recuperado de <http://desastres.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0214/doc0214.pdf>

Díaz, R. (2019). *Hipoclorito de calcio (Ca(ClO)₂): formula, propiedades, usos*. Universidad de los Andes. Colombia. Recuperado de <https://www.lifeder.com/hipoclorito-de-calcio/>.

- Espinoza, C. (2005). *Calidad de Agua y Contaminación de Agua Subterránea*. Universidad Católica del Norte. Chile.
- Escuela Universitaria Politécnica de Sevilla. (2017). *El Agua Potable*. España. Recuperado de [http://www.elaguapotable.com/Tratamiento%20de%20potabilizacion%20del%20agua%20\(Grupo%20TAR\).pdf](http://www.elaguapotable.com/Tratamiento%20de%20potabilizacion%20del%20agua%20(Grupo%20TAR).pdf)
- Gies, H. (2018). *La crisis del agua en El Salvador*. Recuperado de National Geographic website: <https://www.nationalgeographic.com/agua/2018/11/crisis-agua-el-salvador>.
- Inversand Company. (2018). *Conditioning and disinfecting Manganese Greensand and Greensand Plus*. New Jersey. Recuperado de <https://www.inversand.com/wp-content/uploads/2018/02/Inv-Conditioning-Greensand-Rev-1.pdf>.
- Inversand Company. (2018). Performance media for water filtration. *Greensand Plus Technical Data*. New Jersey. Recuperado de <https://www.inversand.com/wp-content/uploads/2018/02/Greensand-Technical-Data.pdf>.
- León Delgado, V. A., Montoya López, A., B., y Rivera Galdámez, A., E. (2016). *Caracterización hidrogeológica de la zona sur del municipio de Chalatenango, limítrofe con el Embalse Cerrón Grande*. (Trabajo de graduación). Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.
- Martí, L., Burba, J. N. y Cavagnaro, M. (2001). *Metales Pesados en Fertilizantes Fosfatados, Nitrogenados y Mixtos*. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, Tomo XXXIV N° 2. Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina.

- MINSAL. (2017). *Carga de mortalidad de enfermedades no transmisibles en la población igual o mayor de 20 años de El Salvador período 2011-2015*. (2017). San Salvador, El Salvador. Recuperado de <http://ins.salud.gob.sv/wpcontent/uploads/2018/07/Carga-de-mortalidad-de-enfermedades-notransmisibles.pdf>.
- Montgomery, D. (2004). *Diseño y Análisis de experimentos*. Arizona: Limusa Willey.
- Orellana, I. J. A. (2005). *Tratamiento de las aguas*. Ingeniería Sanitaria. Facultad Regional Rosario, Universidad Tecnológica Nacional, Rosario, Argentina.
- Organismo Salvadoreño de Normalización. (2009). *Norma Salvadoreña Obligatoria: Agua Potable*. San Salvador, El Salvador. Recuperado de: usam.salud.gob.sv.
- Pérez Mendoza, N. S. Y Ventura Hernández, N. I. (2019). *Propuesta de diseño de un sistema de remoción de plomo en aguas, a nivel de laboratorio, utilizando estopa de coco (coco nucífera) como medio adsorbente*. (Tesis de graduación). Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.
- Salamanca, E. (2014). *Tratamiento de aguas para el consumo humano*. Módulo Arquitectura CUC, Vol.17 N° 1, 29-48. Universidad de Manizales. Recuperado de https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:VjlzO1qdZlQJ:https://revistascientificascas.cuc.edu.co/moduloarquitecturacuc/article/download/1527/pdf_84/+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=sv.
- Sánchez San Román, F. J. (2017). *Contaminación de las aguas subterráneas*. Departamento de Geología. Universidad de Salamanca, España. Recuperado de <http://hidrologia.usal.es/temas/contaminacion.pdf>

ANEXOS

Anexo 1. Resultado de análisis fisicoquímico, muestra de agua de pozo del municipio de San Francisco Lempa en Chalatenango, realizado por ESPINSA, mayo 2003.

San Salvador, 16 de Mayo de 2003					
SEÑORES LA CASA CASTRO, S. A. C.V. 12 CALLE PONIENTE Y 49 AVE. SUR, EDF. GALICIA, FLOR BLANCA SAN SALVADOR.					
CODIGO DE MUESTRA	:	287S			
NÚMERO DE PÁGINAS DE REPORTE	:	1/2			
FECHA DE RECIBO DE MUESTRA	:	12-5-03			
ATENCIÓN	:	ING. LUIS CARLOS PALOMO			
Escrito Ing. Palomo:					
Por medio de la presente estamos informando los resultados de Análisis Químicos efectuados a:					
RESULTADO DE ANALISIS QUIMICOS					
TIPO DE MUESTRA	:	AGUA DE POZO			
FECHA DE TOMA DE MUESTRA	:	12-5-03			
FECHA DE FINALIZACIÓN DEL ANALISIS	:	14-05-03			
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA	:	O.S. CONSTRUCTORES, PROYECTO SAN FRANCISCO LEMPA			
TIPO DE TOMA DE MUESTRA	:	PUNTUAL			
MUESTRA TOMADA POR	:	LA CASA CASTRO, S.A. DE C.V.			
APARIENCIA DE LA MUESTRA	:	CLARA, TRANSPARENTE			
ANALISIS					
		Método	Resultado	Expresado como	Incerteza
pH	:	1	7.1 (25.6°C)	Unidades	± 0.0
SOLIDOS TOTALES DISUELTOS	:	1,2	160.9	ppm	± 0.0
DUREZA TOTAL	:	1	82.9	ppm CaCO ₃	± 0.0
HIERRO TOTAL	:	1	0.12	ppm Fe	± 0.0
MANGANESO TOTAL	:	3	0.1	ppm Mn	± 0.0
CLORUROS	:	3	0.7	ppm Cl ⁻	± 0.0
SULFATOS	:	1	2.5	ppm SO ₄ ²⁻	± 0.0
PLOMO	:	4	ND	ppm Pb	± 0.0
ARSENICO	:	1	ND	ppm As	± 0.0
CROMO	:	4	ND	ppm Cr ⁺⁶	± 0.0
NITRATOS	:	4	6.3	ppm NO ₃ ⁻	± 0.0
FLUOR	:	4	0.18	ppm F ⁻	± 0.0
COLOR VERDADERO	:	4	ND	Unidades Pt - Co	± 0.0
TURBIDEZ	:	1	4.9	Unidades NT	± 0.0

Especialidad Ingeniería, S.A. de C.V. Calle Galicía Manrí (M. 17), P.O. 229 028, (TAL. 1301) 229-4200, e-mail: espinsa@espinsa.com.sv, San Salvador, El Salvador, S. A.

PAGINA 2/2

CODIGO 2875

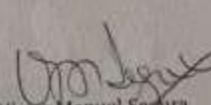
NOTA:

ND	:	No Detectable	
ppm	:	mg/L	
Metodologías de Análisis	:	APHA-AWWA-WEF	(1)
		MYRON COMPANY	(2)
		ESPINSA, VALIDADO	(3)
		ORBECO ANALYTICAL SYSTEMS, INC	(4)

Los resultados corresponden a la muestra indicada en procedencia y en código. La reproducción parcial de este documento debe ser autorizada por el Laboratorio.

Agradeciendo su atención a la presente, nos suscribimos de usted,

Atentamente,
ESPECIALIDADES INDUSTRIALES, S.A. DE C.V.


Lic. Victor Manuel Segura
Químico Industrial
Jefe de Laboratorio Químico



Nuestro Laboratorio cuenta con un sistema de Calidad fundamentado en la Norma NSR EN 45001, con el fin de proporcionar a nuestros clientes garantía y seguridad en los resultados y está Acreditado por el CONACYT en análisis de Aguas bajo el Registro No. RIA-13-01:99.

Anexo 2. Cálculos del posible radio de influencia del pozo Los Menjívar, San Francisco Lempa, Chalatenango.

Las estimaciones del radio de influencia del pozo fueron calculadas con las ecuaciones de Theis para un régimen de no equilibrio:

$$u = \frac{1.87 R^2 S}{T t}$$

Donde:

R= Radio de influencia (pies)

S= Coeficiente de Almacenamiento, considerado por efectos de cálculo igual a 0.01

T= Transmisividad estimada de 19,449.72 GPD/pie (241.55 m²/d)

t= Periodo de bombeo máximo considerado (en este caso 20 horas =0.83 días)

$$s = \frac{114.6 Q W (u)}{T}$$

Donde:

s= Abatimiento (pies)

Q= Caudal de bombeo probable 76.54 GPM (4.83 L/s)

W (u)= Función de u

T= Transmisividad (GDP/pies)

Una vez realizados los cálculos se determinó que el radio de influencia estimado es de 212 metros (Alcaldía Municipal SFL, 2014).

Anexo 3. Cálculos del posible radio de captura del pozo Los Menjívar, San Francisco Lempa, Chalatenango.

Para determinar la zona de captura del pozo proyectado se utilizó la metodología de zonificaciones de protección de fuentes de agua (ZOP), presentada en el año 2005, por el proyecto MARN-FORGAES.

$$A = \frac{Q}{R} (km^2)$$

Donde:

A= Área de la zona de influencia del pozo proyectado en km².

Q= Extracción desagua del pozo proyectado en L/s.

R= Recarga acuífera en L/s. por km².

Para llegar a la unidad de un área de protección hay que convertir la recarga acuífera de milímetros por año en litros por segundo por km². Para llegar a esto se multiplica los milímetros recarga por el valor de 0.0317 en la siguiente formula:

$$1 \text{ mm recarga acuifera por año} = 0.0317 \frac{L}{s} \cdot km^2$$

De donde tenemos que:

Q= 4.83 L/s.

R= 281 mm/año * 0.0317 = 8.91 L/s. por km²

Área de influencia = Q/R

A= 4.83/8.91= 0.54 km²

El radio se calculó con la siguiente formula, dando como resultado un r=415 m:

$$r = \frac{\sqrt{\text{área en m}^2}}{\pi}$$

Anexo 4. Medidas de protección de los acuíferos contra la contaminación en general (EPA, 1990).

Para proteger los acuíferos contra la contaminación en general, la EPA (1990) propone restringir las prácticas actuales y futuras del uso del territorio, descarga de efluentes y vertido de residuos. Pero de manera más específica se pueden aplicar ciertas medidas según sean las necesidades y los recursos que posea la región en cuestión:

- I. Que el Estado invierta dinero en el desarrollo de estrategias para la protección del agua subterránea; que autorice programas que prevengan la contaminación de dicha agua; y que proponga leyes federales que controlen tal contaminación en todo el país.

- II. Ejecutar un sistema de control sobre el uso del terreno de acuerdo con las leyes estatales, de tal manera que permita el desarrollo social y económico, pero respete la sostenibilidad del medio ambiente. A modo de no perjudicar el suelo y sus fuentes de agua.

- III. Establecer las responsabilidades de los gobiernos estatales, de los gobiernos locales, y de los encargados del suministro de agua pública, para la implementación de la protección de los pozos de agua.
 - i. Delinear para cada pozo de agua un área de protección.
 - ii. Identificar los posibles contaminantes en cada área de protección.
 - iii. Establecer medidas para proteger el abastecimiento de agua contra la contaminación dentro de las áreas de protección de los pozos (por ejemplo, control sobre actividades en el área protegida).
 - iv. Desarrollar planes alternativos para cada suministro de agua pública para garantizar disponibilidad de agua potable durante las emergencias.
 - v. Situar nuevos pozos de agua apropiadamente para aumentar la producción de agua potable y disminuir la posibilidad de contaminación.

- vi. Incluir la opinión pública en todo el proceso. La participación de todos los niveles de gobierno es necesario para que los programas de protección tengan éxito.
- IV. Ordenanzas de Zonificación: Dividir la municipalidad en áreas de usos distintos para separar los usos del terreno que son incompatibles. Por ejemplo, es conveniente separar uso residencial de usos industriales. Esta "zonificación" se define para limitar la clase de actividad que pueda ocurrir dentro de un área, y especifica restricciones apropiadas para prevenir actividades que podrían causar daños a las aguas subterráneas de la comunidad.
- V. Ordenanzas de Subdivisión: Para fijar normas de densidad, exigir "espacios abiertos" (espacios sin urbanización) y para regular el desarrollo de urbanizaciones.
- VI. Examinación Crítica de Planes de Obra: Provee la oportunidad de aprobar o no planes de proyectos de urbanización. Es un buen método de asegurar si el proyecto es compatible con los usos del terreno existentes en el área y con la protección de aguas subterráneas.
- VII. Normas de Diseño: Se regula el diseño, la construcción y las operaciones en marcha de varias actividades de uso de la tierra. Imponen requerimientos concretos, tales como el uso de un exterior doble en tanques subterráneos para almacenar productos químicos.
- VIII. Prohibiciones de Contaminantes: Prohíben el almacenaje o el uso de materiales peligrosos en un área definida.

- IX. Educación Pública: Producen apoyo en la comunidad para los programas normativos, tales como los controles sobre fuentes de contaminación en distritos de zonificación especiales. Estimulan esfuerzos voluntarios sobre la protección de las aguas subterráneas tales como la conservación del agua y el manejo de residuos caseros peligrosos.
- X. Vigilancia de Aguas Freáticas: Evaluar la calidad de acuíferos locales, y los pozos públicos y privados para detectar ciertos contaminantes.
- XI. Recolección de Residuos Caseros Peligrosos: Eliminan la amenaza de los desechos caseros que contienen sustancias peligrosas sobre las aguas subterráneas, tales como las pinturas, solventes o pesticidas que frecuentemente son desechados en la basura, en el sistema público de aguas negras, o en los sistemas sépticos.
- XII. Conservación del Agua: Reducir la cantidad total de agua extraída de acuíferos protege contra la contaminación al disminuir la velocidad con que un contaminante se disemina en el acuífero (por ejemplo, extracciones excesivas de un acuífero situado cerca del océano pueden atraer agua salada al acuífero y contamina los pozos).
- XIII. Controlar la contaminación en el hogar por medio de la comunidad.
- XIV. No tirar sustancias por el desagüe; todo lo que usted vierta por el sumidero o el retrete entrará a su sistema séptico o el sistema público de aguas negras de su comunidad. Este método de eliminar productos que contienen sustancias dañosas puede afectar la capacidad de su sistema séptico para depurar desechos humanos. Cuando alcanzan el subsuelo, estas sustancias dañosas, con el tiempo, pueden contaminar las aguas subterráneas. Además, la mayoría de los sistemas públicos de aguas negras no están diseñados para tratar muchas de estas sustancias.

