

INSTITUTO TECNOLOGICO DE COSTA RICA

CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL



PROYECTO FINAL DE GRADUACION PARA OPTAR POR EL GRADO
DE LICENCIATURA EN INGENIERIA AMBIENTAL

Mejoramiento de la calidad de agua para uso y consumo humano a nivel
domiciliar mediante la remoción de hierro en la Comunidad Monte Rey
ubicada en Cariari de Pococí

REALIZADO POR:

Sthefany Hernández Garita

Cartago, Mayo 2014

DEDICATORIA

A mis padres Elieth Garita Romero y Moisés Hernández Chaves con todo el cariño y porque son mi mayor tesoro, porque me han brindado su apoyo incondicional en todos los años de universidad. Gracias a ellos por ayudarme a ver concluida esta etapa de mi vida y ser padres preocupados por mi estudio y bienestar. A mis hermanos que me entienden en los momentos buenos y malos. Los amo.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar a Dios, porque me ayudó en los momentos difíciles de la carrera, y me dio la bendición de contar con padres muy preocupados por mi educación.

A la Ing. Laura Segura por abrirme las puertas para realizar el proyecto de graduación en ACTo y por la supervisión y tiempo que me entregó. A todas las personas que tuve el gusto de conocer y que de forma directa e indirecta apoyaron esta iniciativa, en especial a Noldan Chavarría Varela por compartir experiencias a mi lado en gestiones dentro de la comunidad.

Muchas gracias al profesor tutor el Ing. Jorge Calvo Gutiérrez, el cual colaboró con sus conocimientos y destrezas en la realización de este trabajo, gracias por la motivación para seguir adelante y por sus consejos de padre, amigo y profesor.

A los profesores Erick Romero, Fabiola Jiménez, Luis Chaves Barquero, Silvia Soto, Luis Romero, Macario Pino y a la coordinación de la carrera de Ingeniería Ambiental, a todos ellos gracias por sus aportes y recomendaciones. Al asistente de la Escuela de Ingeniería Ambiental, Marco Méndez por su ayuda en los análisis físico-químicos, y a la secretaria Adriana Cerdas por su apoyo.

Por su puesto, al personal de CEQIATEC por su ayuda en los análisis de laboratorio y en general a todas las personas del Instituto Tecnológico y fuera de él, que se involucraron en mi proyecto.

En la ejecución presupuestaria, aprecio el aporte económico que me brindó el Fondo Solidario de Desarrollo Estudiantil (FOSDE) a través de la VIESA, gracias por creer en mí y en toda una comunidad que igualmente les da las gracias. Al Programa de Pequeñas Donaciones (PPD en Costa Rica) extendiendo mi sincero agradecimiento por el apoyo financiero brindado.

Agradezco a la Asociación para el Desarrollo de la Agricultura Orgánica del Caribe (APOC) por su atención y administración responsable de los recursos del proyecto.

Lista de Abreviaturas

ACTo	Área de Conservación Tortuguero
APOC	Asociación de productores para el Desarrollo de la Agricultura Orgánica del Caribe
CA	Carbón activado
CEQIATEC	Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos
COBODES	Proyecto Conservación de Bosques para el Desarrollo Sostenible
CF	Coliformes fecales
CT	Coliformes totales
E Coli.	Escheriquia Coli
FLA	Filtración Lenta de arena
FOSDE	Fondo Solidario de Desarrollo Estudiantil
ITCR	Instituto Tecnológico de Costa Rica
IDA	Instituto de Desarrollo Agrario
INDER	Instituto Nacional de Desarrollo Rural
IGN	Instituto Geográfico Nacional de Costa Rica
JECFA	Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios
NMP	Número más Probable
PNUD	Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo
PNT	Parque Nacional Tortuguero
RNVSBC	Refugio Nacional de Vida Silvestre Barra del Colorado
ST	Sólidos totales
SST	Sólidos suspendidos totales
SINAC	Sistema Nacional de Áreas de Conservación
UNT	Unidades Nefelométricas de Turbiedad

INDICE GENERAL

Dedicatoria.....	iii
Agradecimientos.....	iv
Lista de abreviaturas.....	v
Indice General.....	vi
Indice de figuras.....	ix
Indice de cuadros.....	x
Resumen.....	xii
Abstract.....	xiv
1.Introducción.....	16
1.1Objetivos.....	19
1.1.1Objetivo General.....	19
1.1.2Objetivos Específicos.....	19
2.Marco Conceptual.....	20
2.1Aspectos Generales del hierro.....	20
2.2.Origen del hierro en aguas subterráneas.....	21
2.3 Bacteria de hierro y manganeso.....	22
2.4 Toxicidad del hierro y salud.....	23
2.5 Métodos para la remoción de hierro en agua para consumo humano.....	24
2.5.1 Métodos Químicos.....	26
2.5.1.1 Precipitación.....	26
2.5.1.2 Intercambio Iónico.....	28
2.5.1.3 Ablandamiento con cal.....	28
2.5.2 Métodos Físicos.....	28
2.5.2.1 Adsorción.....	28
2.5.2.2 Ultrafiltración y Microfiltración.....	29
2.5.2.3Sistemas de filtración.....	29
A.Filtro rápido de Flujo ascendente.....	30
B.Filtro lento de arena.....	32
2.5.2.4. Materiales de filtración.....	34

2.5.2.5 Aireación sin uso de químicos.....	35
2.5.3 Métodos Biológicos.....	35
2.5.3.1 Absorción Biológica.....	35
2.5.3.2 Biorremediación.....	35
3. Metodología.....	37
3.1 Descripción del área de estudio.....	37
3.2 Identificación de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua de pozo en el área de estudio.....	39
3.2.1 Diseño de cuestionario.....	40
3.2.2 Diseño del muestreo gua de abasto humano.....	40
3.2.3 Selección y recolección de muestras.....	40
3.2.4 Análisis físicos, químicos y microbiológicos del agua.....	46
3.3 Diseño del sistema de remoción de hierro.....	49
3.3.1 Estimación del consumo diario de agua de abasto humano.....	49
3.3.2 Criterios de diseño del prototipo.....	50
3.3.3 Diseño del sistema elegido.....	52
3.4 Determinación de los costos de implementación de la alternativa seleccionada.....	53
3.5 Construcción del sistema de tratamiento propuesto.....	54
3.6 Evaluación del funcionamiento del sistema en operación.....	54
3.6.1 Muestreo y Análisis de laboratorio del nuevo sistema de abasto instalado en parcela 8.....	54
3.6.2 Medición de caudales en la entrada y salida del sistema instalado.....	56
3.6.3 Monitoreo del sistema instalado.....	58
3.6.3.1 Calibración del filtro rápido y el filtro lento.....	59
3.6.3.2 Capacitación a la familia de la parcela 8 sobre mantenimiento, limpieza y aseo de los tanques y filtros.....	59
3.6.3.3 Observaciones de aspecto físico del agua en cada tanque del prototipo.....	59
3.6.3.4 Recolección y análisis de muestra bacteriológica para analizar en microscopio.....	59
4. Resultados y Discusión.....	61
4.1 Aspectos socio-económicos.....	61
4.2 Situación y acceso a los servicios de salud.....	62
4.3 Situación del abastecimiento de agua potable.....	63
4.4 Manejo de residuos sólidos.....	65

4.5 Calidad del agua subterránea de la zona.....	67
4.5.1 Parámetros físicos y químicos.....	67
4.5.2 Plaguicidas.....	75
4.5.3 Análisis Microbiológico.....	76
4.6 Método seleccionado: oxidación y filtración.....	78
4.7 Estimación del consumo de agua de abasto humano en nueve viviendas.....	78
4.8 Establecer los criterios de diseño del prototipo.....	81
4.9 Descripción del diseño del sistema de oxidación y filtración en parcela 8.....	82
4.10 Costo total del proyecto.....	92
4.11 Evaluación y monitoreo del sistema instalado.....	94
4.11.1 Análisis de calidad de agua afluente y efluente del prototipo instalado.....	94
4.11.2 Mediciones de caudales en el sistema instalado.....	97
4.11.2.1 Prueba 1.....	97
4.11.2.2 Prueba 2.....	99
4.11.3 Monitoreo del sistema instalado.....	101
5. Conclusiones.....	106
6.Recomendaciones.....	107
7.Fuentes de referencias.....	110
8.Apéndices.....	116
Apéndice 1 Herramienta para recolección de información.....	116
Apéndice 2 Diseño de muestreo.....	121
Apéndice 3 Descripción de materiales para la construcción del prototipo.....	122
Apéndice 4 Memoria de cálculo.....	126
Apéndice 5 Financiamiento distribuido por contrapartida.....	134
Apéndice 6 Otros cargos del presupuesto.....	136
9. Anexos.....	137
Anexo 1 Especificaciones técnicas de los filtros.....	137
Anexo 2 Parámetros de diseño.....	138
Anexo 3 Operación, mantenimiento y limpieza de los filtros.....	142
Anexo 4 Límites recomendados y máximos permitidos de acuerdo al Reglamento de Calidad para Agua Potable.....	144

Anexo 5 Caja Costarricense del Seguro Social Área de Salud Cariari.....	145
Anexo 6 Estado de los tanques de almacenamiento de algunas viviendas.....	148
Anexo 7 Recorrido en la comunidad durante periodo de encuesta.....	148
Anexo 8 Cotización.....	153
Anexo 9 Resultados de los análisis de dos muestras de agua recolectadas durante la evaluación del sistema.....	154