- XV. No tire sustancias no orgánicas en la basura, Los vertederos de las comunidades generalmente no están diseñados para contener materiales peligrosos. A medida que la lluvia penetra el vertedero, el agua puede ser contaminada por estos productos y con el tiempo llevarlos hasta las aguas subterráneas y superficiales.
- XVI. No tire desechos químicos sobre la tierra, Los residuos peligrosos depositados en la tierra o enterrados pueden contaminar el subsuelo, y pueden filtrarse a las aguas subterráneas o llegar hasta agua superficial cercana por resultado del escorrentamiento durante las tormentas.
- XVII. Use y elimine los materiales dañosos como es debido, Existen pocas opciones para eliminar los productos peligrosos usados en su casa, así que el primer paso para usted es limitar el uso de dichos productos. Cuando sea posible, sustituya por un producto no peligroso. Cuando esto sea posible, compre solo la cantidad que necesita. Por último, pida a sus funcionarios que patrocinen días de recolección de residuos caseros peligrosos si no lo están haciendo ya.
- XVIII. Bombear con regularidad el sistema séptico que se tenga en uso, ya que los residuos sólidos pueden salir del tanque e introducirse al campo de drenaje y con el tiempo llegar a las aguas subterráneas. Se recomienda no usar productos químicos que prometen asistir la descomposición, tener cuidado con lo que usted ponga en su sistema séptico; sustancias como café molido, artículos sanitarios y grasas no se descomponen fácilmente en los sistemas sépticos. Otras sustancias químicas como pinturas, solventes, aceites y pesticidas se pueden filtrar de su sistema séptico a las aguas subterráneas. Trate de Limitar la cantidad de agua que entra a su sistema séptico; use accesorios domésticos y aparatos diseñados para ahorrar agua.

Anexo 5. Resultado de análisis fisicoquímicos y microbiológicos en agua de pozo del cantón Los Menjívar, San Francisco Lempa, Chalatenango. Laboratorio Fisicoquímico de Aguas-Laboratorio de Calidad Microbiológica de Aguas, Facultad de Química y Farmacia, Universidad de El Salvador.



F - 09

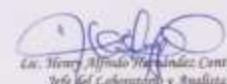
**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
LABORATORIO FISICOQUÍMICO DE AGUAS**

CODIGO Nº 22-19		INFORME DE RESULTADOS			
Nombre y dirección del cliente: VICTORIA BURGOS JARDINES DE CUSCATLÁN, CIUDAD HERLIOT, ROL. "A".					Pág. 1 de 1
Descripción de muestra: AGUA DE POZO					Nº DE MUESTRAS: 1
Lugar de toma de muestra: CANTÓN LOS MENJÍVAR, SAN FRANCISCO LEMPA, DEPARTAMENTO DE CHALATENANGO.					
Fecha de elaboración del informe: MARTES 03 DE SEPTIEMBRE DE 2019.					
Fecha de recepción de muestra: 26 DE AGOSTO DE 2019			Fecha de Análisis: DEL 26/08/2019 AL 03/09/2019		
Parámetros	Método de Análisis	Identificación de la Muestra		Resultados	AGUA, AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD RTS 13.02.01:14
		CODIGO LABORATORIO	CODIGO CLIENTE		
Aséptico	Colormétrico	22-19	Agua de pozo, Cantón Los Menjívar, San Francisco Lempa, Chalatenango.	NO DETECTADO	0.01 mg/L
Conductividad	Potenciométrico			333 µmho/cm	NO NORMADO
Dureza Total (CaCO ₃)	Volumétrico			83 mg/L	500 mg/L
Hierro Total	Fotométrico			0.94 mg/L	0.3 mg/L
Manganeso	Fotométrico			0.58 mg/L	0.1 mg/L
Piomo	Fotométrico			0.55 mg/L	0.01 mg/L
Sólidos Totales	Potenciométrico			176 mg/L	1000 mg/L
Disueltos					
Sulfatos	Fotométrico			40 mg/L	250 mg/L
Turbiedad	Fotométrico			3.99 UNT	5 UNT
Observaciones: - La toma de muestra estuvo a cargo del interesado.					

Advertencia: Los Resultados del informe sólo se refieren a las muestras analizadas.

NOTA: - El informe de análisis sólo puede ser reproducido parcial o totalmente con la autorización escrita del laboratorio.
- Se especificará en observaciones, si la muestra fue tomada por el cliente o el laboratorio.
- El Laboratorio Fisicoquímico de Aguas pone a su disposición la siguiente dirección electrónica para que reporte alguna no conformidad al servicio prestado: quefis.spc.ifs@univsal.edu.sv

FECHA DE ENTREGA: 04 SEP 2019



Lic. Henry Alfredo Hernández Contreras
Jefe del Laboratorio y Analista

LABORATORIO FISICOQUÍMICO DE AGUAS
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR



Lic. Xiomara Miras Rojas de Lara
Analista



Lic. María del Carmen Pardo Martínez
Analista

FIN DEL REPORTE

* * *

Final Avenida "Mártires Estudiantes del 30 de julio", Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador, C.A.
Teléfono Directo: 3521-2948. Correo electrónico: labfqa_ues@yahoo.com



F - 09



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS

CODIGO N° 07-19		INFORME DE RESULTADOS			
Nombre y dirección del cliente: VICTORIA BURGOS COLONIA LIBERTAD, EDIFICIO "N". APARTAMENTO N° 12. SAN SALVADOR.					Pág. 1 de 1
Descripción de muestra: AGUA DE POZO					N° DE MUESTRAS: 1
Lugar de toma de muestra: CANTÓN LOS MENJIVAR, SAN FRANCISCO LEMPA, CHALATENANGO.					
Fecha de elaboración del informe: MARTES 21 DE MAYO DE 2019					
Fecha de recepción de muestra: 15 DE MAYO DE 2019			Fecha de Análisis: DEL 15 AL 20 DE MAYO DE 2019		
Parámetros	Método de Análisis	Identificación de la Muestra		Resultados	AGUA, AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD RTS 13.02.01:14
		CODIGO LABORATORIO	CODIGO CLIENTE		
Color	Fotométrico	07-19	Agua de pozo, Mx 2. Tipo de Mx simple. Lugar: Cantón los Menjivar, San Francisco Lempa, Chalatenango	8.4 Pt - Co	15 Pt - Co
Fluoruros	Fotométrico			0.18 mg/L	1.5 mg/L
Nitrato	Fotométrico			NO DETECTADO	50 mg/L
Nitritos	Fotométrico			0.042 mg/L	3 mg/L
Turbiedad	Fotométrico			2.25 UNT	5 UNT
Observaciones: - La toma de muestra estuvo a cargo del interesado.					

Advertencia: Los Resultados del informe solo se refieren a las muestras analizadas.

NOTA: - El informe de análisis sólo puede ser reproducido parcial o totalmente con la autorización escrita del laboratorio.

- Se especificará en observaciones, si la muestra fue tomada por el cliente o el laboratorio.

- El Laboratorio Físicoquímico de Aguas pone a su disposición la siguiente dirección electrónica para que reporte alguna no conformidad al servicio prestado: quimjas.sgc.fqua@gmail.com

FECHA DE ENTREGA: _____

24 MAY 2019

Lic. Henry Ricardo Hernández Contreras
Jefe del Laboratorio y Analista

Lic. María del Carmen Pollo Martínez
Analista

FIN DEL REPORTE

LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUIMICA Y FARMACIA
LABORATORIO DE CALIDAD MICROBIOLÓGICA DE AGUAS



INFORME DE ANALISIS

MUESTRA:	Agua de pozos	CONTROL:	2619
LUGAR DE RECOLECCION:	San Francisco Lempa Chalatenango	FECHA INGRESO:	11/06/2019
PERSONA QUE RECOLECTO MUESTRA:	Celeste Alejandrina Aguilar	FECHA ANALISIS:	11/06/2019
FECHA DE RECOLECCION:	11/06/2019	FECHA EMISION:	19/06/2019
HORA DE RECOLECCION:	5:45 AM		

RESULTADOS

DETERMINACION	RESULTADO	ESPECIFICACIONES	METODO Y REFERENCIA
CONTEO DE COLIFORMES TOTALES	2 NMP/100 mL	<ul style="list-style-type: none"> Menor de 50,000 (Aguas que pueden ser potabilizadas por tratamiento avanzado) Menor de 3,000 (Aguas que pueden ser potabilizadas por tratamiento convencional) Menor de 50 (Aguas que pueden ser potabilizadas por desinfección) 	Tubos Múltiples APHA, 1995, Método 9221 B Referencia: DIRECTIVAS 75/440/CEE Y 79/869/CEE Relativas a la calidad y métodos de medición, frecuencia de los muestreos y del análisis de las aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable.
CONTEO DE COLIFORMES FECALES	< 2 NMP/100 mL	<ul style="list-style-type: none"> Menor de 20,000 (Aguas que pueden ser potabilizadas por tratamiento avanzado) Menor de 2,000 (Aguas que pueden ser potabilizadas por tratamiento convencional) Menor de 20 (Aguas que pueden ser potabilizadas por desinfección) 	Tubos Múltiples APHA, 1995, Método 9221 B Referencia: DIRECTIVAS 75/440/CEE Y 79/869/CEE Relativas a la calidad y métodos de medición, frecuencia de los muestreos y del análisis de las aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable.

OBSERVACIONES: El agua de puede ser potabilizada por desinfección para adquirir la calidad de agua potable.
El Laboratorio de Calidad Microbiológica de Aguas no participó en el proceso de recolección de la muestra.

Dra. Tania Ethel Cuadra Zelaya
ANALISTA Y RESPONSABLE DE LABORATORIO



Lic. María Elsa Romero de Zelaya
JEFA DE DEPARTAMENTO



Anexo 6. Manual de Prácticas de Laboratorio.

	<p>ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA DE UNA PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA DE POZO QUE ABASTECE AL CANTÓN LOS MENJÍVAR EN SAN FRANCISCO LEMPA, CHALATENANGO</p> <p>Uso adecuado del pH-metro (Equipo Thermo Scientific Orion Star).</p>	01
<p>Objetivo: Usar adecuadamente el equipo Thermo Scientific Orion Star destinado a la medición del pH en el procedimiento experimental.</p>		
<p>Descripción general</p> <p>Durante un proceso específico, la pantalla indica datos de temperatura y calibración. La temperatura aparece en la esquina superior izquierda de la pantalla. El ícono  indica que hay un modo de calibración o un menú de configuración de calibración activo. Los íconos man, 2, 4, 7, 9, 10 y 12 indican qué amortiguadores de pH se guardaron después de realizar una calibración de pH. El ícono setup sólo aparece cuando el medidor está en modo de configuración. El ícono  indica una condición de error y cuando se muestra con el ícono , una alarma de calibración o un problema de calidad de electrodo.</p>		
<p>Partes del equipo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Equipo <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">Figura 1. Equipo utilizado para medir pH.</p>		

	<p>ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA DE UNA PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA DE POZO QUE ABASTECE AL CANTÓN LOS MENJÍVAR EN SAN FRANCISCO LEMPA, CHALATENANGO</p>	<p>01</p>
	<p>Uso adecuado del pH-metro (Equipo Thermo Scientific Orion Star).</p>	

– Pantalla

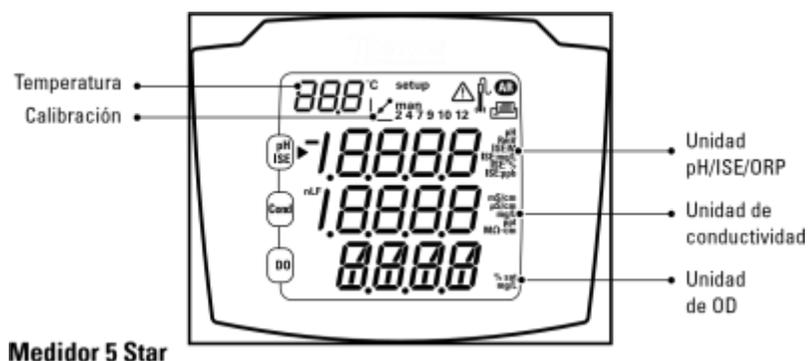


Figura 2. Pantalla del equipo.

– Teclado

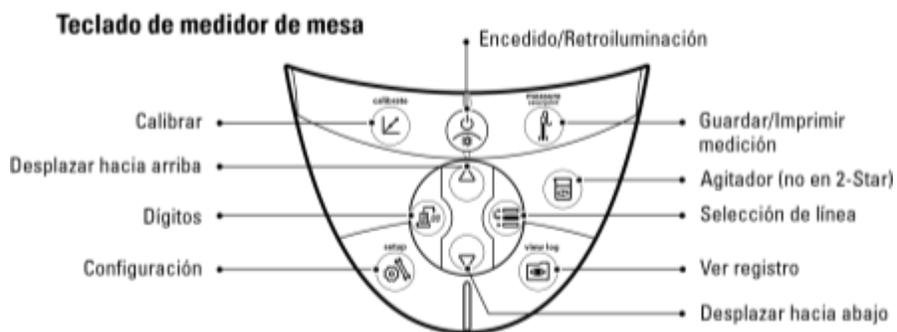


Figura 3. Teclado del equipo.

Recomendaciones:

- Use vasos de precipitados limpios
- Evite la contaminación cruzada entre el lavado y enjuague (utilizar vasos de precipitados diferentes) del electrodo del instrumento de medición.
- Enjuagar el electrodo con agua destilada o desionizada.
- La temperatura de la solución debe permanecer constante.

	<p>ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA DE UNA PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA DE POZO QUE ABASTECE AL CANTÓN LOS MENJÍVAR EN SAN FRANCISCO LEMPA, CHALATENANGO</p>	01
	<p>Uso adecuado del pH-metro (Equipo Thermo Scientific Orion Star).</p>	
<p>– Al finalizar todo el procedimiento lavar y secar el electrodo cuidadosamente.</p>		
<p>Procedimiento Experimental:</p> <p>Calibración de pH</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Prepare el electrodo. 2. En modo de medición, presione  hasta que el ícono de flecha apunte a la línea superior, presione  hasta que aparezca el ícono de pH y presione  para iniciar la calibración. 3. Enjuague el electrodo (y la sonda CTA si se está utilizando) con agua destilada y colóquelo en el amortiguador. 4. Espere a que el ícono de pH deje de estar intermitente. <ol style="list-style-type: none"> a. Calibración manual: Cuando el ícono de pH deja de estar intermitente, el medidor indicará el valor de pH real captado por el electrodo. Presione  hasta que el primer dígito que va a cambiar esté intermitente, presione  /  para cambiar el valor del dígito intermitente y continúe cambiando los dígitos hasta que el medidor muestre el valor de pH con corrección de temperatura del amortiguador. Cuando el valor de pH del amortiguador esté definido, presione  hasta que el punto decimal esté en el lugar correcto. 5. Presione  para continuar con el siguiente punto de calibración y repita los pasos 4 y 5, o presione  para guardar y finalizar la calibración. 6. Se mostrará el porcentaje de pendiente real del electrodo en el campo principal y se mostrará en SLP el campo inferior 		

	<p>ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA DE UNA PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA DE POZO QUE ABASTECE AL CANTÓN LOS MENJÍVAR EN SAN FRANCISCO LEMPA, CHALATENANGO</p>	01
	<p>Uso adecuado del pH-metro (Equipo Thermo Scientific Orion Star).</p>	
<p>a. Para la calibración de un punto, presione  presione / para editar la pendiente y presione  para volver al modo de medición.</p> <p>b. Para la calibración de dos o más puntos, el medidor pasará automáticamente al modo de medición luego de mostrar la pendiente.</p> <p>Medición de pH</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Enjuague el electrodo con agua destilada o desionizada. Retire el exceso de agua y seque el electrodo con un paño libre de pelusa. 2. Coloque el electrodo dentro de la muestra. <ol style="list-style-type: none"> a. Si el medidor está en modo de medición de lectura automática (AUTO-READ), presione  para iniciar la lectura. El ícono AR estará intermitente hasta que la lectura se estabilice. Cuando la lectura se estabiliza, la pantalla se congela y el medidor registra e imprime la medición. Si está usando un medidor de mesa y el agitador está activado, el agitador se encenderá al presionar  y se apagará cuando la lectura se estabilice. 3. Retire el electrodo de la muestra, enjuáguelo con agua destilada o desionizada, séquelo, colóquelo en la siguiente muestra y repita el paso 2. 4. Cuando haya medido todas las muestras, enjuague el electrodo con agua destilada o desionizada y séquelo sin frotar. Introduzca el electrodo en frasco que lo protege. 		
<p>Referencias Bibliográficas:</p> <p>García Bolaños, C. y García Rivera, R. (2015). <i>Manual del uso adecuado del pH-metro</i>. Escuela de Ingeniería Química e Ingeniería de Alimentos. Universidad de El Salvador.</p>		

	<p>ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA DE UNA PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA DE POZO QUE ABASTECE AL CANTÓN LOS MENJÍVAR EN SAN FRANCISCO LEMPA, CHALATENANGO</p> <p>Elaboración del sistema de potabilización para la prueba preliminar y el diseño experimental 2^k.</p>	02
<p>Objetivo: Elaborar un sistema de tratamiento de agua a nivel de laboratorio para disminuir hierro, manganeso y plomo a valores permitidos por la Norma Salvadoreña Obligatoria NSO 13.07.01:08.</p>		
<p>Material y equipo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1 m de tubo PVC 1” - 2 recipientes de plástico de 4.48 L con tapadera - 2 recipientes de 24.5x11 cm con tapadera de rosca y orificios de 1” en las tapaderas - 1 sierra - 7 adaptadores macho 1” - 2 adaptadores hembra 1” - Cinta Teflón - 1 grifo cuello de ganso - 2 láminas de teflón 10x3 cm - 2 varillas roscadas ¼”x 36 cm con tuercas hexagonales de rosca horadada y arandelas planas zincadas - 1 pegamento PVC transparente de 25 ml - 1 m de manguera de plástico cristal - 1 taladro - 1 balanza analítica - 1 pH metro - Grava - Carbón Activado Granular a base de cáscara de coco 		

	<p>ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA DE UNA PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA DE POZO QUE ABASTECE AL CANTÓN LOS MENJÍVAR EN SAN FRANCISCO LEMPA, CHALATENANGO</p>	02
	<p>Elaboración del sistema de potabilización para la prueba preliminar y el diseño experimental 2^k.</p>	
<ul style="list-style-type: none"> - Greensand Plus - Guantes de hule - Guantes de tela - Guantes de látex - Algodón - Malla metálica - 1 tijera para cortar metal <p>Reactivos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hipoclorito de calcio al 70% 		
<p>Procedimiento Experimental:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Con el taladro hacer orificios de 1” en la parte inferior de todos los recipientes y uno en la parte superior de uno de los recipientes de 4.38 L. - Colocar los adaptadores machos y hembras en los orificios donde está destinada a pasar el agua, asegurándoles con cinta teflón para evitar fugas de agua; al recipiente de 4.38 L que posee 2 orificios colocarle el grifo cuello de ganso en el orificio inferior. - Asegurar todos los adaptadores con sellador de plástico y PVC. - Perforar las tapaderas de los recipientes de 4.38 L y enroscarles las varillas zincadas a cada una, recubierta con manguera de plástico cristal. Luego adaptarles la lámina de teflón para que funcione como un agitador manual de paleta. - Unir los recipientes con tapadera de rosca al recipiente con grifo mediante tuberías de PVC 1” de 13 cm de longitud. 		

	<p>ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA DE UNA PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA DE POZO QUE ABASTECE AL CANTÓN LOS MENJÍVAR EN SAN FRANCISCO LEMPA, CHALATENANGO</p>	02
	<p>Elaboración del sistema de potabilización para la prueba preliminar y el diseño experimental 2^k.</p>	
<ul style="list-style-type: none"> - Elaborar 4 mallas metálicas circulares de 11 cm de diámetro. - Agregar las capas de materiales a los recipientes de 24.5x11 cm y luego proceder a realizar el experimento. 		

	<p>ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA DE UNA PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA DE POZO QUE ABASTECE AL CANTÓN LOS MENJÍVAR EN SAN FRANCISCO LEMPA, CHALATENANGO</p>	03
	<p>Proceso de oxidación de hierro y manganeso con hipoclorito de calcio al 70 %.</p>	
<p>Objetivo: Oxidar el Hierro y Manganeso en la muestra de agua de pozo, para que se formen partículas sólidas, utilizando hipoclorito de calcio al 70 % como agente oxidante.</p>		
<p>La oxidación es un proceso de deterioro de los materiales en el cual se produce una reacción en donde dichos materiales pierden electrones e incrementan su carga.; este proceso puede ser usado para eliminar sustancias que puedan venir disueltas en el agua, como el caso de los minerales y de algunos compuestos orgánicos. También es útil en la eliminación de olores y sabores provocados por compuestos orgánicos, así como la eliminación de algunos organismos contaminantes causantes de enfermedades de transmisión hídrica.</p> <p>La oxidación se lleva a cabo mediante el uso de agentes oxidantes tales como el dióxido de cloro, ozono, permanganato de potasio y además mediante el proceso de aireación. Su elección depende del tipo de contaminante que se quiera oxidar, del tipo de instalaciones en la planta y del dinero que se disponga para dicho fin.</p>		
<p>Material y Equipo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1 Beaker de 50 ml - 1 espátula - 1 tanque de 4.38 L con agitador manual - 1 balanza Analítica <p>Reactivos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Hipoclorito de calcio al 70% - Agua destilada 		

	<p>ESTUDIO DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA DE UNA PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA DE POZO QUE ABASTECE AL CANTÓN LOS MENJÍVAR EN SAN FRANCISCO LEMPA, CHALATENANGO</p>	03
	<p>Proceso de oxidación de hierro y manganeso con hipoclorito de calcio al 70 %.</p>	
<p>Procedimiento Experimental</p> <ul style="list-style-type: none"> – Pesar 0.0103 g de hipoclorito de calcio al 70% en la balanza utilizando un beaker de 50 ml y una espátula. – Transferir los gramos pesados al galón de agua de pozo contenido en el tanque de agitación manual, por transferencia cuantitativa. <p>Agitar manualmente durante 20 minutos.</p>		
<p>Referencias Bibliográficas:</p> <p>Chang, R. (2010) <i>Fundamentos de Química</i>. México: McGraw Hill.</p>		

Anexo 7. Cálculos de la dosificación de hipoclorito de calcio 70 % a utilizar en el proceso experimental.

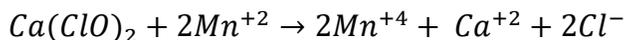
Dosificación de hipoclorito de calcio a utilizar en las pruebas preliminares para la remoción de hierro y manganeso.

Según los datos de la caracterización fisicoquímica del agua del pozo del cantón los Menjívar el agua contiene 0.58 mg/l de manganeso y 0.94 mg/l de hierro.

Para calcular la dosis total de hipoclorito de calcio a utilizar, se deben realizar los siguientes cálculos:

a. Hipoclorito de calcio necesario para la oxidación de manganeso disuelto en el agua

El manganeso (II) reacciona de la siguiente manera en presencia de hipoclorito de calcio:



De la anterior ecuación química se tiene que 1 mol $Ca(ClO)_2$ oxida 2 moles de Mn^{+2} y por estequiometría se tiene:

PM de Mn = 54.94 g

$$0.58 \frac{mg \text{ de Mn}}{l} * \frac{1g}{1000g} * \frac{142.88 g \text{ de } Ca(ClO)_2}{54.94 g \text{ de Mn} * 2} = 7.5419 \times 10^{-4} \frac{g \text{ de } Ca(ClO)_2}{l}$$

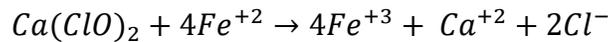
El anterior dato es la cantidad de hipoclorito calcio puro, pero en nuestro experimento se utilizó hipoclorito comercial al 70% por lo que de la siguiente conversión:

$$7.5419 \times 10^{-4} \frac{g \text{ de } Ca(ClO)_2 \text{ puro}}{l} * \frac{100 g \text{ de } Ca(ClO)_2 \text{ comercial}}{70 g \text{ de } Ca(ClO)_2 \text{ puro}} = R$$

$$R = 1.077 \times 10^{-3} \frac{\text{g de Ca(ClO)}_2 \text{ comercial}}{\text{l}}$$

b. Hipoclorito de calcio necesario para la oxidación de hierro disuelto en el agua

El hierro (II) reacciona de la siguiente manera en presencia de hipoclorito de calcio:



De la anterior ecuación química se tiene que 1 mol Ca(ClO)_2 oxida 4 moles de Fe^{+2} y por estequiometría se tiene:

PM de Fe = 55.85 g

$$0.94 \frac{\text{mg de Fe}}{\text{l}} * \frac{1\text{g}}{1000\text{g}} * \frac{142.88 \text{ g de Ca(ClO)}_2}{55.85 \text{ g de Fe} * 4} = 6.012 \times 10^{-4} \frac{\text{g de Ca(ClO)}_2}{\text{l}}$$

El anterior dato es la cantidad de hipoclorito calcio puro, pero en nuestro experimento se utilizó hipoclorito comercial al 70% por lo que de la siguiente conversión:

$$6.012 \times 10^{-4} \frac{\text{g de Ca(ClO)}_2 \text{ puro}}{\text{l}} * \frac{100 \text{ g de Ca(ClO)}_2 \text{ comercial}}{70 \text{ g de Ca(ClO)}_2 \text{ puro}} = R$$

$$R = 8.5886 \times 10^{-4} \frac{\text{g de Ca(ClO)}_2 \text{ comercial}}{\text{l}}$$

La cantidad total de Ca(ClO)_2 a utilizar para un galón de agua de pozo abarca la suma tanto de lo requerido para oxidar el hierro y el manganeso como de la cantidad de cloro residual:

$$A = \left[1.077 \times 10^{-3} \frac{\text{g de Ca(ClO)}_2}{\text{l}} + 8.5886 \times 10^{-4} \frac{\text{g de Ca(ClO)}_2}{\text{l}} + 0.0005 \frac{\text{g de Ca(ClO)}_2}{\text{l}} \right] * 3.7854 \text{ l}$$

$$A = Ca(ClO)_2 \text{ comercial total por cada galón de prueba}$$

$$= 9.22 \times 10^{-3} \text{ g de } Ca(ClO)_2 \text{ comercial}$$

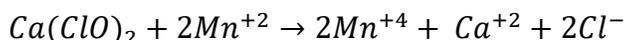
Dosificación de hipoclorito de calcio a utilizar en las pruebas del diseño de experimento 2^k para la remoción de hierro y manganeso

Según los datos de la caracterización fisicoquímica del agua del pozo del cantón los Menjívar el agua cuenta con 0.33 mg/l de manganeso y 1.75 mg/l de hierro.