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Alternativas para la remoción de hierro y manganeso.....	25
Figura 2 Filtro lento de arena tipo casero.....	33
Figura 3.Hoja 3447 II Agua Fría del IGN.....	37
Figura 4 Diagrama descriptivo sobre las principales actividades del proyecto.....	39
Figura 5.Alícuotas para realización muestreo compuesto.....	42
Figura 6 Envases utilizados para conservar y transportar las muestras.....	42
Figura 7 Técnica para esterilizar tubo de entrada de agua.....	43
Figura 8 Rotulación de muestra para análisis microbiológico.....	43
Figura 9 Toma de dato ph y conductividad de muestra #3.....	44
Figura 10 Medida de oxígeno disuelto de la muestra 7.....	45
Figura 11 Toma de muestra microbiológica en el tanque #2.....	55
Figura 12 Medida de volumen con probeta.....	55
Figura 13 Medida de oxígeno disuelto en tanque #2 y tanque #5.....	56
Figura 14 Método volumétrico para medir caudales.....	57
Figura 15 Aforo en tanque #2.....	57
Figura 16 Aforo en tanque #5.....	58
Figura 17 Vista de la muestra de sedimento (bacterias) obtenida del tanque #1.....	59
Figura 18 Grado de estudio de la población en la comunidad de Monte Rey.....	62
Figura 19 Incidencia de enfermedades de los habitantes de Monte Rey.....	63
Figura 20 Tipos de pozos según profundidad promedio de los pozos perforados.....	64
Figura 21 Percepción de la calidad de agua que consumen los habitantes de Monte Rey.....	64
Figura 22 Vista de un antes y un después de instalar el prototipo en la parcela 8.....	83
Figura 23 Diseño del sistema de tratamiento para remover hierro a nivel domiciliar.....	84
Figura 24 Dispositivo de aire dentro del tanque #1.....	85

Figura 25 Vista superior tanque #1.....	86
Figura 26 Boya corriente en el tanque #2.....	87
Figura 27 Filtro rápido de flujo ascendente en el tanque #3.....	88
Figura 28 Tubo de pvc introducido en el tanque #3.....	89
Figura 29 Filtro lento de flujo descendente en el tanque #4.....	89
Figura 30 Filtro lento de arena con dispositivo difusor de agua.....	90
Figura 31 Drenaje de agua filtrada en el tanque #4.....	91
Figura 32 Tubería de entrada de agua filtrada al tanque #5.....	91
Figura 33 Entrada de agua filtrada en tanque #5.....	92
Figura 34 Caudal diario en el sistema para la prueba 1.....	98
Figura 35 Caudal diario en el sistema para la prueba 2.....	99
Figura 36 Tipo de sedimento color anaranjado que se forma en el tanque #2.....	102
Figura 37 Comparación agua cruda(izquierda) y agua tratada (derecha).....	102
Figura 38 Dispositivo de aireación corroído.....	103
Figura 39 Calibración del tanque #2.....	103
Figura 40 Nivel de agua normal en tanque #3.....	103
Figura 41 Sedimento formado en tanque #1.....	104
Figura 42 Día de limpieza del tanque #5.....	105

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Eficiencias típicas del tratamiento convencional con FLA.....	32
Cuadro 2 Pozos seleccionados para la toma de muestras de agua.....	41
Cuadro 3 Métodos de análisis de calidad de agua utilizados.....	46
Cuadro 4 Reportes de los análisis físico-químicos del agua de grifos residenciales.....	70
Cuadro 5 Resultados de algunos metales pesados.....	74
Cuadro 6 Análisis de hierro en muestras de agua realizado en agosto 2013.....	75
Cuadro 7 Análisis microbiológico de nueve muestras.....	76
Cuadro 8 Consumos de agua promedio para nueve actividades domésticas en nueve viviendas.....	79
Cuadro 9 Volumen diario requerido por habitante en la comunidad de Monte Rey.....	81
Cuadro 10 Parámetros de diseño del sistema de tratamiento casero.....	81

Cuadro 11 Características hidráulicas del sistema de tratamiento casero.....	82
Cuadro 12 Características de los medios filtrantes del filtro rápido de flujo ascendente.....	88
Cuadro 13 Características de los medios filtrantes del filtro lento de flujo descendente.....	90
Cuadro 14 Costos del proyecto para una familia de zona rural o urbana.....	93
Cuadro 15 Resultados de los parámetros analizados en el afluente y efluente del sistema.....	94
Cuadro 16 Resumen de caudales promedio y desviaciones estándar en la entrada y salida del sistema.....	100
Cuadro 17 Variables principales en el diseño de filtros.....	137
Cuadro 18 Principales características de filtros.....	137
Cuadro 19 Granulometría de un filtro lento de arena.....	138
Cuadro 20 Características típicas de medios para filtros.....	138
Cuadro 21 Tasa de filtración del filtro rápido y lento.....	139
Cuadro 22 Propiedades típicas de un medio filtrante usado en filtros rápidos.....	141
Cuadro 23 Lista de enfermedades de declaración obligatoria 2009-2011.....	146
Cuadro 24 Veinte principales causas de consulta durante el 2009-2010.....	146
Cuadro 25 Veinte principales causas de consulta según tipo de diagnóstico en el año 2011.....	147

RESUMEN

La Comunidad de Monte Rey está conformada por 29 parcelas, al menos la mitad presentan problemas serios con el agua potable por la presencia de hierro soluble, lo cual ha provocado el rechazo de agua para el consumo humano y el deterioro progresivo de los accesorios sanitarios y de plomería, el sabor metálico del agua, turbiedad y color amarillo. Cada familia, cuenta con un pozo perforado sin revestimiento, en general con profundidad mínima de 4 m y máxima de 15 m.

Se determinó la calidad físico-química y microbiológica del agua tomada de un grifo de la cocina por cada parcela para un total de nueve muestras, con el fin de conocer la calidad del agua que consumen los habitantes y proponer con base a ese diagnóstico una alternativa a nivel domiciliar.

De las nueve muestras, cuatro superaron los niveles máximos admisibles para el hierro, (1,39; 1,20; 1,00 y 0,80 mg/L) y una para el manganeso (0,60 mg/L), se obtuvieron ocho muestras con turbiedades por encima de 1 UNT. Según los análisis de organofosforados, organoclorados, carbamatos y paraquat, no se detectaron plaguicidas en ninguna muestra. El cloruro fue significativo para una muestra (26,30 mg/L). A nivel bacteriológico, sólo una se consideró de calidad potable.

Posterior a los análisis, se diseñó y se construyó un sistema de filtración casero para remover hierro. Finalmente, se evaluó el afluente y efluente del sistema de filtración implementado para comprobar la eficiencia del tratamiento propuesto.

El sistema de potabilización implementado consistió de dos unidades de pretratamiento: tanque 1 (aireador) y tanque 2 (sedimentador); dos unidades de tratamiento secundario: tanque 3 (filtro rápido de flujo ascendente) y tanque 4 (filtro lento de flujo descendente); y la unidad de almacenamiento.

Se realizó una evaluación al sistema implementado en diciembre 2013, la cual consistió en tomar dos muestras (entrada y salida) del prototipo, los valores reportados en la entrada del sistema fueron: hierro 1,39 mg/L, turbiedad 48 UNT y manganeso 0,17 mg/L; en la salida,

hierro 0,39 mg/L, turbiedad 16,38 UNT y manganeso 0,16 mg/L. La eficiencia de remoción de hierro fue de 71 % durante la primera semana de operación del sistema, resultado levemente superior al valor establecido por la norma vigente (0,3 mg/L).

Este trabajo esta limitado a experimentar la remoción del hierro al final del proceso y no evaluar todos los componentes del prototipo como tal. El propósito de su construcción consistió en beneficiar por primera vez a una propiedad de la zona de Cariari (Pococí, Limón). En vista de la falta de presupuesto al final del periodo en el que el proyecto se planéo, no se continuaron más pruebas en el laboratorio y tampoco evaluaciones de carácter hidráulico ni físico químicos.

Para la evaluación de la eficiencia del sistema, tanto en la remoción de hierro, como de las propiedades hidráulicas de los filtros caseros a lo largo del tiempo, es recomendable que se realice otra investigación de monitoreo de la calidad del agua después de cada componente del sistema de filtración y estudiar con más detalle el comportamiento de los procesos químicos y físicos que ocurren.

PALABRAS CLAVE: tratamiento de agua, remoción de hierro, sistema de filtración casero, filtración lenta, filtración rápida.

ABSTRACT

The Community of Monte Rey is a small settlement where there are 29 plots. At least half of the plots presented serious problems with drinking water for the presence of soluble iron, which has led to the rejection of water for human consumption and the progressive deterioration of the sanitary fittings and plumbing, the metallic taste of the water, turbidity and colour. Each plot has an excavated well without coating, generally with a minimum of 4 m and a maximum of 15 m depth

The physico-chemical and microbiological quality of the water taken from a kitchen faucet for each plot connected to each well was determined for a total of household nine samples, in order to know the original quality of the water that the inhabitants are consuming and propose an alternative to level based on that diagnostic.

The preliminary diagnostics demonstrated that four samples exceeded the maximum levels admissible for iron (1,39; 1,20; 1,00; 0,80 mg/L) and one sample for manganese (0,60 mg/L), and eight samples reached a turbidity of higher than 1 NTU. In addition, one sample had a significant measurement of chloride (26, 30 mg/L). According to the analysis of organophosphorus, carbamates, organochlorines and paraquat, pesticides were not detected in any sample. Furthermore, on a bacteriological level, one sample was considered potable.

After the analysis, it was designed and built a home filtration system to remove iron. Finally, the inflow and outflow of the implemented filtration system was evaluated to check the efficiency of the proposed treatment.

The purification system implemented was made of two pretreatment units: tank 1 (diffuser system) and tank 2 (sedimentation tank); two secondary treatment units: tank 3 (rapid filter) and tank 4 (slow sand filtration) ; and one storage unit of filtrated water.

An evaluation system implemented in December 2013, which consisted in taking two samples (input and output) of the prototype, the values reported in the input of the system were: iron 1,39 mg/L, 48 NTU turbidity and manganese 0,17 mg/L; in the output, iron 0,39 mg/L, 16,38 NTU turbidity and manganese 0,16 mg/L. The iron removal efficiency was of 71% during a week since the system operates, results slightly exceeding the value set by the

existing standard (0,3 mg/L).However further iron analysis of the water out of the filtration system is recommended to achieve values under the established norm.