Para calcular la dosis total de hipoclorito de calcio a utilizar, se deben realizar los siguientes cálculos:

a. Hipoclorito de calcio necesario para la oxidación de manganeso disuelto en el agua

El manganeso (II) reacciona de la siguiente manera en presencia de hipoclorito de calcio:



De la anterior ecuación química se tiene que 1 mol $Ca(ClO)_2$ oxida 2 moles de Mn^{+2} y por estequiometría se tiene:

PM de Mn = 54.94 g

$$0.33 \frac{\text{mg de Mn}}{\text{l}} * \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ g}} * \frac{142.88 \text{ g de } Ca(ClO)_2}{54.94 \text{ g de Mn} * 2} = 4.291 \times 10^{-4} \frac{\text{g de } Ca(ClO)_2}{\text{l}}$$

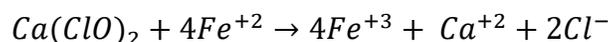
El anterior dato es la cantidad de hipoclorito calcio puro, pero en nuestro experimento se utilizó hipoclorito comercial al 70% por lo que de la siguiente conversión:

$$7.5419 \times 10^{-4} \frac{\text{g de } Ca(ClO)_2 \text{ puro}}{\text{l}} * \frac{100 \text{ g de } Ca(ClO)_2 \text{ comercial}}{70 \text{ g de } Ca(ClO)_2 \text{ puro}} = R$$

$$R = 6.13 \times 10^{-4} \frac{\text{g de Ca(ClO)}_2 \text{ comercial}}{\text{l}}$$

b. Hipoclorito de calcio necesario para la oxidación de hierro disuelto en el agua

El hierro (II) reacciona de la siguiente manera en presencia de hipoclorito de calcio:



De la anterior ecuación química se tiene que 1 mol Ca(ClO)_2 oxida 4 moles de Fe^{+2} y por estequiometría se tiene:

PM de Fe = 55.85 g

$$1.75 \frac{\text{mg de Fe}}{\text{l}} * \frac{1\text{g}}{1000\text{g}} * \frac{142.88 \text{ g de Ca(ClO)}_2}{55.85 \text{ g de Fe} * 4} = 1.119 \times 10^{-3} \frac{\text{g de Ca(ClO)}_2}{\text{l}}$$

El anterior dato es la cantidad de hipoclorito calcio puro, pero en nuestro experimento se utilizó hipoclorito comercial al 70% por lo que de la siguiente conversión:

$$6.012 \times 10^{-4} \frac{\text{g de Ca(ClO)}_2 \text{ puro}}{\text{l}} * \frac{100 \text{ g de Ca(ClO)}_2 \text{ comercial}}{70 \text{ g de Ca(ClO)}_2 \text{ puro}} = R$$

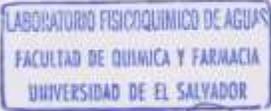
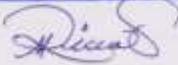
$$R = 1.5989 \times 10^{-3} \frac{\text{g de Ca(ClO)}_2 \text{ comercial}}{\text{l}}$$

La cantidad total de Ca(ClO)_2 a utilizar para un galón de agua de pozo abarca la suma tanto de lo requerido para oxidar el hierro y el manganeso como de la cantidad de cloro residual:

$$A = \left[6.13 \times 10^{-4} \frac{\text{g de Ca(ClO)}_2}{\text{l}} + 1.5989 \times 10^{-3} \frac{\text{g de Ca(ClO)}_2}{\text{l}} + 0.0005 \frac{\text{g de Ca(ClO)}_2}{\text{l}} \right] * 3.7854 \text{ l}$$

$$\begin{aligned} A &= \text{Ca(ClO)}_2 \text{ comercial total por cada galón galón de prueba} \\ &= 0.0103 \text{ g de Ca(ClO)}_2 \text{ comercial} \end{aligned}$$

Anexo 8. Resultado de análisis fisicoquímico de prueba preliminar, Laboratorio Físicoquímico de Aguas, Facultad de Química y Farmacia, Universidad de El Salvador.

 F - 09		 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS			
CODIGO N° 24-19		INFORME DE RESULTADOS			
Nombre y dirección del cliente: VICTORIA BURGOS COLONIA LIBERTAD, EDIFICIO N, APARTAMENTO N° 12. SAN SALVADOR.					Pág. 1 de 1
Descripción de muestra: AGUA DE POZO (TRATADA)				N° DE MUESTRAS: 1	
Lugar de toma de muestra: CANTÓN LOS MENJIVAR. SAN FRANCISCO LEMPA. DEPARTAMENTO DE CHALATENANGO.					
Fecha de elaboración del informe: VIERNES, 20 DE SEPTIEMBRE DE 2019.					
Fecha de recepción de muestra: 13 DE SEPTIEMBRE DE 2019.			Fecha de Análisis: DEL 13 AL 19 DE SEPTIEMBRE DE 2019.		
Parámetros	Método de Análisis	Identificación de la Muestra		Resultados	AGUA, AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD RTS 13.02.01:14
		CODIGO LABORATORIO	CODIGO CLIENTE		
Cloro Residual Libre	Fotométrico	24-19	Agua tratada, proveniente de pozo. Cantón Los Menjivar. Chalatenango	NO DETECTADO	1.1 mg/L
Hierro Total	Fotométrico			0.09 mg/L	0.3 mg/L
Manganeso	Fotométrico			0.15 mg/L	0.1 mg/L
Plomo	Fotométrico			0.03 mg/L	0.01 mg/L
Observaciones: - La toma de muestra estuvo a cargo del interesado.					
Advertencia: Los Resultados del informe solo se refieren a las muestras analizadas.					
NOTA: - El informe de análisis sólo puede ser reproducido parcial o totalmente con la autorización escrita del laboratorio. - Se especificará en observaciones, si la muestra fue tomada por el cliente o el laboratorio. - El Laboratorio Físicoquímico de Aguas pone a su disposición la siguiente dirección electrónica para que reporte alguna no conformidad al servicio prestado: quetas.spc.fqa@gmail.com					
FECHA DE ENTREGA:		24 SFP 2019			
 Lic. Henry Affonso Hernández Contreras Jefe del Laboratorio y Analista			 Lic. Rosa Miriam Rojas de Lara Analista		
FIN DEL REPORTE					



F - 09

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS

CODIGO N° 27-19		INFORME DE RESULTADOS			
Nombre y dirección del cliente: VICTORIA BURGOS COLONIA LIBERTAD, EDIFICIO N, APARTAMENTO N° 12. SAN SALVADOR.					Pág. 1 de 2
Descripción de muestra: AGUA DE POZO (TRATADA).					N° DE MUESTRAS: 2
Lugar de toma de muestra: CANTÓN LOS MERJIVAR, SAN FRANCISCO LEMPA. DEPARTAMENTO DE CHALATENANGO.					
Fecha de elaboración del informe: MARTES, 01 DE OCTUBRE DE 2019.					
Fecha de recepción de muestra: 25 DE SEPTIEMBRE DE 2019.			Fecha de Análisis: DEL 25 AL 30 DE SEPTIEMBRE DE 2019.		
Parámetros	Método de Análisis	Identificación de la Muestra		Resultados	AGUA. AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD RTS 13.02.01:14
		CODIGO LABORATORIO	CODIGO CLIENTE		
Cloro Residual Libre	Fotométrico	27-19-01	Agua de pozo tratada, N° de muestra 1. Lugar: Cantón Los Merjivar, Municipio de San Francisco Lempa. Chalatenango.	NO DETECTADO	1.1 mg/L
Hierro Total	Fotométrico			0.07 mg/L	0.3 mg/L
Manganeso	Fotométrico			0.21 mg/L	0.1 mg/L
Plomo	Fotométrico			0.32 mg/L	0.01 mg/L
Observaciones: - La toma de muestra estuvo a cargo del interesado.					

Advertencia: Los Resultados del informe solo se refieren a las muestras analizadas.

NOTA: - El informe de análisis sólo puede ser reproducido parcial o totalmente con la autorización escrita del laboratorio.
- Se especificará en observaciones, si la muestra fue tomada por el cliente o el laboratorio.
- El Laboratorio Físicoquímico de Aguas pone a su disposición la siguiente dirección electrónica para que reporte alguna no conformidad al servicio prestado: quejas.soc.fbaq@gmail.com

FECHA DE ENTREGA: 03 OCT 2019

LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

[Signature]
Lic. Henry Alfredo Hernández Contreras
Jefe del Laboratorio y Analista

[Signature]
Lic. Rosa Miriam Rojas de Lara
Analista

[Signature]
Lic. María del Carmen Pardo Martínez
Analista

FIN DEL REPORTE

acf

Final Avenida "Mártires Estudiantes del 30 de julio", Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador, C.A.
Teléfono Directo: 2531-2948. Correo electrónico: labfqa_ues@yahoo.com



F - 09



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS

CODIGO N° 27-19		INFORME DE RESULTADOS			
Nombre y dirección del cliente: VICTORIA BURGOS COLONIA LIBERTAD, EDIFICIO N, APARTAMENTO N° 12. SAN SALVADOR.					Pág. 2 de 2
Descripción de muestra: AGUA DE POZO (TRATADA).				N° DE MUESTRAS: 2	
Lugar de toma de muestra: CANTÓN LOS MENJIVAR. SAN FRANCISCO LEMPA, DEPARTAMENTO DE CHALATENANGO.					
Fecha de elaboración del informe: MARTES, 01 DE OCTUBRE DE 2019.					
Fecha de recepción de muestra: 25 DE SEPTIEMBRE DE 2019.			Fecha de Análisis: DEL 25 AL 30 DE SEPTIEMBRE DE 2019.		
Parámetros	Método de Análisis	Identificación de la Muestra		Resultados	AGUA. AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD RTS 13.02.01:14
		CODIGO LABORATORIO	CODIGO CLIENTE		
Cloro Residual Libre	Fotométrico	27-19-02	Agua de pozo tratada, N° de muestra 2. Lugar: Cantón Los Menjivar, Municipio de San Francisco Lempa, Chalatenango.	NO DETECTADO	1.1 mg/L
Hierro Total	Fotométrico			0.05 mg/L	0.3 mg/L
Manganeso	Fotométrico			0.10 mg/L	0.1 mg/L
Plomo	Fotométrico			0.10 mg/L	0.01 mg/L
Observaciones: - La toma de muestra estuvo a cargo del interesado.					

Advertencia: Los Resultados del informe solo se refieren a las muestras analizadas.

- NOTA:** - El informe de análisis sólo puede ser reproducido parcial o totalmente con la autorización escrita del laboratorio.
 - Se especificará en observaciones, si la muestra fue tomada por el cliente o el laboratorio.
 - El Laboratorio Físicoquímico de Aguas pone a su disposición la siguiente dirección electrónica para que reporte alguna no conformidad al servicio prestado: quejas.soc.ifa@univsalvador.edu.sv

FECHA DE ENTREGA: _____

03 OCT 2019

LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

Lic. Henry Alfredo Hernández Contreras
Jefe del Laboratorio y Analista

Lic. Rosa Miriam Rivas de Lara
Analista

Lic. María del Carmen Polio Martínez
Analista

Anexo 9. Localización de fuentes contaminantes por rubro a nivel municipal en la cuenca alta del río Lempa, que aportan desechos que contienen Cr, Cu, Zn, Hg y Pb, hasta el año 2004. (Cuadra y García, 2006).

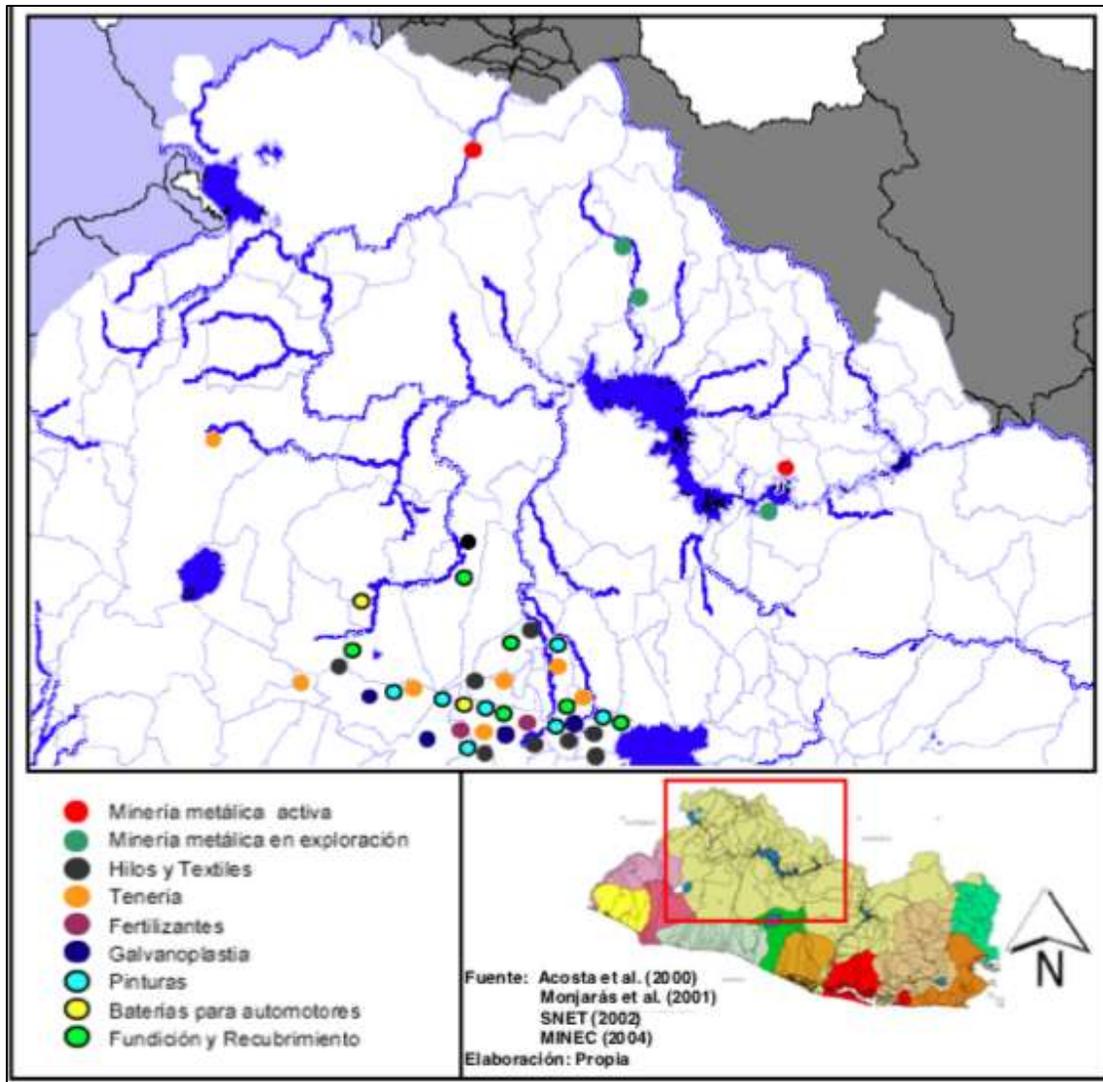


Figura 4. Tipo de industrias a nivel municipal que contaminan el lago Suchitlán.

Anexo 10. Resultados de análisis fisicoquímicos y bacteriológicos del agua de los pozos perforados (El Plan, Los Menjívar y Manantial El Tekal) en octubre del 2018, Laboratorio de Calidad de Agua de ANDA.

Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados
San Salvador, El Salvador



"Estudio Hidrogeológico en la microcuenca de quebrada La Brígida para la perforación de un pozo para el mejoramiento del abastecimiento de agua potable en el Municipio San Francisco Lempa, Departamento de Chalatenango"

En los resultados de estos análisis se puede observar que los parámetros respecto a la calidad bacteriológicas no sobrepasan la Norma de Calidad de Agua; no así el análisis de los parámetros químicos Hierro y Manganeseo, que se encuentran fuera de la Norma Técnica de calidad de agua, por lo antes descrito, se realizaron análisis actualizados, para cada una las fuentes utilizadas para el abastecimiento de la población del Municipio de San Francisco Lempa (dos pozos perforados y en el manantial), con el propósito de estudiar la calidad con la que cuentan.

Los análisis que se describen a continuación, fueron realizados en octubre de 2018, por el Laboratorio de Calidad de Agua de ANDA.

Tabla VII-3 Análisis físico - químico y bacteriológico del agua de los pozos perforados (El Plan y Los Menjívar) y el Manantial El Tekal

Parámetro de Laboratorio	Resultado Pozo No. 1 (El Plan)	Resultado Pozo No. 2 (Los Menjívar)	Resultado manantial El Tekal	Unidad	Límite Máximo Permisible NSQ (S.87.83.08)	Método de Referencia
Cloro Residual	Crudo	Crudo	Crudo	mg/L	0.3-1.1	4500-C10 DPD Colorimetric Method APHA
Temperatura de Muestra	30.6	35.1	29.6	°C	No Rechazable	2500 B Laboratory and Field Method APHA
Coliformes Totales	< 1.8	< 1.8	1300	NMP/100 ml	< 1.8	9215 B Enzima Substrate Test APHA
Coliformes Fecales	-	-	-	-	< 1.8	9223 B Fecal Coliform Procedure Method APHA
Enterococcus Coli	< 1.8	< 1.8	1.8	NMP/100 ml	< 1.8	9223 B Enzima Substrate Test APHA & Multiple Tube Procedure APHA
Bacterias Heterótrofas	-	-	-	UFC/vs	100	9215 B Pour Plate Method APHA
Color Visualidad	0.0	0.0	0.0	1 pc/cu	15	2120 B Visual Comparison Method APHA
Olor	Ninguno	Ninguno	Ninguno	-	No Rechazable	Table Organoleptics
Turbidez	0.3	1.5	1.2	NTU	5	2150 Nephelometry Method APHA
pH	7.05	7.34	6.68	-	6.0-8.3	4500-A & B Electrode Method APHA
Sólidos Disueltos Totales	158	233	128.1	mg/L	5000	Electrométrico
Sulfatos	< 10.00	15.60	< 10.0	mg/L	400	4500-D1 C Turbidimetric Method APHA
Aluminio	-	-	-	mg/L	0.2	8120 B Inductively Coupled Plasma (ICP) Method APHA
Dureza Total	88.28	89.82	74.23	mg/L	500	2340 C EDTA Titrimetric Method APHA
Zinc	< 0.009	0.08	< 0.009	mg/L	5	3500 In-vl, AA Method Selection 3111B APHA
Nitrato (NO3)	683.7	-	2305	mg/L	45	4500-NO3 Nitrogen (Nitrate) B Ultraviolet Spectrophotometric Screening APHA
Nitrito (como Nitrógeno)	-	-	-	mg/L	2	-
Boro	-	-	-	mg/L	0.3	3120 B Inductively Coupled Plasma (ICP) Method APHA
Hierro Total	< 0.035	0.564	0.035	mg/L	0.3	5501-Fe A, AA Method Selection 3111 B APHA
Manganeso Total	< 0.014	0.596	< 0.014	mg/L	0.1	3301-Mn A, AA Method Selection 3111 B APHA
Fosfor	< 0.18	-	< 0.18	mg/L	1	4500-F C Ion Selective Electrode Method APHA
Bario	-	0.017	-	mg/L	0.7	3120 B Inductively Coupled Plasma (ICP) Method APHA
Arsénico	< 0.002	-	< 0.002	mg/L	0.01	3500-Ars A, 3111 B, Electrothermal AA Spectrometric Method APHA

DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN HIDROGEOLOGICA Y PDDDS
Colonia Libertad, Avenida Don Bosco, Edificio ANDA. Tel.: 2247-1723



"Estudio Hidrogeológico en la microcuenca de quebrada La Brígida para la perforación de un pozo para el mejoramiento del abastecimiento de agua potable en el Municipio San Francisco Lempa, Departamento de Chalatenango"

Tabla VII-1 Análisis físico-químico del agua cruda del pozo Los Menjivar perforado en la zona.

No	Parámetros	Referencia Bibliográfica	Resultados	Límite Norma
1	pH	APHA Standard Methods for the examination of water and wastewater. 4500-H+B. 19th Edition 1995	7.28	6.0-8.5
2	Olor	APHA Standard Methods for the examination of water and wastewater. 2150 B. 19th Edition 1995	No Rechazable	No Rechazable
3	Color Verdadero	APHA Standard Methods for the examination of water and wastewater. 2120 B. 19th Edition 1995	5 mg/L	15
4	Turbidez	APHA Standard Methods for the examination of water and wastewater. 2130 B. 19th Edition 1995	2.70 UNT	5
5	Temperatura Muestra	APHA Standard Methods for the examination of water and wastewater. 2550 B. 19th Edition 1995	27 °C	No Rechazable
6	Sólidos Totales Disueltos	Método Modificado y Valido en el Laboratorio basado en APHA Standard Methods for the examination of water and wastewater 2540 C. 19th Edition, 1995	231.50 mg/L	1000
7	Hierro Total	Método Modificado y Valido en el Laboratorio basado en APHA Standard Methods for the examination of water and wastewater 3500 - Fe B. 19th Edition, 1995	0.58 mg/L	0.3
8	Manganeso	Método Modificado y Valido en el Laboratorio basado en APHA Standard Methods for the examination of water and wastewater 3500 - Mn B. 19th Edition, 1996	0.61 mg/L	0.1
9	Dureza Total (CaCO ₃)	Método Modificado y Valido en el Laboratorio basado en APHA Standard Methods for the examination of water and wastewater 2340 C. 19th Edition, 1997	100.51 mg/L	500
10	Sulfatos	Método Modificado y Valido en el Laboratorio basado en APHA Standard Methods for the examination of water and wastewater 4500-SO ₄ 2- E. 19th Edition, 1995	19.30 mg/L	400
11	Nitratos	APHA Standard Methods for The examination of water and wastewater 4500-NO ₃ B. 19th Edition, 1995	2.29 mg/L	45
12	Fluoruros	APHA Standard Methods for The examination of water and wastewater 413 D. 16th Edition, 1985	0.20 mg/L	1
13	Cloro residual	APHA Standard Methods for The examination of water and wastewater 114 E. 13th Edition, 1971	0.00 mg/L	0.3-1.1

Tabla VII-2 Análisis Bacteriológico del pozo Los Menjivar perforado en la zona

DETERMINACION	RESULTADOS	UNIDAD	NORMA
1	Bacterias Coliformes Totales APHA Standard Methods for the examination of water and wastewater 9221-B 22nd Edition 2012	< NMP/100 mL	< NMP/100 mL
2	Bacterias Coliformes Fecales APHA Standard Methods for the examination of water and wastewater 9221-B 22nd Edition 2012	< NMP/100 mL	< NMP/100 mL
3	Escherichia Coli APHA Standard Methods for the examination of water and wastewater 9221-B 22nd Edition 2012	Ausencia	Ausencia

DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN HIDROGEOLÓGICA Y POZOS
Calle Libertad, Avenida Don Bosco, Edificio ANDA, Tel.: 2247-2723



Anexo 11. Primeros diez municipios con iguales o mayores tasas de mortalidad por cáncer acumulada en la población igual o mayor de 20 años en El Salvador, período 2011-2015. (MINSAL, 2017).

Departamento	Municipio	Tasa de mortalidad período 2011-2015 (x100 000 hab.)
Chalatenango	San Francisco Lempa	604.4
La Unión	Meanguera del Golfo	460.3
San Salvador	San Salvador	447.6
Chalatenango	Las Vueltas	393.8
Chalatenango	Azacualpa	373.4
Chalatenango	Comalapa	349.3
Chalatenango	Tejutla	322.5
Chalatenango	Citalá	320.0
Ahuachapán	Atiquizaya	303.6
La Unión	Anamorós	295.7

Figura 5. Los primeros diez municipios con iguales o mayores tasas de mortalidad por cáncer acumulada en la población igual o mayor de 20 años de El Salvador, período 2011-2015.

Fuente: MINSAL, 2017.

Anexo 12. Primeros diez municipios con mayores tasas de mortalidad por enfermedad renal crónica acumulada en la población igual o mayor de 20 años de El Salvador, período 2011-2015. (MINSAL, 2017).

Departamento	Municipio	Tasa de mortalidad periodo 2011-2015 (x100 000 hab.)
San Miguel	Quelepa	1029.0
La Unión	San Alejo	955.2
La Unión	San José	937.1
Chalatenango	San Francisco Lempa	725.3
Cuscatlán	El Carmen	667.2
Usulután	Ereguayquín	660.2
La Unión	Bolivar	596.2
Usulután	Ozatlán	581.9
San Miguel	San Rafael Oriente	558.8
San Vicente	San Ildefonso	528.4

Figura 6. Municipios (diez primeros) con mayores tasas de mortalidad por enfermedad renal crónica acumulada en la población igual o mayor de 20 años de El Salvador, periodo 2011-2015.

Fuente: MINSAL, 2017.

Anexo 13. Resultado de análisis de Nitratos en el agua proveniente del pozo El Tekal de San Francisco Lempa, en el mes de noviembre de 2019. Laboratorio Físicoquímico de Aguas, Facultad de Química y Farmacia, Universidad de El Salvador.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS

F - 09

CODIGO Nº 35-19		INFORME DE RESULTADOS			
Nombre y dirección del cliente: VICTORIA BURGOS COLONIA LIBERTAD, EDIFICIO "N", APARTAMENTO Nº 12. SAN SALVADOR.					Pág. 1 de 1
Descripción de muestra: AGUA DE POZO (NO TRATADA)					Nº DE MUESTRAS: 1
Lugar de toma de muestra: CANTÓN LOS MENJIVAR, SAN FRANCISCO LEMPA, CHALATENANGO.					
Fecha de elaboración del informe: MARTES 19 DE NOVIEMBRE DE 2019.					
Fecha de recepción de muestra: 14 DE NOVIEMBRE DE 2019.			Fecha de Análisis: 18 DE NOVIEMBRE DE 2019.		
Parámetros	Método de Análisis	Identificación de la Muestra		Resultados	AGUA, AGUA DE CONSUMO HUMANO, REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD RTS 13.02.01:14
		CODIGO LABORATORIO	CODIGO CLIENTE		
Nitrato	Fotométrico	35-19	Muestra 2	0.6 mg/L	50 mg/L
Observaciones: - La toma de muestra estuvo a cargo del interesado.					

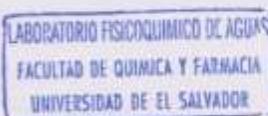
Advertencia: Los Resultados del informe solo se refieren a las muestras analizadas.

NOTA: - El informe de análisis sólo puede ser reproducido parcial o totalmente con la autorización escrita del laboratorio.
 - Se especificará en observaciones, si la muestra fue tomada por el cliente o el laboratorio.
 - El Laboratorio Físicoquímico de Aguas pone a su disposición la siguiente dirección electrónica para que reporte alguna no conformidad al servicio prestado: quies.spc.fqa@gmail.com

FECHA DE ENTREGA: 22 NOV 2019


 Lic. Henry Alfredo Hernández Centeno
 Jefe del Laboratorio y Analista


 Lic. María del Carmen Polio Martínez
 Analista



FIN DEL REPORTE

Anexo 14. Resultado del diseño experimental tipo 2^K para remoción de Fe, Mn y Pb, Laboratorio Físicoquímico de Aguas, Facultad de Química y Farmacia, Universidad de El Salvador.