Part of this study is not to evaluate the prototype as such, but it gets a benefit for its construction, which is experiencing for the first time at a property in the area of Cariari (Pococi, Limon), the decrease of iron to the output of the installed model. In view of the lack of budget at the end of the period in which the project was planing, not continued further testing in the laboratory and not hydraulic character assessments. Technical and complete filtration system evaluation can be proposed by other students who wish to know the variables and behaviour of household filters.

For the evaluation of the efficiency of the system, both in the iron removal properties hydraulic homemade filters over time, it is recommended to carry out another investigation of monitoring the quality of water after each component of the filtration system and study in more detail the behaviour of physical and chemical processes that occur.

Key words: treatment of water, slow filtration, iron removal, home filtration system, rapid filtration.

1. INTRODUCCIÓN

McFarland y Dozier (2004) señalan que el hierro y el manganeso pueden darle al agua un sabor, olor y color indeseable. El hierro causa manchas rojizos-café en la ropa, porcelana, platos, utensilios, vasos, lavaplatos, accesorios de plomería y concreto, además las bacterias de hierro o manganeso existen en aguas contaminadas con hierro y manganeso y se alimentan de estos minerales que hay en el agua. No causan problemas de salud, pero si forman una baba rojiza-café (hierro) o café-negra (manganeso) en los tanques de los inodoros y pueden tapar los sistemas de agua (L.McFarland & Dozier, 2004).

Según fuentes médicas (Cardiovascular, 2014) el hierro puede causar daños a la salud cuando se acumula en exceso. Cuando lo anterior sucede, el mineral irá invadiendo tejidos y órganos vitales, como el hígado, glándulas endocrinas y el corazón, a los que dañará mediante el desarrollo de padecimientos como cirrosis hepática, hipotiroidismo, diabetes mellitus, insuficiencia cardíaca, entre otras. Normalmente las personas que requieren constantemente de suministros sanguíneos, son más propensos a desarrollar sobrecarga de hierro.

En efecto la presencia de hierro en el agua para consumo humano tiene sus orígenes en la composición química de los primeros 16 km de la corteza terrestre, ya que se caracteriza por el predominio de Si, Al, O y Fe, los que constituyen el 87% del total (Durán, 2004) , por otro lado rocas ígneas ricas en minerales como el Fe lo añaden fácilmente por contacto con el agua. La prueba de que existe hierro en el suelo de Monte Rey, es debido al hallazgo en perfiles de suelo, un acontecimiento que sucede cada vez que los propietarios realizan una zanja y predomina sobre todo en las partes más bajas de la finca. Dicho de otra manera, las tres unidades cartográficas que se identificaron en un estudio semidetallado de suelo (Rodríguez, 2003) y sus características físico químicas tienen de óptimos a altos contenidos de hierro y prevalece en mayor medida el orden inceptisol.

Actualmente el agua que consumen los pobladores en Monte Rey genera en los tanques de almacenamiento manchas de color anaranjadas por dentro y por fuera, los pozos se secan en

verano, por consiguiente el agua la consumen más turbia y de color amarillo que en invierno ,además se presentan problemas de presión del agua por las tuberías, debido a la formación de incrustaciones a su interior que impiden el paso libre del agua por las tuberías. Se observan otros problemas en los inodoros que presentan manchas al interior de la tasa y la ropa blanca adquiere un color amarillento después de ser lavada.

Los habitantes de Monte Rey no perciben ningún cambio en salud en el tiempo que han estado consumiendo el agua de la zona, sin embargo según lo observado, las manchas blancas en la piel y algunas alergias aparecen con más frecuencia que otros padecimientos, pero no existe estudio clínico que relacione las manchas en la piel con las concentraciones de hierro en el agua potable.

Cuando el agua pasa a ser intolerante para su uso, los pobladores afectados buscan a los vecinos para solicitarles agua y en otros casos excavan más pozos para encontrar mejor calidad de agua, sin embargo esas no son soluciones a largo plazo, por eso lo correcto es recurrir a métodos de eliminación de hierro y manganeso que sean aceptados por los habitantes, los hay según naturaleza física, química o biológica. La tecnología más apropiada depende de factores tales como la concentración de hierro, la cantidad de agua a tratar y si hay bacterias presentes.

De todas las once tecnologías disponibles en este trabajo, la tecnología química es poco utilizada a pequeña escala por el alto costo de los reactivos por ejemplo el permanganato de potasio. Otras como electro-coagulación, intercambio iónico y adsorción son muy caras. De tal forma que el método más accesible a nivel domiciliario es la oxidación empleando aire en el agua para que una vez aireada, el agua penetre por un lecho de filtración utilizando medios filtrantes que retienen las partículas de hierro y manganeso oxidadas (Dvorak, Prasi, Skipton, & Woldt, 2007).

Por esta razón se decide tratar el agua potable de la parcela 8 sin uso de químicos, mediante el método oxidación y filtración, compuesto de cinco tanques: aireación, sedimentación, filtro rápido de flujo ascendente por capas, filtro lento de flujo descendente y tanque de reserva de agua filtrada. Se eligió de esta manera básicamente por la facilidad para

construir el prototipo, costo relativamente bajo, el sencillo mantenimiento y limpieza que implica un sistema de filtración casero.

Generalmente el filtro lento de arena es más eficiente en la remoción de bacterias, virus y patógenos que el filtro rápido de arena, pero no está garantizado 100% que las bacterias mueran durante el proceso completo en el sistema descrito, por eso se sugiere una desinfección adicional que este trabajo no contempla dentro de los objetivos; pero que si se realiza, se convierte en una inversión muy valiosa para la salud pública de los miembros de una familia.

No existe en el país una legislación específica para filtros a nivel domiciliario, pero si prevalecen las leyes de saneamiento básico en forma general, por ejemplo la Ley General de Salud (N° 5395 de 30 octubre 1973), Ley Orgánica del ambiente (N° 7554 del 4 octubre 1995), Ley de aguas (N° 276 del 27 agosto 1942), Reglamento para la Calidad del Agua Potable (Decreto N° 32327-S).

Los resultados de este proyecto, se pretenden compartir, a través de un nuevo tema de educación no formal dentro de Aula Verde, con la novedad de incluir dentro del programa actual el tema educativo de manejo y tratamiento de aguas subterráneas de las características citadas para ser utilizadas como abasto para pequeñas comunidades de zonas rurales.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo General

Evaluar la factibilidad de remover el hierro del agua para uso y consumo humano en la Comunidad de Monte Rey ubicada en Cariari de Pococí.

1.1.2 Objetivos Específicos

1. Identificar las características físicas, químicas y microbiológicas del agua de pozo
2. Establecer una alternativa para la remoción de hierro en el agua para consumo humano basado en aspectos técnicos y socioeconómicos de la zona.
3. Definir los costos de implementación de la alternativa seleccionada
4. Construir el sistema de tratamiento propuesto

2. MARCO CONCEPTUAL

2.1 Aspectos generales del hierro

El hierro es uno de los metales más abundantes de la corteza terrestre, está presente en aguas dulces naturales en concentraciones de 0,5 a 50 mg/L. En 1899 Harry Clark reportó por primera vez la presencia de hierro y manganeso en aguas subterráneas como resultado de la percolación de aguas saturadas con oxígeno disuelto que estaban en contacto con materia orgánica y solo hasta 1960, Griffin afirma que la presencia de manganeso está asociada a la actividad bacteriana (Burbano y Sánchez, 2004). Las aguas de pozo contienen mayores concentraciones de hierro y manganeso que las aguas superficiales, debido al bajo pH, a la alta concentración de CO₂ y al escaso contenido de oxígeno disuelto (Avendaño, 2002).

Las *Normas internacionales para el agua potable* de la OMS de 1958 sugirieron que concentraciones de hierro superiores a 1 mg/L afectarían notablemente la potabilidad del agua. Las Normas internacionales de 1963 y 1971 conservaron este valor como concentración máxima admisible o permisible. En la primera edición de las *Guías para la calidad del agua potable*, publicada en 1984, se estableció un valor de referencia de 0,3 mg/L para el hierro como valor de compromiso entre su utilización para el tratamiento del agua y consideraciones relativas a las características organolépticas (OMS, 2006).

En el abastecimiento de agua potable, las sales de Fe (II) son inestables y son precipitadas como hidróxido de Fe (III) insoluble. La tinción de la ropa y de plomería puede ocurrir en concentraciones superiores a 0,3 mg/L (WHO, 2003).

Odell (2010) afirma que la presencia de hierro en aguas potables ocasiona tanto problemas estéticos como operacionales, los problemas estéticos comúnmente más reportados de hierro son aguas color rojo, manchas rojizo-café sobre accesorios de plomería; problemas operacionales como la obstrucción de válvulas si existen bacterias del hierro en los materiales.

En las siguientes secciones se describen los posibles escenarios donde se puede encontrar hierro soluble en el medio ambiente, y si lo hay, se explica la importancia de bacterias oxidantes de hierro y la interacción microorganismo-metal para almacenarlo y utilizarlo como fuente de energía para su funcionamiento metabólico.

2.2 Origen del hierro en aguas subterráneas

Según Appelo y Postma (2010) el hierro ferroso es un constituyente común de aguas subterráneas anóxicas. Su origen podría ser por la oxidación parcial de la pirita, la disolución de Fe (II) conteniendo minerales, o disoluciones reductivas de óxidos de hierro. Los diagramas Redox sugieren que Fe^{2+} sea la forma dominante de hierro ferroso en los rangos de pH de la mayoría de aguas subterráneas (5-8), desde que bajo esas condiciones el Fe^{3+} es insoluble. También puede haber hierro en el agua de consumo debido a la utilización de coagulantes de hierro o a la corrosión de tuberías de acero o hierro colado durante la distribución del agua (OMS, 2006).

Bajo condiciones anóxicas, la disolución de rodamientos de silicatos de Fe (II), incluyendo anfíboles, pyroxenos y magnetita podría liberar Fe^{2+} al agua subterránea. Porque los rangos de disolución de esos minerales por lo general son muy bajos, los resultados de concentración de Fe^{2+} también serán bajos. Bajo condiciones óxicas el Fe^{2+} libera durante disolución precipitada como un recubrimiento de oxihidróxidos de hierro que inhibe disoluciones futuras (Schott and Berner, 1983; Ryan and Gschwend, 1992; White, 1990). Óxidos de hierro común y oxihidróxidos encontrados en sedimentos son ferrihidrita, goethita, lepidocrocita y hematitas. En áreas de descarga de aguas subterráneas, el ión Fe^{2+} entra en contacto con el oxígeno de la atmósfera y se da la precipitación de depósitos de formas de oxihidróxidos de hierro y grandes minerales de hierro (Postma & Appelo, 2010).

Aguas subterráneas ricas en hierro ferroso son frecuentemente supersaturadas de siderita indicando cinética de lenta precipitación. Siderita es un constituyente común de rocas sedimentarias también en finas formas o como concreciones. Además siderita puede formar soluciones sólidas con calcita y dolomita (Postma & Appelo, 2010)

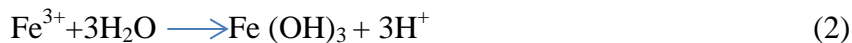
La oxidación de la pirita por oxígeno tiene un gran impacto ambiental y juega un rol en el drenaje ácido de minas y en la formación de suelos de sulfato ácido resultante del drenaje de tierras bajas. Esto actúa como una fuente de sulfatos e hierro en aguas subterráneas.

El proceso global es descrito por la reacción (Postma & Appelo, 2010):



Esto ilustra la alta generación de ácido por la oxidación de pirita. El proceso de oxidación completo involucra ambas, la oxidación de disulfuro S_2^{2-} y del Fe^{2+} .

A menos de que el pH sea extremadamente bajo, Fe^{3+} precipitará de acuerdo con:



La reacción entre la pirita y Fe^{3+} es rápida y se obtiene un pH muy bajo. El producto Fe^{2+} puede llegar a ser oxidado por O_2 a Fe^{3+} . La cinética de oxidación de Fe^{2+} es muy lenta a bajos pH e incrementa abruptamente con incrementos en pH. Solamente a bajos pH, Fe^{3+} permanece en solución desde que de alguna manera precipita como $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (Postma & Appelo, 2010).

Microorganismos como las ferrobacterias obtienen la energía de la oxidación del hierro ferroso. En ambientes aerobios la oxidación microbiana del hierro predomina en terrenos ácidos, en los medios anaerobios esta dominado por la reducción del hierro y la precipitación de sulfuros de hierro (Palomares & Baeza, 2006). A continuación una breve explicación de la relación de bacterias con la disponibilidad de hierro en el agua de consumo.

2.3. Bacterias de hierro y manganeso

Bitton (2005) considera que la proliferación de bacterias de hierro y manganeso que crecen en la superficie de las tuberías, causan el deterioro de la calidad de agua (problemas de color y obstrucción de tuberías).

Las bacterias de hierro más características son las bacterias filamentosas con vaina del grupo *Sphaerotilus*, crecen como quimioheterótrofos, por lo que pueden aislarse en cultivos puros (Stainer, Ingraham, & Wheelis, 1992). Todos los tipos aislados del grupo *Sphaerotilus-Leptohrix* son bacterias aeróbicas heterótrofas. El grupo de bacteria *Sphaerotilus-Leptohrix* se caracteriza por la formación de una vaina a menudo rodeada por

una capa de limo la cual está conectada cercamente con las capacidades oxidativas de manganeso y acumulación de hierro. Estas propiedades le permiten la formación y acumulación de grandes cantidades de oxidos férricos y de manganeso, lo que es característico de la mayoría de especies *Leptothrix*, tambien crecen a bajos valores de oxígeno. El crecimiento de la bacteria se ha reportado que ocurre a temperaturas entre 15°C y 40°C, con un óptimo de 30 °C, con excepciones (Veen & H.Deinema, 1978).

El pH de este grupo de bacterias se encuentra entre 6 y 8. En el caso de *T.ferrooxidans* no hay dificultades para demostrar el crecimiento autotrófico, desde que estos organismos prosperan en sales ferrosas contenidas en medios bajos de pH 3, donde no ocurren oxidaciones espontáneas de iones ferrosos (Veen & H.Deinema, 1978).

Al respecto los autores concluyen que el grupo de bacteria muy probablemente no son capaces de derivar la energía de la oxidación de iones ferrosos, aún es incierto si pueden catalizar esta oxidación, lo que si es un hecho es que estos organismos tienen la tendencia a depositar grandes cantidades de ion férrico en sus vainas (Veen & H.Deinema, 1978).

Entre los problemas operacionales del crecimiento de la bacteria de hierro incluyen reducción significativa en la capacidad de las tuberías, obstrucción de válvulas, mal gusto, e incremento de la demanda de cloro. Las bacterias de hierro se controlan mediante el lavado, incrementando el cloro residual, y removiendo hierro y manganeso de la fuente. La inactivación completa del crecimiento de las bacterias del hierro se alcanza con residuos de cloro por encima de 50 mg/L por varias horas (Odell, 2010).

2.4 Toxicidad del hierro y salud

Las estimaciones del requisito mínimo diario de hierro dependen de la edad, sexo, estado fisiológico, y la biodisponibilidad de hierro y el rango de aproximadamente 10 a 50 mg / día. La dosis letal media del hierro es 200-250 mg / kg de peso corporal, pero la muerte se ha producido después de la ingestión de dosis tan bajas como 40 mg / kg de peso corporal (WHO, 2003).

Las autopsias han demostrado la necrosis hemorrágica y desprendimiento de las zonas de la mucosa en el estómago con extensión a la submucosa. Una sobrecarga crónica de hierro

principalmente resulta de un trastorno genético (hemocromatosis) caracterizado por el aumento de la absorción de hierro y de las enfermedades que requieren transfusiones frecuentes (WHO, 2003).

De acuerdo con un estudio de la Universidad de Maryland (Smith, Zhu, Tabaton, & Liu, 2010), la acumulación excesiva de hierro ocurre en muchas enfermedades neurodegenerativas incluyendo la enfermedad de Alzheimer, la enfermedad de Parkinson, y la enfermedad de Creutzfeldt Jacob, incrementando la posibilidad de que el estrés oxidativo sea participativo en el proceso de neurodegeneración.

En resumen, la EPA considera que la ingestión de un exceso de hierro a través del agua potable no se asocia con efectos adversos para la salud, sin embargo los sedimentos de hierro pueden albergar bacterias e impurezas que pueden ser perjudiciales (EPA, 2013).

2.5 Métodos para la remoción de hierro en agua para consumo humano

En esta sección se presentan algunas opciones tecnológicas para remover hierro de agua para consumo humano por su naturaleza biológica, física o química, también sus ventajas y desventajas. Al final, se espera que esta información proporcione un análisis crítico para seleccionar una de las alternativas investigadas.

En la figura 1 se muestran las principales tecnologías de tratamiento utilizadas para remover hierro y manganeso especialmente en aguas subterráneas y con ciertas limitaciones en fuentes superficiales.



Figura 1. Alternativas para la remoción de hierro y manganeso.

Fuente: Sommerfeld, 2000

El primer paso es oxidar el hierro por medio de un tratamiento con químicos o sin uso de químicos, una vez que el hierro ha sido oxidado pasa a formar hidróxido de hierro que es fácilmente precipitado si se aplica una filtración, la cual hay de diferentes tipos: prefiltración o filtración rápida, filtración directa y filtración en medios acondicionados. La filtración directa se caracteriza por no incluir dentro de sus componentes la etapa de sedimentación a diferencia del ciclo completo (Echeverría & Marín, 2001). En la filtración directa es frecuente el uso de lechos de arena o antracita más profundos y más gruesos que los convencionales para conseguir carreras más largas e incrementar la productividad. La filtración en medios acondicionados (arena verde, birm, antracita y pirolusita), 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 $MnO_2(s)$ en su superficie. Normalmente se utiliza permanganato de potasio ($KMnO_4$) como agente oxidante, siendo éste de costo elevado y requiere de un estricto control en su aplicación debido a su toxicidad (Sommerfeld, 1999) .

La técnica más común para remover hierro y manganeso es la aireación, aunque también elimina anhídrido carbónico, ácido sulfhídrico y sustancias volátiles, es útil para controlar la corrosión y olores, puede complementarse con el intercambio iónico el cual es un proceso que emplea resinas, realiza un intercambio de iones de calcio y magnesio por iones de sodio, al pasar el agua a través de un medio poroso constituido por zeolitas de sodio, sin embargo este proceso por lo general se aplica en la eliminación de la dureza del agua (Manejo Integrado del Agua).

Para abarcar con mayor claridad las diferentes opciones para eliminar hierro del agua para consumo humano, se han distribuido según su mecanismo físico, químico o biológico.

2.5.1 Métodos Químicos

2.5.1.1 Precipitación

Por precipitación química se entiende la formación, por acción de los reactivos apropiados, de compuestos insolubles de aquellos elementos contaminantes que, interviniendo en la composición de un flujo residual líquido, se pretenda eliminar del mismo (Manahan, 2007).

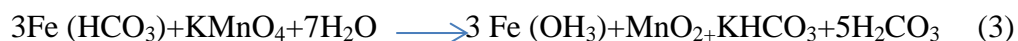
Sin el empleo de agentes precipitantes u oxidantes no puede ocurrir la precipitación, es importante considerar la cantidad necesaria por cada oxidante, el tiempo de reacción y las interferencias con la oxidación. Varios compuestos pueden interferir con la oxidación incluyendo sulfuro de hidrógeno, compuestos orgánicos y amoníaco. El amoníaco requiere 10:1 demanda de cloro y los compuestos orgánicos pueden afectar, ambos la cantidad de demanda de químico y el tiempo de reacción (Odell, 2010).