F - 09
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS

CODIGO N° 28-19		INFORME DE RESULTADOS			
Nombre y dirección del cliente: VICTORIA BURGOS COLONIA LIBERTAD, EDIFICIO N, APARTAMENTO N° 12. SAN SALVADOR.					Pág. 4 de 4
Descripción de muestra: AGUA DE POZO (TRATADA).				N° DE MUESTRAS: 4	
Lugar de toma de muestra: CANTÓN LOS MENÍVAR, SAN FRANCISCO LEMPA, DEPARTAMENTO DE CHALATENANGO.					
Fecha de elaboración del informe: LUNES, 21 DE OCTUBRE DE 2019.					
Fecha de recepción de muestra: 14 DE OCTUBRE DE 2019.			Fecha de Análisis: DEL 14 AL 18 DE OCTUBRE DE 2019.		
Parámetros	Método de Análisis	Identificación de la Muestra		Resultados	AGUA. AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD RTS 13.02.01:14
		CODIGO LABORATORIO	CODIGO CLIENTE		
Hierro Total	Fotométrico	28-19-04	N° de muestra L. Lugar: Cantón Los Menívar, Municipio de San Francisco Lempa, Chalatenango.	0.80 mg/L	0.3 mg/L
Manganeso	Fotométrico			0.19 mg/L	0.1 mg/L
Plomo	Fotométrico			0.31 mg/L	0.01 mg/L
Observaciones: - La toma de muestra estuvo a cargo del interesado.					

Advertencia: Los Resultados del informe solo se refieren a las muestras analizadas.

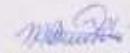
NOTA: - El informe de análisis sólo puede ser reproducido parcial o totalmente con la autorización escrita del laboratorio.
 - Se especificará en observaciones, si la muestra fue tomada por el cliente o el laboratorio.
 - El Laboratorio Físicoquímico de Aguas pone a su disposición la siguiente dirección electrónica para que reporte alguna no conformidad al servicio prestado: quejas.agc.fqfa@gmail.com

FECHA DE ENTREGA: 21 OCT 2019

LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS
 FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR



Lk. Henry Alfredo Hernández Contreras
Jefe del Laboratorio y Analista



Lk. María del Carmen Beltrán Martínez
Analista

FIN DEL REPORTE

Final Avenida "Mártires Estudiantiles del 30 de julio", Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador, C.A.
Teléfono Directo: 2531-2948. Correo electrónico: labfqa_ues@yahoo.com



F - 09



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS

CODIGO N° 28-19		INFORME DE RESULTADOS			
Nombre y dirección del cliente: VICTORIA BURGOS COLONIA LIBERTAD, EDIFICIO N, APARTAMENTO N° 12. SAN SALVADOR.					Pág. 3 de 4
Descripción de muestra: AGUA DE POZO (TRATADA).					N° DE MUESTRAS: 4
Lugar de toma de muestra: CANTÓN LOS MENJIVAR. SAN FRANCISCO LEMPA. DEPARTAMENTO DE CHALATENANGO.					
Fecha de elaboración del informe: LUNES, 21 DE OCTUBRE DE 2019.					
Fecha de recepción de muestra: 14 DE OCTUBRE DE 2019.			Fecha de Análisis: DEL 14 AL 18 DE OCTUBRE DE 2019.		
Parámetros	Método de Análisis	Identificación de la Muestra		Resultados	AGUA. AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD RTS 13.02.01:14
		CODIGO LABORATORIO	CODIGO CLIENTE		
Hierro Total	Fotométrico	28-19-03	N° de muestra 2. Lugar: Cantón Los Menjívar, Municipio de San Francisco Lempa, Chalatenango.	0.84 mg/L	0.3 mg/L
Manganeso	Fotométrico			0.13 mg/L	0.1 mg/L
Observaciones: - La toma de muestra estuvo a cargo del interesado.					

Advertencia: Los Resultados del informe solo se refieren a las muestras analizadas.

NOTA: - El informe de análisis sólo puede ser reproducido parcial o totalmente con la autorización escrita del laboratorio.
- Se especificará en observaciones, si la muestra fue tomada por el cliente o el laboratorio.
- El Laboratorio Físicoquímico de Aguas pone a su disposición la siguiente dirección electrónica para que reporte alguna no conformidad al servicio prestado: quejas_lfqa@gmail.com

FECHA DE ENTREGA: 21 OCT 2019

LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

Lic. Henry Alfredo Hernández Contreras
Jefe del Laboratorio y Analista

Lic. María del Carmen Pulido Martínez
Analista

FIN DEL REPORTE

sol

Final Avenida "Mártires Estudiantes del 30 de julio", Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador, C.A.
Teléfono Directo: 2531-2948. Correo electrónico: labfqa_ues@yahoo.com



F - 09



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS

CODIGO N° 28-19		INFORME DE RESULTADOS			
Nombre y dirección del cliente: VICTORIA BURGOS COLONIA LIBERTAD, EDIFICIO N, APARTAMENTO N° 12. SAN SALVADOR.					Pág. 2 de 4
Descripción de muestra: AGUA DE POZO (TRATADA).					N° DE MUESTRAS: 4
Lugar de toma de muestra: CANTÓN LOS MENJÍVAR. SAN FRANCISCO LEMPA. DEPARTAMENTO DE CHALATENANGO.					
Fecha de elaboración del informe: LUNES, 21 DE OCTUBRE DE 2019.					
Fecha de recepción de muestra: 14 DE OCTUBRE DE 2019.			Fecha de Análisis: DEL 14 AL 18 DE OCTUBRE DE 2019.		
Parámetros	Método de Análisis	Identificación de la Muestra		Resultados	AGUA. AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD RTS 13.02.01:14
		CODIGO LABORATORIO	CODIGO CLIENTE		
Hierro Total	Fotométrico	28-19-02	N° de muestra 3. Lugar: Cantón Los Menjívar, Municipio de San Francisco Lempa, Chalatenango.	0.76 mg/L	0.3 mg/L
Manganeso	Fotométrico			0.11 mg/L	0.1 mg/L
Observaciones: - La toma de muestra estuvo a cargo del interesado.					

Advertencia: Los Resultados del informe solo se refieren a las muestras analizadas.

NOTA: - El informe de análisis sólo puede ser reproducido parcial o totalmente con la autorización escrita del laboratorio.
- Se especificará en observaciones, si la muestra fue tomada por el cliente o el laboratorio.
- El Laboratorio Físicoquímico de Aguas pone a su disposición la siguiente dirección electrónica para que reporte alguna no conformidad al servicio prestado: quejes.sgc.fqa@gmail.com

FECHA DE ENTREGA: 21 OCT 2019

LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

Lic. Henry Alfredo Hernández Contreras
Jefe del Laboratorio y Analista

Lic. María del Carmen Pofa Martínez
Analista

FIN DEL REPORTE

acp

Final Avenida "Mártires Estudiantes del 30 de julio", Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador, C.A.
Teléfono Directo: 2531-2948. Correo electrónico: lsbfqa_ues@yahoo.com



F - 09



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
LABORATORIO FISICOQUÍMICO DE AGUAS

CODIGO N° 28-19		INFORME DE RESULTADOS			
Nombre y dirección del cliente: VICTORIA BURGOS COLONIA LIBERTAD, EDIFICIO N, APARTAMENTO N° 12. SAN SALVADOR.					Pág. 1 de 4
Descripción de muestra: AGUA DE POZO (TRATADA).					N° DE MUESTRAS: 4
Lugar de toma de muestra: CANTÓN LOS MENÉIVAR. SAN FRANCISCO LEMPA. DEPARTAMENTO DE CHALATENANGO.					
Fecha de elaboración del informe: LUNES, 21 DE OCTUBRE DE 2019.					
Fecha de recepción de muestra: 14 DE OCTUBRE DE 2019.			Fecha de Análisis: DEL 14 AL 18 DE OCTUBRE DE 2019.		
Parámetros	Método de Análisis	Identificación de la Muestra		Resultados	AGUA. AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD RTS 13.02.01:14
		CODIGO LABORATORIO	CODIGO CLIENTE		
Hierro Total	Fotométrico	28-19-01	N° de muestra 4. Lugar: Cantón Los Menéivar, Municipio de San Francisco Lempa. Chalatenango.	0.83 mg/L	0.3 mg/L
Manganeso	Fotométrico			0.10 mg/L	0.1 mg/L
Observaciones:					
- La toma de muestra estuvo a cargo del interesado.					

Advertencia: Los Resultados del informe solo se refieren a las muestras analizadas.

NOTA: - El informe de análisis sólo puede ser reproducido parcial o totalmente con la autorización escrita del laboratorio.
- Se especificará en observaciones, si la muestra fue tomada por el cliente o el laboratorio.
- El Laboratorio Físicoquímico de Aguas pone a su disposición la siguiente dirección electrónica para que reporte alguna no conformidad al servicio prestado: quejas_sqc_lfa@gmail.com

FECHA DE ENTREGA: 21 OCT 2019

LABORATORIO FISICOQUÍMICO DE AGUAS
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

Lic. Henry Reyna Hernández Contreras
Jefe del Laboratorio y Analista

Lic. María del Carmen Pardo Martínez
Analista

FIN DEL REPORTE

sol

Final Avenida "Mártires Estudiantes del 30 de julio", Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador, C.A.
Teléfono Directo: 2531-2948. Correo electrónico: labfqa_ues@yahoo.com



F - 09



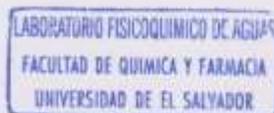
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS

CODIGO N° 29-19		INFORME DE RESULTADOS			
Nombre y dirección del cliente: VICTORIA BURGOS COLONIA LIBERTAD, EDIFICIO N, APARTAMENTO N° 12, SAN SALVADOR.					Pág. 2 de 4
Descripción de muestra: AGUA DE POZO (TRATADA).					N° DE MUESTRAS: 4
Lugar de toma de muestra: CANTÓN LOS MENJIVAR, SAN FRANCISCO LEMPA, DEPARTAMENTO DE CHALATENANGO.					
Fecha de elaboración del informe: LUNES, 21 DE OCTUBRE DE 2019.					
Fecha de recepción de muestra: 17 DE OCTUBRE DE 2019.			Fecha de Análisis: DEL 17 Y 18 DE OCTUBRE DE 2019.		
Parámetros	Método de Análisis	Identificación de la Muestra		Resultados	AGUA, AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD RTS 13.02.01:14
		CODIGO LABORATORIO	CODIGO CLIENTE		
Hierro Total	Fotométrico	29-19-02	N° de muestra 5. Lugar: Cantón Los Menjivar, Municipio de San Francisco Lempa, Chalatenango.	0.48 mg/L	0.3 mg/L
Manganeso	Fotométrico			3.83 mg/L	0.1 mg/L
Observaciones: - La toma de muestra estuvo a cargo del interesado.					

Advertencia: Los Resultados del informe solo se refieren a las muestras analizadas.

NOTA: - El informe de análisis sólo puede ser reproducido parcial o totalmente con la autorización escrita del laboratorio.
- Se especificará en observaciones, si la muestra fue tomada por el cliente o el laboratorio.
- El Laboratorio Físicoquímico de Aguas pone a su disposición la siguiente dirección electrónica para que reporte alguna no conformidad al servicio prestado: quejas.sqc.lfqa@gmail.com

FECHA DE ENTREGA: 21 OCT 2019



Lic. Henry Alfonso Hernández Contreras
Jefe del Laboratorio y Analista

Lic. María del Carmen Pollo Martínez
Analista

FIN DEL REPORTE

acé

Final Avenida "Mártires Estudiantes del 30 de julio", Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador, C.A.
Teléfono Directo: 2535-2948. Correo electrónico: labfqa_ues@yahoo.com



F - 09



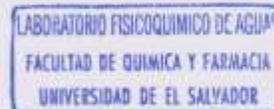
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS

CODIGO Nº 29-19		INFORME DE RESULTADOS			
Nombre y dirección del cliente: VICTORIA BURGOS COLONIA LIBERTAD, EDIFICIO N, APARTAMENTO Nº 12, SAN SALVADOR.					Pág. 1 de 4
Descripción de muestra: AGUA DE POZO (TRATADA).					Nº DE MUESTRAS: 4
Lugar de toma de muestra: CANTÓN LOS MENJIVAR, SAN FRANCISCO LEMPA, DEPARTAMENTO DE CHALATENANGO.					
Fecha de elaboración del informe: LUNES, 21 DE OCTUBRE DE 2019.					
Fecha de recepción de muestra: 17 DE OCTUBRE DE 2019.			Fecha de Análisis: DEL 17 Y 18 DE OCTUBRE DE 2019.		
Parámetros	Método de Análisis	Identificación de la Muestra		Resultados	AGUA, AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD RTS 13.02.01:14
		CODIGO LABORATORIO	CODIGO CLIENTE		
Hierro Total	Fotométrico	29-19-01	Nº de muestra 6. Lugar: Cantón Los Menjivar, Municipio de San Francisco Lempa, Chalatenango.	0.60 mg/L	0.3 mg/L
Manganeso	Fotométrico			0.46 mg/L	0.1 mg/L
Observaciones: - La toma de muestra estuvo a cargo del interesado.					

Advertencia: Los Resultados del informe solo se refieren a las muestras analizadas.