La tasa de oxidación de hierro con aireación es lenta cuando el pH está por debajo de 7. A pH 6,9 aproximadamente 40 min se necesitan para oxidar 50% de hierro en solución. A pH 6,6 menos del 10% de hierro es oxidado después de 50 minutos. Por arriba de pH 7,5 la tasa de reacción para el hierro es generalmente menos que 15 min para la oxidación completa.

Los oxidantes más comunes para que ocurra la precipitación son los siguientes:

Permanganato de potasio

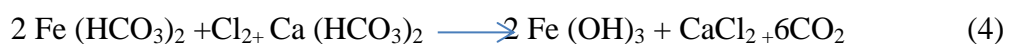
La reacción oxidación con permanganato ocurre rápidamente de 5 a 30 min sobre un amplio rango de pH (Odell, 2010). La oxidación de hierro ocurre como sigue:



Con permanganato de potasio, 1 mg/L oxidará 1,06 mg/L de hierro y 0,52 mg/L de manganeso.

Cloro como oxidante en combinación con filtración gruesa ascendente

El hierro es oxidado por el cloro como sigue: (Odell, 2010)

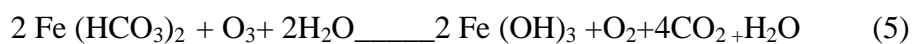


Un miligramo de cloro por litro se necesita para oxidar 1,61 mg/L de hierro y 1 mg/L de cloro oxidará 1,28 mg/L de manganeso (Odell, 2010).

Una simple sedimentación no puede remover los flocs de hierro y manganeso, por no ser lo suficientemente pesados, por ello se usan los filtros gruesos ascendentes en capas, que de acuerdo con Galvis et al (1999) remueven el 50% de hierro y manganeso precipitado. Se compone de un sistema de dosificación de productos químicos y filtros. Este proceso opera a pH mayor o igual a 8,4; pero existen deficiencias en el proceso de filtración por la formación de precipitados coloidales que pasan a través del filtro. Como agentes oxidantes suelen usarse: cloro, dióxido de cloro y ozono (OPS, 2005).

Ozono

La reacción generalmente se completa en 5 min entre pH de 6 a 9. El ozono reacciona con el hierro en la siguiente manera:



Una concentración de 1 mg/L de ozono oxidará 2,3 mg/L de hierro y 1,5 mg/L de manganeso (Odell, 2010).

2.5.1.2 Intercambio iónico

El mecanismo de remoción para hierro y manganeso es el intercambio catiónico, que se lleva a cabo mediante el intercambio de las formas reducidas de hierro y manganeso con sodio sobre una resina de intercambio catiónico.

La resina debe ser cargada periódicamente, esto normalmente se hace usando una solución salmuera. El intercambio iónico no funciona bien si los oxidantes son introducidos antes de la resina de intercambio iónico, lo que podría causar incrustaciones de resina. Algunos fabricantes recomiendan que las concentraciones de hierro sean menos de un décimo de la dureza total, otros recomiendan que el hierro total más el manganeso sean menos de 0,5 mg/L (Odell, 2010)

2.5.1.3 Ablandamiento con cal : El proceso de tratamiento consiste en hacer pasar el agua a través de una resina de intercambio iónico. Los iones de Fe/Mn y también iones de calcio y magnesio en el agua son intercambiados por iones de sodio (Na⁺) los cuales han sido temporalmente almacenados en el material de resina. Este tratamiento es efectivo para aguas que contienen menos de 25 mg/L de Fe/Mn. El Intercambio iónico no trabajará del todo donde el Fe/Mn se ha tornado color oxidado (Chaturvedi, 2012).

2.5.2 Métodos Físicos

2.5.2.1 Adsorción

El método más común para remover hierro de agua subterránea comprende tres procesos básicos: oxidación de hierro ferroso por aireación, sedimentación de los flóculos de hidróxido férrico y la filtración de flóculos por filtración de arena rápida. En la oxidación-adsorción, el sistema es operado bajo condiciones anóxicas y el hierro es removido por filtración adsorción (George & M.Chaudhuri, 1977). Estos autores también observaron que el carbón bituminoso fue más efectivo que la arena en la remoción de hierro por filtración adsorción de agua subterránea.

En una publicación reciente (Chaudhari et al, 2012) estudiaron la efectividad del carbón bituminoso y roca sedimentaria carbonosa (carbonaceous shale) obtenida de un depósito natural en Batu Gajah, Perak (Malasia) como medios de filtración en remoción de hierro en

aguas subterráneas por filtración directa. El carbón y roca sedimentaria carbonosa se trituraron y tamizaron en un tamaño geométrico promedio de 0,5 mm. El resultado indicó que el carbón removió o adsorbió 83,8% ó 91,7% de ión ferroso de agua subterránea (ión ferroso 2,35 mg/l y hierro total 2,66 mg/l). Los investigadores pudieron demostrar que la roca sedimentaria carbonosa tiene una más alta capacidad adsorvativa de remoción de hierro ferroso que el carbón bituminoso. La filtración directa mediante el uso de “carbonaceous shale” aparentemente es el medio más efectivo.

2.5.2.2 Ultrafiltración y microfiltración

Recientemente las tecnologías de microfiltración han llegado a ser populares en cuanto pueden controlar microorganismos patógenos como virus. La ultrafiltración es una variedad de filtración por membrana, en la cual la presión hidrostática fuerza un líquido contra una membrana permeable, sólidos suspendidos y solutos de alto peso molecular son retenidos mientras que el agua y solutos de bajo peso molecular pasan a través de la membrana. La membrana ultrafiltración asistida de un proceso de oxidación para remover hierro de agua subterránea la hace más segura para propósitos de consumo. La ultrafiltración permite separar los coloides de hierro pero no los complejos de hierro con diámetros más pequeños que el poro de la membrana (Chaturvedi, 2012).

2.5.2.3 Sistemas de filtración

La filtración se relaciona con la remoción de hierro en el agua en cuanto a la facilidad de retener los precipitados producto de la reacción del hierro con aire u otros oxidantes, los cuales se mantienen adheridos a los medios granulares que actúan como barrera y después de un lavado o retrolavado son expulsados del sistema de filtración.

El Centro de Tecnologías Accesibles de Agua y Saneamiento (CAWST por sus siglas en inglés) es una organización humanitaria canadiense que brinda servicios profesionales y consultorías técnicas, y han promocionado el uso de tecnologías caseras a nivel domiciliario como el filtro bioarena, un método de tratamiento desarrollado por el Dr. David Manz de la Universidad de Calgary (Canadá) a inicios de los años 90. El filtro bioarena tiene seis

regiones distintas: 1) reservorio de entrada, 2) agua sobrenadante, 3) biocapa, 4) zona biológica, 5) zona de arena y 6) zona de grava. Precisamente en la zona biológica, la arena absorbe patógenos, hierro y otras partículas pequeñas (Manual del filtro bioarena, 2008).

Estudios han demostrado que el filtro bioarena elimina (Manual del filtro bioarena, 2008):

- > 97% de la bacteria *E. coli* - un indicador de contaminación fecal (Duke, 2006; Stauber, 2006)
- > 99% de protozoarios y helmintos (Palmateer, 1999)
- 80-90% de virus (Stauber, 2005)
- 50-90% de productos tóxicos orgánicos e inorgánicos (Palmateer, 1999)
- 90-95% de hierro (Ngai, 2007)
- La mayoría de sedimentos suspendidos

En la actualidad, la viabilidad técnica para instalar un sistema de filtración en una vivienda es un elemento importante a considerar, por lo anterior y la facilidad para conseguir los materiales, se describen dos tipos de filtros con una alta capacidad de remover hierro en el agua.

a) Filtro rápido de flujo ascendente

Varios autores entre ellos, (G.Miller, 2002) han calificado este sistema como una opción con alta capacidad para retener sólidos suspendidos, los cuales serían las partículas de hidróxido de hierro (III) formadas. La ventaja de su uso es que trabaja en el sentido del flujo, es decir el tratamiento permite una remoción de partículas de lo más grueso a lo más fino.

El colado de impurezas en un filtro rápido no es importante debido a los poros relativamente grandes en el lecho del filtro. La sedimentación no será muy efectiva debido a las altas tasas de filtración usadas. Así se retendrá mucho menos impurezas mediante el colado y la sedimentación que en el filtro lento de arena. Especialmente las capas superiores del lecho del filtro serán mucho menos efectivas y habrá una profunda penetración de impurezas en todo el lecho del filtro rápido (OPS & OMS, 2005).

En este tipo de filtros hay muy poco tiempo y oportunidad de que se desarrolle cualquier biodegradación de materia orgánica y que se produzca la muerte de bacterias y virus, sin embargo esto no imposibilita el funcionamiento del filtro, ya que los atoros acumulados serán lavados del filtro durante el contralavado del mismo por corriente de agua limpia. Por lo general la pobre actividad bacteriológica y bioquímica de un filtro rápido será insuficiente para producir agua bacteriológicamente segura, de aquí que será necesario un nuevo tratamiento, ya sea filtración lenta o desinfección para producir agua apta para beber y con propósitos domésticos. Entonces, por sí solo una unidad de filtración rápida no es conveniente para tratar agua cruda contaminada con coliformes fecales y E. Coli (OPS & OMS, 2005).

Según Visscher (1992) la filtración gruesa contribuye principalmente a la separación de sólidos finos no retenidos durante la sedimentación, pero también puede mejorar la calidad microbiológica del agua, el color se remueve con una eficiencia máxima cercana al 50%, lo mismo el hierro y manganeso.

Reynolds y Richards (1996) señalan que los principales problemas de operación encontrados en los filtros rápidos de arena son la acumulación de lodo, la colmatación del lecho y el aire vinculante. La formación de pelotas de lodo es una condición la cual ocurre cuando la alimentación del filtro contiene un floculo lodoso y el filtro no es adecuadamente lavado. El floculo de lodo se acumulará en la superficie del lecho de arena formando una manta lodosa que penetrará alguna grieta en la parte superior de la arena.

Se puede producir la colmatación del lecho si los granos de arena se llegan a cubrir con una capa viscosa suave. Esto causa que el lecho del filtro compacte a medida que avanza la carrera del filtro. Y esto resulta en grietas en la capa filtrante y a la larga en las paredes laterales de los filtros. Estas grietas son un problema porque podrían permitir la filtración inadecuada de agua que pasa a través del lecho y flóculos de lodos muy finos se pueden acumular en esas grietas para iniciar una formación de pelotas de lodo (Reynolds & A.Richards, 1996).

El aire vinculante es causado por la liberación de gases de aire disueltos en el agua, como nitrógeno y oxígeno, estos forman burbujas de aire en el lecho de arena. Este aire puede

interferir con la tasa de filtración. También al inicio del retrolavado, la agitación violenta hecha por las burbujas de aire elevándose podría causar una pérdida de arena. (Reynolds & A.Richards, 1996).

b) Filtro lento de arena

Consiste en un tanque con un lecho de arena fina, colocado sobre una capa de grava que constituye el soporte de la arena la cual, a su vez, se encuentra sobre un sistema de tuberías perforadas que recolectan el agua filtrada. El flujo es descendente, con una velocidad de filtración muy baja que puede ser controlada preferiblemente al ingreso del tanque (OPS & CEPIS, 2005). El FLA permite la producción de agua de buena calidad y las ventajas asociadas a esta tecnología son múltiples, el cuadro 1 resume algunas de éstas.

Cuadro 1. Eficiencias típicas del tratamiento convencional con FLA

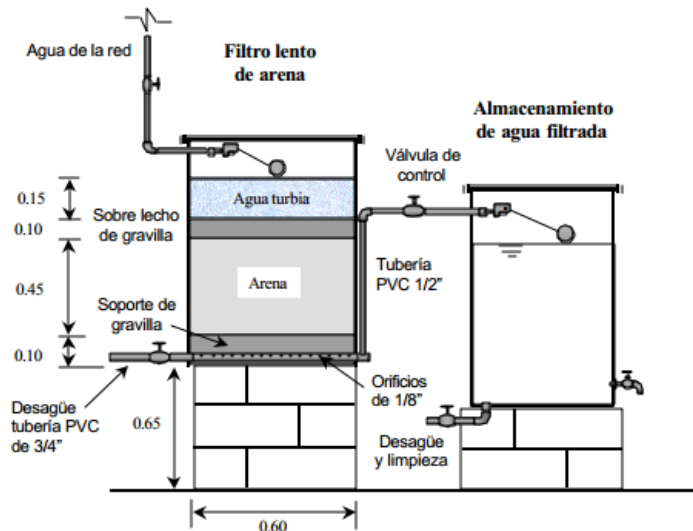
Parámetro de Calidad	Efluente o reducción típica	Comentarios
<i>Turbiedad</i>	<1 UNT	Nivel de turbiedad, naturaleza y distribución de tamaño de partículas afectan capacidad de tratamiento.
<i>Entero bacterias</i>	9 a 99%	Afectada por temperatura, velocidad de filtración, tamaño, uniformidad y altura de la arena, limpieza de lechos.
<i>Entero virus y guistes de Giardia</i>	100%	Remociones altas, inclusive después de la limpieza de los lechos(Remoción de biomembrana)
<i>Color real</i>	25 a 30%	Color asociado con materia orgánica natural, sustancias húmicas.
<i>COT</i>	<15-25%	COT, carbono orgánico total
<i>COA</i>	<50%	COA, carbono orgánico asimible o biodegradable.
<i>Precursores THM</i>	<25%	Precursores de trihalometanos
<i>Hierro, Manganeso</i>	30 a 90%	Valores mayores a 1 mg/l de Fe reducen carreras de filtración.

Fuente: (Galvis, 2004)

La biocapa del lecho de arena necesita agua y alimento continuo y la arena debe de mantenerse húmeda, por lo tanto el filtro debe funcionar sin interrupción. La prefiltración gruesa previene que el filtro lento se obstruya en corto tiempo, ayudando a mejorar la calidad de agua filtrada (González et al, 2003)

Los filtros lentos de arena caseros (figura 2) pueden proporcionar de 2,5 a 25 litros por hora de agua filtrada. Si el filtro trabaja las 24 horas del día, la producción sería tal que a cada

miembro de una familia de 5 personas le corresponderían hasta 120 litros diarios de agua de buena calidad para todo uso (González et al, 2003)



IMTA, 1999

Figura 2. Filtro lento de arena tipo casero

Fuente: González et al (1999) Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

La filtración lenta de arena reduce drásticamente el número de virus y bacterias (99%), protozoarios o huevos de nemátodos hasta un 99,9%. El hierro se puede reducir del 30 al 90 %, pero los filtros se colmatan rápido si el contenido de hierro es mayor a 1 mg/L (Visscher, 1992).

Las especificaciones técnicas de cada tipo de filtración y los parámetros de diseño se encuentran en el anexo 1 y anexo 2 respectivamente.

Todo sistema de tratamiento de agua potable tiene que ser atendido periódicamente y vigilar su correcto funcionamiento, por eso el mantenimiento debe ser constante para asegurar la operación óptima de las unidades. En el anexo 3 se describen las recomendaciones para limpiar y mantener apropiadamente los filtros.

2.5.2.4 Materiales de Filtración

El carbón activado es particularmente un medio adsorbente muy bueno por su alta área superficial permitiendo la acumulación de una variedad de moléculas contaminantes. La capacidad específica de un carbón activado granular para adsorber compuestos orgánicos está en relación a la atracción de la superficie molecular, el área total de superficie disponible por unidad de peso de carbón, y la concentración de contaminantes en las corrientes de agua residuales.

El proceso de adsorción depende de los siguientes factores: a) propiedades físicas del CA como la distribución del tamaño de poro y el área de superficie, b) la naturaleza química de la fuente de carbón o el porcentaje de oxígeno e hidrógeno asociado con éste, c) la composición química y concentración del contaminante, d) la temperatura y el pH del agua y, e) la tasa de flujo ó tiempo de exposición del agua al carbón activado (Chaturvedi, 2012).

El medio filtrante con antracita tiene varias ventajas: alto contenido de carbón, baja gravedad específica lo cual reduce el consumo de energía, su densidad única le permite a la antracita combinarse con otros medios de filtración en filtros multi-media. Cuando se compara con filtros de arena, esto significa carreras largas de filtración y menos pérdida de carga (Chaturvedi, 2012).

Arena verde de manganeso se formula a partir de una arena verde glauconítica que es capaz de reducir el hierro, el manganeso y el sulfuro de hidrógeno del agua a través de la oxidación y filtración. El sulfuro de hidrógeno se reduce por la oxidación de un precipitado de azufre insoluble, estos precipitados se filtran y se eliminan por lavado a contracorriente. Cuando la capacidad oxidante de la cama de arena verde de manganeso se ha agotado, la cama tiene que ser regenerado con permanganato de potasio (KMnO_4), restaurando así la capacidad oxidante (Chaturvedi, 2012).

2.5.2.5 Aireación sin uso de químicos

La aireación es un proceso de transferencia de gas que ha jugado un rol importante en tratamientos de agua por muchos años, incluyendo la transferencia de oxígeno para la oxidación de algunos constituyentes como hierro y manganeso, remoción de olores y sabores, para eliminar gases disueltos en el agua como sulfuro de hidrógeno y dióxido de carbono o para convertir sustancias no deseables a sustancias de más fácil manejo mediante la oxidación (Gómez, 2000).

Existen muchas formas de proveer la aireación, los métodos más simples son: gotas o contactores de película delgada, aireadores de burbuja, aireadores de tipo aspirador, aireadores mecánicos, las cascadas, los sistemas de fuente, los conos aireadores y las bandejas de aireación (Petrusveski, 2003).

La OPS dispone una guía para el mejoramiento de la calidad de agua a nivel casero y recomienda esta técnica para agua con alta concentración de hierro (mayor de 5 mg/L) con el fin de disminuir los costos en reactivos. El equipo usado incluye un aireador, un tanque de retención y filtros. Las principales desventajas del proceso de aireación-filtración son el costo inicial alto, y el requerimiento de un tiempo de retención y tratamiento químico adicionales si la concentración de Mn soluble del agua a tratar es mayor a 1 mg/L (OPS, 2005).

2.5.3 Métodos Biológicos

2.5.3.1 Absorción biológica

Se requiere oxígeno para permitir el crecimiento de la bacteria de hierro y manganeso para que alcancen los niveles en que puedan absorber esos compuestos. Ambos hierro y manganeso requieren un periodo de activación antes de que la población bacteriana alcance una densidad que permita una remoción efectiva (Odell, 2010).

2.5.3.2 Biorremediación

Algunos ejemplos de tecnologías de biorremediación son fitorremediación, biolixiviación, bioestimulación, etc. La biorremediación puede ocurrir espontáneamente (atenuación natural o biorremediación intrínseca) o puede ser impulsado a través de la adición de

fertilizantes para aumentar la biodisponibilidad en el medio (bioestimulación). Avances recientes también han demostrado su eficacia a través de la adición de cepas de microbios encontrados en el medio para mejorar la capacidad de la población de microbios residentes para descomponer contaminantes. Microorganismos utilizados para llevar a cabo la función de la biorremediación son conocidos como bioremediadores (Chaturvedi, 2012).

3. METODOLOGÍA

3.1 Descripción del área de estudio

El asentamiento Monte Rey se localiza en la provincia de Limón, cantón II Pococí, distrito V Cariari, entre los poblados Cuatro Esquinas y Palacios.

Cartográficamente se encuentra ubicada en las cuadrículas de Proyección Lambert 272-273, 573-574 del Mapa Básico 1:50000 de la hoja 3447 II Agua Fría, del Instituto Geográfico Nacional del año 1984, tal como lo muestra la figura 3. La extensión total es de 117 ha,81 m². La elevación promedio en que se ubica el asentamiento es de 30 msnm (Cubero, 2003).