NOTA: - El informe de análisis sólo puede ser reproducido parcial o totalmente con la autorización escrita del laboratorio.
- Se especificará en observaciones, si la muestra fue tomada por el cliente o el laboratorio.
- El Laboratorio Físicoquímico de Aguas pone a su disposición la siguiente dirección electrónica para que reporte alguna no conformidad al servicio prestado: quejas.sqc.ifqa@gmail.com

FECHA DE ENTREGA: 21 OCT 2019



Lic. Henry Alfredo Hernández Contreras
Jefe del Laboratorio y Analista

Lic. María del Carmen Pollo Martínez
Analista

FIN DEL REPORTE



F - 09

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS

CODIGO N° 29-19		INFORME DE RESULTADOS			
Nombre y dirección del cliente: VICTORIA BURGOS COLONIA LIBERTAD, EDIFICIO N, APARTAMENTO N° 12. SAN SALVADOR.					Pág. 4 de 4
Descripción de muestra: AGUA DE POZO (TRATADA).					N° DE MUESTRAS: 4
Lugar de toma de muestra: CANTÓN LOS MENJIVAR, SAN FRANCISCO LEMPA, DEPARTAMENTO DE CHALATENANGO.					
Fecha de elaboración del informe: LUNES, 21 DE OCTUBRE DE 2019.					
Fecha de recepción de muestra: 17 DE OCTUBRE DE 2019.			Fecha de Análisis: DEL 17 Y 18 DE OCTUBRE DE 2019.		
Parámetros	Método de Análisis	Identificación de la Muestra		Resultados	AGUA, AGUA DE CONSUMO HUMANO, REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD RTS 13.02.01:14
		CODIGO LABORATORIO	CODIGO CLIENTE		
Hierro Total	Fotométrico	29-19-04	N° de muestra 7, Lugar: Cantón Los Menjivar, Municipio de San Francisco Lempa, Chalatenango.	0.27 mg/L	0.3 mg/L
Manganeso	Fotométrico			4.47 mg/L	0.1 mg/L
Observaciones: - La toma de muestra estuvo a cargo del interesado.					

Advertencia: Los Resultados del informe solo se refieren a las muestras analizadas.

NOTA: - El informe de análisis sólo puede ser reproducido parcial o totalmente con la autorización escrita del laboratorio.
- Se especificará en observaciones, si la muestra fue tomada por el cliente o el laboratorio.
- El Laboratorio Físicoquímico de Aguas pone a su disposición la siguiente dirección electrónica para que reporte alguna no conformidad al servicio prestado: quejas_sgc_lfqa@gmail.com

FECHA DE ENTREGA: 21 OCT 2019

LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

Lic. Henry Alfredo Hernández Contreras
Jefe del Laboratorio y Analista

Lic. María del Carmen Pollo Martínez
Analista

FIN DEL REPORTE

408

Final Avenida "Mártires Estudiantes del 30 de julio", Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador, C.A.
Teléfono Directo: 2531-2948. Correo electrónico: labfqa_ues@yahoo.com



F - 09



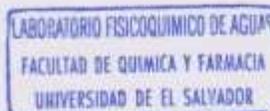
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS

CODIGO N° 29-19		INFORME DE RESULTADOS			
Nombre y dirección del cliente: VICTORIA BURGOS COLONIA LIBERTAD, EDIFICIO N, APARTAMENTO N° 12, SAN SALVADOR.					Pág. 3 de 4
Descripción de muestra: AGUA DE POZO (TRATADA).					N° DE MUESTRAS: 4
Lugar de toma de muestra: CANTÓN LOS MENJIVAR, SAN FRANCISCO LEMPA, DEPARTAMENTO DE CHALATENANGO.					
Fecha de elaboración del informe: LUNES, 21 DE OCTUBRE DE 2019.					
Fecha de recepción de muestra: 17 DE OCTUBRE DE 2019.			Fecha de Análisis: DEL 17 Y 18 DE OCTUBRE DE 2019.		
Parámetros	Método de Análisis	Identificación de la Muestra		Resultados	AGUA, AGUA DE CONSUMO HUMANO, REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD RTS 13.02.01:14
		CODIGO LABORATORIO	CODIGO CLIENTE		
Hierro Total	Fotométrico	29-19-03	N° de muestra 8. Lugar: Cantón Los Menjivar, Municipio de San Francisco Lempa, Chalatenango.	0.38 mg/L	0.3 mg/L
Manganeso	Fotométrico			0.54 mg/L	0.1 mg/L
Observaciones: - La toma de muestra estuvo a cargo del interesado.					

Advertencia: Los Resultados del informe solo se refieren a las muestras analizadas.

- NOTA:** - El informe de análisis sólo puede ser reproducido parcial o totalmente con la autorización escrita del laboratorio.
 - Se especificará en observaciones, si la muestra fue tomada por el cliente o el laboratorio.
 - El Laboratorio Físicoquímico de Aguas pone a su disposición la siguiente dirección electrónica para que reporte alguna no conformidad al servicio prestado: quejas.sgc.lfqa@gmail.com

FECHA DE ENTREGA: 21 OCT 2019



Lic. Henry Alfonso Rosales Contreras
Jefe del Laboratorio y Analista

Lic. María del Carmen Pollo Martínez
Analista

FIN DEL REPORTE

scf

Final Avenida "Mártires Estudiantes del 30 de julio", Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador, C.A.
Teléfono Directo: 2531-2948. Correo electrónico: labfqa_ues@yahoo.com



F - 09



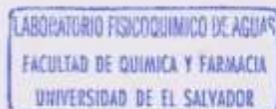
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS

CODIGO Nº 30-19		INFORME DE RESULTADOS			
Nombre y dirección del cliente: VICTORIA BURGOS COLONIA LIBERTAD, EDIFICIO N, APARTAMENTO Nº 12. SAN SALVADOR.					Pág. 1 de 1
Descripción de muestra: AGUA DE POZO (TRATADA).					Nº DE MUESTRAS: 4
Lugar de toma de muestra: CANTÓN LOS MENJIVAR. SAN FRANCISCO LEMPA. DEPARTAMENTO DE CHALATENANGO.					
Fecha de elaboración del informe: VIERNES, 25 DE OCTUBRE DE 2019.					
Fecha de recepción de muestra: 21 DE OCTUBRE DE 2019.			Fecha de Análisis: DEL 21 AL 24 DE OCTUBRE DE 2019.		
Parámetros	Método de Análisis	Identificación de la Muestra		Resultados	AGUA. AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD RTS 13.02.01:14
		CODIGO LABORATORIO	CODIGO CLIENTE		
Plomo.	Fotométrico	30-10-01	Muestra #2	0.10 mg/L	0.01 mg/L
		30-10-02	Muestra #1	0.23 mg/L	
		30-10-03	Muestra #4	0.04 mg/L	
		30-10-04	Muestra #3	0.21 mg/L	
Observaciones:					
- La toma de muestra estuvo a cargo del interesado.					

Advertencia: Los Resultados del informe solo se refieren a las muestras analizadas.

NOTA: - El informe de análisis sólo puede ser reproducido parcial o totalmente con la autorización escrita del laboratorio.
- Se especificará en observaciones, si la muestra fue tomada por el cliente o el laboratorio.
- El Laboratorio Físicoquímico de Aguas pone a su disposición la siguiente dirección electrónica para que reporte alguna no conformidad al servicio prestado: quejas.agc.lfa@gmail.com

FECHA DE ENTREGA: 25 OCT 2019



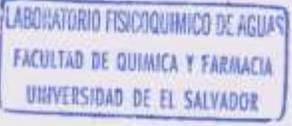
Lic. *Alfredo Hernández Contreras*
Jefe del Laboratorio y Analista

Lic. *María del Carmen Pello Martínez*
Analista

FIN DEL REPORTE

Final Avenida "Mártires Estudiantes del 30 de julio", Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador, C.A.
Teléfono Directo: 2531-2948. Correo electrónico: labfqa_ues@yahoo.com

**Anexo 15. Resultado de pruebas óptimas para remoción de Fe, Mn y Pb,
Laboratorio Físicoquímico de Aguas, Facultad de Química y
Farmacia, Universidad de El Salvador.**

 F - 09					
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS					
CODIGO N° 37-19		INFORME DE RESULTADOS			
Nombre y dirección del cliente: VICTORIA BURGOS COLONIA LIBERTAD, EDIFICIO N, APARTAMENTO N° 12. SAN SALVADOR.		Pág: 1 de 3			
Descripción de muestra: AGUA DE POZO (TRATADA)		N° DE MUESTRAS: 3			
Lugar de toma de muestra: CANTÓN LOS MENÚVAR. SAN FRANCISCO LEMPA. DEPARTAMENTO DE CHALATENANGO.					
Fecha de elaboración del informe: MIÉRCOLES, 27 DE NOVIEMBRE DE 2019.					
Fecha de recepción de muestra: 15 DE NOVIEMBRE DE 2019.		Fecha de Análisis: DEL 15 AL 27 DE NOVIEMBRE DE 2019.			
Parámetros	Método de Análisis	Identificación de la Muestra		Resultados	AGUA. AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD RTS 13.02.01:14
		CODIGO LABORATORIO	CODIGO CLIENTE		
Hierro Total	Fotométrico	37-19-01	MUESTRA 1, AGUA TRATADA DE POZO, AGUA DE POZO DE CHALATENANGO	0.11 mg/L	0.3 mg/L
Manganeso	Fotométrico			0.24 mg/L	0.1 mg/L
Plomo	Fotométrico			0.37 mg/L	0.01 mg/L
Observaciones: - La toma de muestra estuvo a cargo del interesado.					
Advertencia: Los Resultados del informe solo se refieren a las muestras analizadas.					
NOTA: - El informe de análisis sólo puede ser reproducido parcial o totalmente con la autorización escrita del laboratorio. - Se especificará en observaciones, si la muestra fue tomada por el cliente o el laboratorio. - El Laboratorio Físicoquímico de Aguas pone a su disposición la siguiente dirección electrónica para que reporte alguna no conformidad al servicio prestado: quejas_soc_ifqa@gmail.com					
FECHA DE ENTREGA: <u>28 NOV 2019</u>					
					
 Lda. Henry Alfredo Hernández Contreras Jefe del Laboratorio y Analista			 Lic. María del Carmen Polio Martínez Analista		



F - 09



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS

CODIGO N° 37-19		INFORME DE RESULTADOS			
Nombre y dirección del cliente: VICTORIA BURGOS COLONIA LIBERTAD, EDIFICIO N, APARTAMENTO N° 12. SAN SALVADOR.					Pág. 3 de 3
Descripción de muestra: AGUA DE POZO (TRATADA)					N° DE MUESTRAS: 3
Lugar de toma de muestra: CANTÓN LOS MENJIVAR. SAN FRANCISCO LEMPA. DEPARTAMENTO DE CHALATENANGO.					
Fecha de elaboración del informe: MIÉRCOLES, 27 DE NOVIEMBRE DE 2019.					
Fecha de recepción de muestra: 15 DE NOVIEMBRE DE 2019.			Fecha de Análisis: DEL 15 AL 27 DE NOVIEMBRE DE 2019.		
Parámetros	Método de Análisis	Identificación de la Muestra		Resultados	AGUA. AGUA DE CONSUMO HUMANO, REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD RTS 13.02.01:14
		CODIGO LABORATORIO	CODIGO CLIENTE		
Hierro Total	Fotométrico	37-19-03	MUESTRA 2, AGUA TRATADA DE POZO, DE CHALATENANGO	0.49 mg/L	0.3 mg/L
Manganeso	Fotométrico			0.20 mg/L	0.1 mg/L
Plomo	Fotométrico			0.40 mg/L	0.01 mg/L
Observaciones:					
- La toma de muestra estuvo a cargo del interesado.					

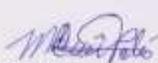
Advertencia: Los Resultados del informe solo se refieren a las muestras analizadas.

NOTA: - El informe de análisis sólo puede ser reproducido parcial o totalmente con la autorización escrita del laboratorio.
- Se especificará en observaciones, si la muestra fue tomada por el cliente o el laboratorio.
- El Laboratorio Físicoquímico de Aguas pone a su disposición la siguiente dirección electrónica para que reporte alguna no conformidad al servicio prestado: quedirs.igc.fqa@gmail.com

FECHA DE ENTREGA: 28 NOV 2019

LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR


Lic. Henry Alfredo Hernández Contreras
Jefe del Laboratorio de Análisis


Lic. María del Carmen Polio Martínez
Asistente



F - 09



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
LABORATORIO FISCOQUÍMICO DE AGUAS

CODIGO N° 37-19		INFORME DE RESULTADOS			
Nombre y dirección del cliente: VICTORIA BURGOS COLONIA LIBERTAD, EDIFICIO N, APARTAMENTO N° 12, SAN SALVADOR.					Pág. 2 de 3
Descripción de muestra: AGUA DE POZO (TRATADA)					N° DE MUESTRAS: 3
Lugar de toma de muestra: CANTÓN LOS MENJIVAR, SAN FRANCISCO LEMPA, DEPARTAMENTO DE CHALATENANGO.					
Fecha de elaboración del informe: MIÉRCOLES, 27 DE NOVIEMBRE DE 2019.					
Fecha de recepción de muestra: 15 DE NOVIEMBRE DE 2019.			Fecha de Análisis: DEL 15 AL 27 DE NOVIEMBRE DE 2019.		
Parámetros	Método de Análisis	Identificación de la Muestra		Resultados	AGUA, AGUA DE CONSUMO HUMANO, REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD RTS 13.02.01:14
		CODIGO LABORATORIO	CODIGO CLIENTE		
Hierro Total	Fotométrico	37-19-02	MUESTRA 3, AGUA TRATADA DE POZO, DE CHALATENANGO	0.18 mg/L	0.3 mg/L
Manganeso	Fotométrico			0.19 mg/L	0.1 mg/L
Plomo	Fotométrico			0.48 mg/L	0.01 mg/L
Observaciones:					
- La toma de muestra estuvo a cargo del interesado.					

Advertencia: Los Resultados del informe solo se refieren a las muestras analizadas.