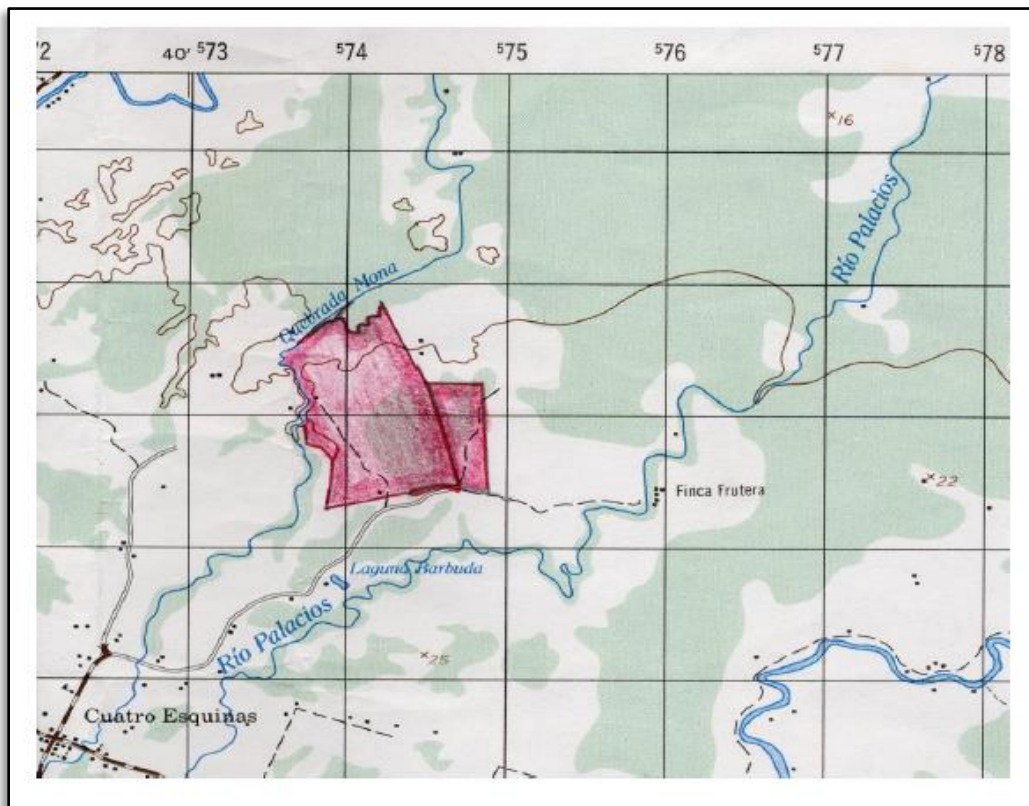


Figura 3. Hoja 3447 II Agua Fría del IGN

Fuente: Rodríguez, 2003

La infraestructura comunal consta de un corral de madera, una plaza de futbol, una pequeña escuela, una iglesia católica y una parada de buses. Los servicios más cercanos se tienen en Cuatro Esquinas (comercio, teléfono público, centro de salud, centro policial), el colegio más cercano se ubica en Palmitas (7-8 km), servicio eléctrico se localiza frente calle lindero y no se cuenta con agua potable (Cubero, 2003).

Según Madrigal (1980), citado por Rodríguez (2003), la zona en estudio se encuentra fisiográficamente en la Llanura aluvial de San Carlos y el Atlántico y representa parte de la llanura aluvial cerca de la costa que puede tener influencia marina en la formación de sus suelos. Puede decirse que esta región se encuentra en la llanura aluvial de los ríos Desenredo y Tortuguero, además cursos menores como el río Palacios que discurre cerca y la Quebrada Mona que sirve de lindero oeste y nor-noroeste de la comunidad.

En general los suelos se localizan en relieve plano a ligeramente ondulado, con pendientes que varía entre 1 a 8%. El drenaje natural tanto interno como externo se considera en mayor parte de la propiedad, con un nivel freático por debajo de 60 cm; en áreas planas predomina nivel freático superficial o cerca de ésta, en las pequeñas colinas, el drenaje natural es bueno a ligeramente excesivo.

Un estudio de suelos elaborado por el INDER en el año 2003 menciona que el material parental de los suelos del área plana ha sido denominado por él como aluviones recientes de tipo andesítico, que han sido arrastrados por los principales ríos de la región, siendo la mayor parte de ellos arenáceos de muy variados grados (Rodríguez, 2003).

El asentamiento posee un 89,8% (105,8 Ha) de suelos clasificados con moderada aptitud agrícola a escasa capacidad, permitiendo el establecimiento de cultivos de ciclo anual y permanente, entre los que se pueden citar: granos básicos, raíces y tubérculos, piña, palmito y frutales. Estos suelos requieren trabajos intensivos en drenajes y fertilización.

Se posee un área con limitaciones más severas correspondientes a un 12% (10,2 Ha), es un área marginal para protección de flora y fauna (Cubero, 2003).

3.2 Identificación de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua de pozo en el área de estudio

Durante siete meses desarrollando el proyecto, se realizaron un conjunto de actividades por objetivo específico. En la figura 4 se aprecian las actividades desarrolladas para alcanzar el objetivo general del presente trabajo.

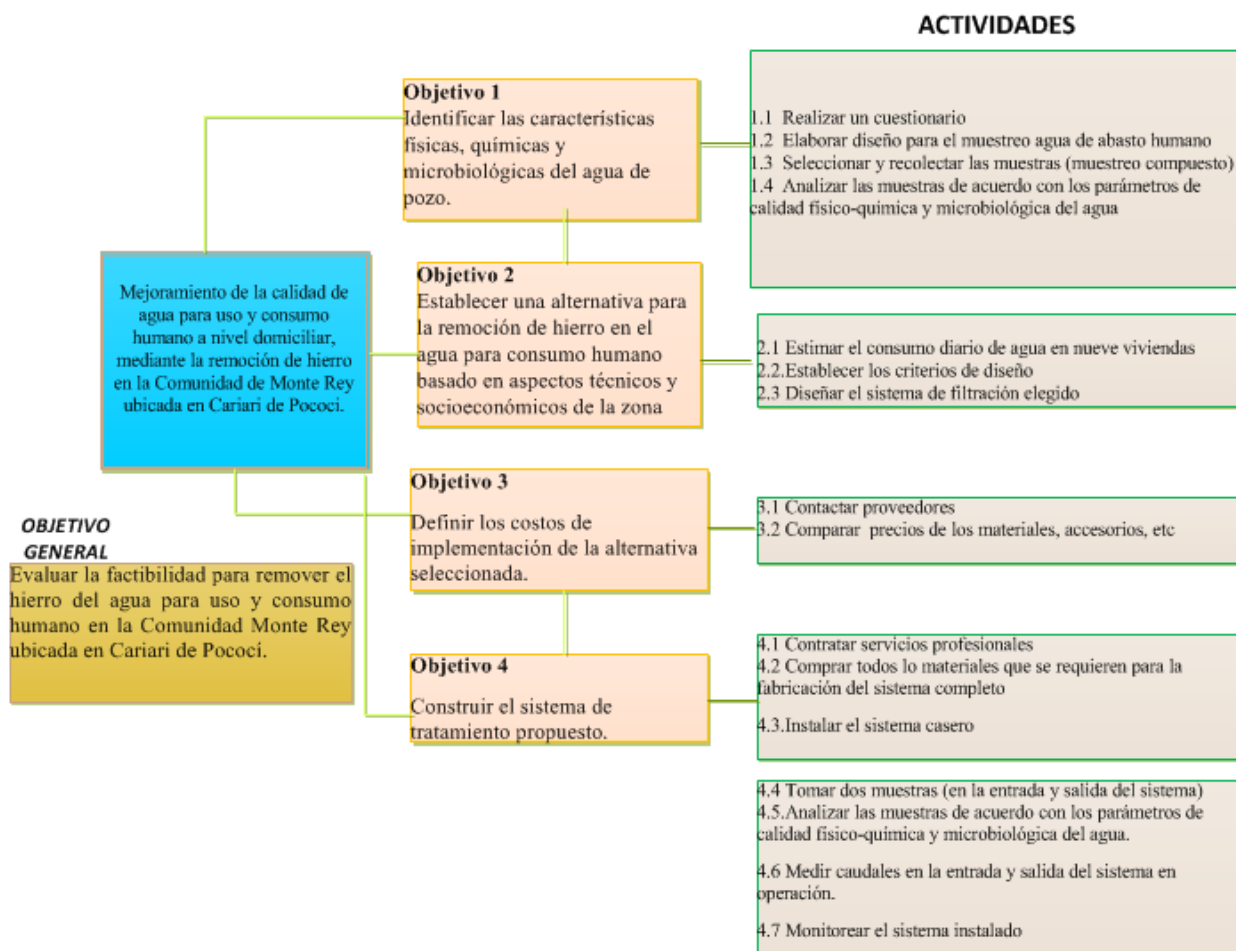


Figura 4. Diagrama descriptivo sobre las principales actividades del proyecto.

En resumen se realizó lo siguiente:

- Diseño de cuestionario
- Diseño del muestreo agua de abasto humano
- Selección y recolección de muestras
- Plan de análisis físicos, químicos y microbiológicos

3.2.1 Diseño de cuestionario

La encuesta se aplicó del 02 de febrero al 25 de marzo del 2013. El cuestionario se compuso de V partes (apéndice 1)

- I PARTE: Datos generales del encuestado
- II PARTE: Agua potable
- III PARTE: Aguas residuales
- IV PARTE: Agua pluvial
- V PARTE: Gestión de residuos sólidos

Las preguntas se separaron en 12 preguntas dicotómicas, 27 preguntas categóricas y 11 de opinión abierta, para un total de 50 preguntas.

3.2.2 Diseño del muestreo agua de abasto humano

Se desarrolló un diseño conformado por 31 parcelas visitadas (apéndice 3), evaluando individualmente los cuatro factores de riesgo más relevantes obtenidos del cuestionario y de observaciones durante las visitas, éstos son: cloración directa del pozo, enfermedades relacionadas con la contaminación de agua, distancia del tanque séptico al pozo, y profundidad promedio del pozo.