NOTA: - El informe de análisis sólo puede ser reproducido parcial o totalmente con la autorización escrita del laboratorio.
- Se especificará en observaciones, si la muestra fue tomada por el cliente o el laboratorio.
- El Laboratorio Físicoquímico de Aguas pone a su disposición la siguiente dirección electrónica para que reporte alguna no conformidad al servicio prestado: quejas.sgc.lfqa@gmail.com

FECHA DE ENTREGA: 28 NOV 2019

LABORATORIO FISCOQUÍMICO DE AGUAS
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

Lic. Henry Alfonso Hernández Contreras

Lic. María del Carmen Posío Martínez

Anexo 16. Resultado de la caracterización final del agua tratada en el sistema de potabilización propuesto a nivel de laboratorio. Laboratorio Físicoquímico de Aguas, Facultad de Química y Farmacia, Universidad de El Salvador.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS

F - 09

CODIGO N° 36-19		INFORME DE RESULTADOS			
Nombre y dirección del cliente: VICTORIA BURGOS COLONIA LIBERTAD, EDIFICIO N, APARTAMENTO N° 12. SAN SALVADOR.					Pág. 1 de 1
Descripción de muestra: AGUA DE POZO (TRATADA).					N° DE MUESTRAS: 1
Lugar de toma de muestra: CANTÓN LOS MENÍVAR, SAN FRANCISCO LEMPA, DEPARTAMENTO DE CHALATENANGO.					
Fecha de elaboración del informe: MIÉRCOLES, 27 DE NOVIEMBRE DE 2019					
Fecha de recepción de muestra: 15 DE NOVIEMBRE DE 2019.			Fecha de Análisis: DEL 15 AL 26 DE NOVIEMBRE DE 2019.		
Parámetros	Método de Análisis	Identificación de la Muestra		Resultados	AGUA. AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD RTS 13.02.01:14
		CODIGO LABORATORIO	CODIGO CLIENTE		
Color	Fotométrico	36-19	MUESTRA #4 AGUA TRATADA DE POZO DE CHALATENANGO	9.4 Pt - Co	15 Pt - Co
Conductividad	Potenciométrico			393 µmho/cm	NO NORMADO
Dureza Total (CaCO ₃)	Volumétrico			77 mg/L	500 mg/L
Hierro Total	Fotométrico			0.63 mg/L	0.3 mg/L
Manganeso	Fotométrico			0.25 mg/L	0.1 mg/L
Plomo	Fotométrico			0.32 mg/L	0.01 mg/L
Sólidos Totales Disueltos	Potenciométrico			193.6 mg/L	1000 mg/L
Turbiedad	Fotométrico			3.26 UNT	5 UNT
Observaciones: - La toma de muestra estuvo a cargo del interesado.					

Advertencia: Los Resultados del informe solo se refieren a las muestras analizadas.

NOTA: - El informe de análisis sólo puede ser reproducido parcial o totalmente con la autorización escrita del laboratorio.
 - Se especificará en observaciones, si la muestra fue tomada por el cliente o el laboratorio.
 - El Laboratorio Físicoquímico de Aguas pone a su disposición la siguiente dirección electrónica para que reporte alguna no conformidad al servicio prestado: queses.agc.fis@uies.edu.sv

FECHA DE ENTREGA: 28 NOV 2019


 Lc. Ximel Miriam Rojas de Lara
 Analista


 Lc. Henry Alfredo Rodríguez Contreras
 Jefe del Laboratorio y Analista


 Lc. María del Carmen Velásquez Martínez
 Analista

FIN DEL REPORTE

Final Avenida "Mártires Estudiantes del 30 de julio", Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador, C.A.
 Teléfono Directo: 2531-2948. Correo electrónico: labfqa_uies@yahoo.com

Anexo 17. Resultado de análisis de Fe, Mn y Pb del pozo del cantón Los Menjívar en el mes de noviembre de 2019, Laboratorio Físicoquímico de Aguas, Facultad de Química y Farmacia, Universidad de El Salvador.



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE QUÍMICA Y FARMACIA
LABORATORIO FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS

F - 09

CODIGO N° 34-19		INFORME DE RESULTADOS			
Nombre y dirección del cliente: VICTORIA BURGOS COLONIA LIBERTAD, EDIFICIO N, APARTAMENTO N° 12. SAN SALVADOR.					Pág. 1 de 1
Descripción de muestra: AGUA DE POZO (NO TRATADA)					N° DE MUESTRAS: 1
Lugar de toma de muestra: CANTÓN LOS MENJIVAR. SAN FRANCISCO LEMPA. DEPARTAMENTO DE CHALATENANGO.					
Fecha de elaboración del informe: MIÉRCOLES, 27 DE NOVIEMBRE DE 2019.					
Fecha de recepción de muestra: 14 DE NOVIEMBRE DE 2019.			Fecha de Análisis: DEL 14 AL 27 DE NOVIEMBRE DE 2019.		
Parámetros	Método de Análisis	Identificación de la Muestra		Resultados	AGUA. AGUA DE CONSUMO HUMANO. REQUISITOS DE CALIDAD E INOCUIDAD RTS 13.02.01:14
		CODIGO LABORATORIO	CODIGO CLIENTE		
Hierro Total	Fotométrico	34-19	MUESTRA 1, AGUA SIN TRATAR DE POZO, LOCALIZADO EN CHALATENANGO	1.75 mg/L	0.3 mg/L
Manganeso	Fotométrico			0.33 mg/L	0.1 mg/L
Plomo	Fotométrico			0.83 mg/L	0.01 mg/L
Observaciones: - La toma de muestra estuvo a cargo del interesado.					
Advertencia: Los Resultados del informe solo se refieren a las muestras analizadas.					
NOTA: - El informe de análisis sólo puede ser reproducido parcial o totalmente con la autorización escrita del laboratorio. - Se especificará en observaciones, si la muestra fue tomada por el cliente o el laboratorio. - El Laboratorio Físicoquímico de Aguas pone a su disposición la siguiente dirección electrónica para que reporte alguna no conformidad al servicio prestado: aguas.fqa@univsalvador.edu.sv					
FECHA DE ENTREGA: <u>28 NOV 2019</u>					
 Lic. Henry Wilson Hernández Contreras Jefe del Laboratorio y Analista			 Lic. María del Carmen Polo Martínez Analista		
FIN DEL REPORTE					
Final Avenida "Mártires Estudiantes del 30 de julio", Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador, C.A. Teléfono Directo: 2531-2848. Correo electrónico: labfqa_ues@yahoo.com					

Anexo 18. Valores permitidos para el agua de riego y drenaje de calidad por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), 1994.

Tabla 1. Máxima concentración recomendada de trazas de elementos en el agua para riego

Elemento	Concentración máxima recomendada (mg/l)	Característica
Al (aluminio)	5	Puede causar improductividad en suelos ácidos (pH<5.5) pero en solidos alcalinos (pH>7) es posible precipitar el ion y eliminar su toxicidad.
As (arsénico)	0.10	Toxico para las plantas.
Be (berilio)	0.10	La toxicidad para las plantas varía ampliamente, desde 5 mg / l para col rizada hasta 0.5 mg / l para frijoles.
Cd (cadmio)	0.01	Toxico para los frijoles, remolachas y nabos en concentraciones tan bajas como 0.1 mg/l en soluciones nutritivas. Se recomiendan límites conservadores debido a su potencial de acumulación en plantas y suelos a concentraciones que pueden ser perjudiciales para los humanos.
Co (cobalto)	0.05	Toxico para las plantas de tomate a 0.1 mg/l en solución nutritiva. Tiende a ser inactivado por suelos neutros y alcalinos
Cr (cromo)	0.10	No se reconoce generalmente como un elemento esencial de crecimiento. Límites de conservación recomendados debido a la falta de conocimiento sobre su toxicidad para las plantas
Cu (cobre)	0.20	Toxico para varias plantas de 0.1 a 1 mg/l en soluciones nutritivas
F (fluoruro)	1.0	Inactivo para suelos neutros y alcalinos
Fe (hierro)	5.0	No se toxico para las plantas en suelos aireados, pero puede contribuir a la acidificación del suelo y a la perdida de disponibilidad de fosforo y molibdenos esenciales. La aspersión aérea puede ocasionar depósitos antiestéticos en plantas, equipos y edificios.
Li (litio)	2.5	Tolerado por la mayoría de los cultivos hasta 5mg/l, móvil en el suelo. Toxico para los cítricos en balas concentraciones (<0.0075 mg/l). Actúa de manera similar al boro

Continúa

Elemento	Concentración máxima recomendada (mg/l)	Característica
Mn (manganeso)	0.2	Toxico para varios cultivos de unas pocas décimas a unos pocos mg/l, pero generalmente solo en suelos ácidos
Ni (níquel)	0.2	Toxico para varias plantas de 0.5 mg/l a 1 mg/l; toxicidad reducida a pH neutro o alcalino
Pb (plomo)	5.0	Puede inhibir el crecimiento de células vegetales en concentraciones muy altas
Se (selenio)	0.02	Toxico para las plantas en concentraciones tan bajas como 0.025 mg/l y toxico para el ganado si se cultiva forraje en suelos con niveles relativamente altos de selenio agregado. Un elemento esencial para los animales, pero en muy bajas concentraciones.
Ti (titanio)		Efectivamente excluido por las plantas, tolerancia específica desconocida.
V (vanadio)	0.1	Toxico para muchas plantas en concentraciones relativamente bajas.
Zn (zinc)	2.0	Toxico para muchas plantas en concentraciones muy variables, toxicidad reducida a pH>6 y en suelo de textura fina u orgánicos
Mn (manganeso)	0.2	Toxico para varios cultivos de unas pocas décimas a unos pocos mg/l, pero generalmente solo en suelos ácidos
Mo (molibdeno)	0.01	No es toxico para las plantas a concentraciones normales en el suelo y el agua. Puede ser toxico para el ganado si el forraje se cultiva en suelos con altas concentraciones de molibdeno disponible.

Fuente: FAO calidad del agua para agricultura.

La concentración máxima se basa en una tasa de aplicación de agua que es consistente con las buenas prácticas de riego (10 000 m³ por hectárea por año). Si la tasa de aplicación de agua excede en gran medida esto, las concentraciones máximas deben ajustarse hacia abajo en consecuencia.

Anexo 19. Tablas de dosificación de hipoclorito de sodio para desinfección de agua, dado por la organización panamericana de salud y la organización mundial, según la concentración y la cantidad de agua a manejar.

Tabla 2. Dosis para la desinfección microbiológica de hipoclorito de sodio si la concentración es de 0.5% (5000 mg/l)

Volumen de agua a desinfectar	Cantidad de cloro líquido a agregar en tiempo	Cantidad de cloro líquido a agregar en emergencia
1 litro	4 gotas	8 gotas
2 litros	8 gotas	16 gotas
1 galón	15 gotas	30 gotas (1 ½ mililitros)
5 litros	20 gotas (1 mililitro)	40 gotas (2 mililitros)
10 litros	40 gotas (2 mililitros)	4 mililitros (½ tapita)
20 litros (5 galones)	4 mililitros (1/2 tapita)	8 mililitros (1 tapita)
100 litros (25 galones)	20 mililitros (2 ½ tapitas)	40 mililitros (5 tapitas)
200 litros (50 galones)	40 mililitros (5 tapitas)	80 mililitros (10 tapitas)
1000 (250 galones)	200 mililitros (25 tapitas)	400 mililitros (50 tapitas)

Fuente: Guía técnica para el tratamiento y desinfección de agua para consumo humano por medio de cloro.

Tabla 3. Dosis para la desinfección microbiológica de hipoclorito de sodio si la concentración es de 1% (10,000 mg/l)

Volumen de agua a desinfectar	Cantidad de cloro líquido a agregar en tiempo	Cantidad de cloro líquido a agregar en emergencia
1 litro	2 gotas	4 gotas
2 litros	4 gotas	8 gotas
1 galón	8 gotas	15 gotas
5 litros	10 gotas	20 gotas (1 mililitros)
10 litros	20 gotas (1 mililitros)	40 gotas (2 mililitros)
20 litros (5 galones)	40 gotas (2mililitros)	4 mililitros (1/2 tapita)
100 litros (25 galones)	10 mililitros (1 1/4tapitas)	20 mililitros (2 1/2 tapitas)
200 litros (50 galones)	20 mililitros (2 1/2 tapitas)	40 mililitros (5 tapitas)
1000 (250 galones)	100 mililitros (12 1/2 tapitas)	200 mililitros (25 tapitas)

Fuente: Guía técnica para el tratamiento y desinfección de agua para consumo humano por medio de cloro

Tabla 4. Dosis para la desinfección microbiológica de hipoclorito de sodio si la concentración es de 5% (50,000 mg/l)

Volumen de agua a desinfectar	Cantidad de cloro líquido a agregar en tiempo	Cantidad de cloro líquido a agregar en emergencia
1 litro	1/2 gotas	1 gotas
2 litros	1 gotas	1 ½ gotas
1 galón	1 ½ gotas	3 gotas
5 litros	2 gotas	4 gotas
10 litros	4 gotas	8 gotas
20 litros (5 galones)	8 gotas	16 gotas
100 litros (25 galones)	40 gotas (2 mililitros)	4 mililitros (1/2 tapitas)
200 litros (50 galones)	4 mililitros (1/2 tapitas)	8 mililitros (1 tapitas)
1000 (250 galones)	20 mililitros (2 1/2 tapitas)	40 mililitros (5 tapitas)

Fuente: Guía técnica para el tratamiento y desinfección de agua para consumo humano por medio de cloro.

Tabla 5. Dosis para la desinfección microbiológica de hipoclorito de sodio si la concentración es de 10% (100,000 mg/l)

Volumen de agua a desinfectar	Cantidad de cloro líquido a agregar en tiempo	Cantidad de cloro líquido a agregar en emergencia
1 litro	-	-
2 litros	1/2 gotas	1 gotas
1 galón	1 gotas	1 1/2 gotas
5 litros	1 gotas	2 gotas
10 litros	2 gotas	4 gotas
20 litros (5 galones)	4 gotas	8gotas
100 litros (25 galones)	20 gotas (1 mililitros)	40 gotas (2 mililitros)
200 litros (50 galones)	40 gotas (2 mililitros)	4 mililitros (1/2 tapitas)
1000 (250 galones)	10 mililitros (1 1/4 tapitas)	20 mililitros (2 1/2 tapitas)

Fuente: Guía técnica para el tratamiento y desinfección de agua para consumo humano por medio de cloro.