Dependiendo de la cantidad de factores de riesgo existentes por parcela, se agruparon en bloques identificados con un color que indica la magnitud cuantitativa del riesgo. El bloque verde está compuesto por 8 parcelas, el bloque gris por 13 parcelas, bloque naranja 6 parcelas y bloque rojo por 4 parcelas.

3.2.3 Selección y recolección de muestras

En total se seleccionaron 9 muestras, 2 del bloque verde, 3 del bloque gris, 2 del bloque naranja y 2 del bloque rojo. La forma en que se escogieron las parcelas, fue reuniendo todas

los números de parcelas de cada bloque por separado y sacádo al azar la cantidad de muestras según correspondiera el bloque.

En el cuadro 2 se observan los resultados de la escogencia.

Cuadro 2. Pozos seleccionados para la toma de muestras de agua.

Muestra #	pozo #	Color bloque
1	25	Rojo
2	28	Gris
3	20	Naranja
4	2	Verde
5	23	Naranja
6	Lote 4	Verde
7	8	Rojo
8	9	Gris
9	3	Gris

La recolección de muestras se realizó el 17 de abril y el 7 de agosto del 2013. A continuación las fotografías muestran la forma de trabajo para el muestreo.

En un día se recolectaron nueve muestras, las alícuotas se tomaron en el tubo de cuarto pilas o cocina (figura 5).



Figura 5. Alícuotas para realización muestreo compuesto.

Los envases plásticos debían de identificarse previamente a la fase de recolección (figura 6).



Figura 6. Envases utilizados para conservar y transportar las muestras

La técnica de desinfección fue útil para recoger la muestra microbiológica independientemente si cloraban o no el agua (figura 7)



Figura 7. Técnica para esterilizar tubo de entrada de agua.

La conservación, identificación y adecuado almacenamiento de la muestra microbiológica se consideró importante para evitar contaminación de cualquier otro tipo (figura 8)



Figura 8. Rotulación de muestra para análisis microbiológico.

Las lecturas de ph,conductividad y temperatura (figura 9) fueron asistidas por personal del Área de Conservación Tortuguero (ACTo).



Figura 9.Toma de dato ph y conductividad de la muestra #3.

El registro de las mediciones en el sitio tomó más tiempo, debido a las repeticiones constantes (figura 10)



Figura 10 .Medida de oxígeno disuelto de la muestra #7.

3.2.4 Análisis físicos,químicos y microbiológicos del agua

En cada una de las nueve muestras mencionadas en el cuadro 2 fueron analizados los parámetros citados en el cuadro 3.

Cuadro 3.Métodos de análisis de calidad de agua utilizados.

Parámetro	Lugar de análisis	Instrumento	Método de análisis
<i>Color aparente</i>	Laboratorio IA,CEQIATEC	Colorímetro HI 93701 marca HANNA	Standard Methods 22th ed. APHA-AWWA-WEF 2120
<i>Turbiedad</i>	Laboratorio IA, CEQIATEC	Turbidímetro HI98703 HANNA.	Standard Methods 22th ed. APHA-AWWA-WEF 2130
<i>pH</i>	in situ	pHmetro HI98127 marca Hanna.	
<i>Conductividad</i>	in situ, CEQIATEC	Conductímetro Fisher Scientific accumet modelo AP85.	Standard Methods 22th ed. APHA-AWWA-WEF 2510
<i>Temperatura</i>	in situ	pHmetro HI98127 marca Hanna.	Standard Methods 22th ed. APHA-AWWA-WEF 2550
<i>Sólidos totales</i>	Laboratorio IA, CEQIATEC	Horno Precision Scientific Thelco modelo 160	Standard Methods 22th ed. APHA-AWWA-WEF 2540B
<i>Sólidos suspendidos totales</i>	Laboratorio IA, CEQIATEC	Horno Precision Scientific Thelco modelo 160	Standard Methods 22th ed. APHA-AWWA-WEF 2540D
<i>Alcalinidad</i>	CEQIATEC	Equipo laboratorio CEQIATEC	Standard Methods 22th ed. APHA-AWWA-WEF 2320
<i>Oxígeno</i>	In situ	TECPEL DO-1610.	Standard Methods

<i>Disuelto(OD)</i>			22th ed. APHA- AWWA-WEF 4500
<i>Hierro</i>	CEQIATEC	Absorción atómica en llama Perkin Elmer modelo AAAnalyst 800	Standard Methods 22th ed. APHA- AWWA-WEF 3110
<i>Manganeso</i>	CEQIATEC	Absorción atómica en llama Perkin Elmer modelo AAAnalyst 800	Standard Methods 22th ed. APHA- AWWA-WEF 3110
<i>Magnesio</i>	CEQIATEC	Absorción atómica en llama Perkin Elmer modelo AAAnalyst 800	Standard Methods 22th ed. APHA- AWWA-WEF 3110
<i>Calcio</i>	CEQIATEC	Absorción atómica en llama Perkin Elmer modelo AAAnalyst 800	Standard Methods 22th ed. APHA- AWWA-WEF 3110
<i>Aluminio</i>	CEQIATEC	Absorción atómica en llama Perkin Elmer modelo AAAnalyst 800	Standard Methods 22th ed. APHA- AWWA-WEF 3110
<i>Zinc</i>	CEQIATEC	Absorción atómica en llama Perkin Elmer modelo AAAnalyst 800	Standard Methods 22th ed. APHA- AWWA-WEF 3110
<i>Cobre</i>	CEQIATEC	Absorción atómica en llama Perkin Elmer modelo AAAnalyst 800	Standard Methods 22th ed. APHA- AWWA-WEF 3110
<i>Cromo</i>	CEQIATEC	Absorción atómica en llama Perkin Elmer modelo AAAnalyst 800	Standard Methods 22th ed. APHA- AWWA-WEF 3110
<i>Cadmio</i>	CEQIATEC	Absorción atómica en llama Perkin Elmer modelo AAAnalyst 800	Standard Methods 22th ed. APHA- AWWA-WEF 3110

<i>Sodio</i>	CEQIATEC	Absorción atómica en llama Perkin Elmer modelo AAnalyst 800	Standard Methods 22th ed. APHA-AWWA-WEF 3110
<i>Nitratos</i>	CEQIATEC	Cromatógrafo iónico Methron modelo 761	
<i>Cloruros</i>	CEQIATEC	Cromatógrafo iónico Methron modelo 761	
<i>Sulfatos</i>	CEQIATEC	Cromatógrafo iónico Methron modelo 761	
<i>Cloro residual libre</i>	in situ	HACH	
<i>Plaguicidas</i>	CEQIATEC	Vacuum Manifold Supelco modelo 312	Métodos del PAM 1994.Procedimientos Técnicos de Química(PT-QUI-03-01)
<i>Escherichia Coli</i>	CEQIATEC	Técnica NMP por LMX	Standard Methods 22th ed. 2012 APHA-AWWA-WEF 9221F
<i>Coliformes fecales</i>	CEQIATEC	Técnica NMP	Standard Methods 22th ed. 2012 APHA-AWWA-WEF 9221B
<i>Coliformes totales</i>	CEQIATEC	Técnica NMP	Standard Methods 22th ed. 2012 APHA-AWWA-WEF 9221B

Fuente: Según el Standard Methods 22th ed. APHA-AWWA-WEF

Los límites recomendados y máximos permitidos de los parámetros anteriormente citados se detallan en el anexo 4.

3.3 Diseño del sistema de remoción de hierro

- Estimación del consumo diario de agua de abasto humano
- Criterios de diseño del prototipo
- Diseño del sistema elegido

3.3.1 Estimación del consumo diario de agua de abasto humano

Se determinó el consumo de agua en 9 viviendas de la comunidad para las siguientes actividades domésticas: aseo personal (lavado de dientes, manos, bañarse, servicio sanitario), preparación de los alimentos y lavado de platos, lavado de la ropa, consumo propio o ingesta y limpieza en general de la vivienda.

Las viviendas no cuentan con micromedidor, así que la técnica más apropiada fue medir caudales de agua utilizando un recipiente de 10 litros previamente calibrado y 2 probetas de un litro cada una. Al señor(a) de la casa se le consultó el tiempo que tarda en realizar las actividades domésticas (sólo dentro de la casa), cuántas veces al día las realiza. Dependiendo de los minutos que respondiera, se procedió a medir el volumen durante ese tiempo (a tubo abierto). El caudal por familia se obtuvo de multiplicar lo que una persona consume por día por el número de miembros.

Para el lavado de ropa, se introdujo el recipiente dentro de la lavadora a tubo abierto hasta que ésta llenara, se vaciaba y así hasta alcanzar el nivel de agua que indicara la persona dentro del tanque de la lavadora. Se contó la cantidad de tinas que llenaron el tanque (en algunos casos el tanque si tiene marcado los litros que contiene) y si la persona encargada de lavar, descargaba agua del tanque más de una vez al día se calculaba la cantidad de litros desechados.

El volumen del tanque de agua del servicio sanitario se midió con el mismo recipiente, se verificó que la capacidad de un tanque es de 10 litros aproximadamente, esos diez litros por el número de veces al día que jala la cadena una persona genera los litros totales de agua descargada al tanque séptico.

Para los casos como limpieza general de la vivienda y lavado de dientes, se tomó como patrón un vaso de 350 ml, y se determinó cuántos de esos vasos se requieren en el tiempo promedio que indicaba la persona ejecutando esas actividades.

3.3.2 Criterios de diseño del prototipo

1. Velocidad de filtración:

$$V_f \text{ (m/h)} = \frac{Q}{A_s}$$

Donde A_s = Área superficial en m^2

2. Cálculo del área de contacto de los filtros (A)

$$A(m^2) = \frac{\text{Caudal de filtración}}{\text{tasa de filtración}}$$

3. Área superficial de filtración del tanque (A_s) (OPS & CEPIS, 2005)

$$A_s = \frac{Q_d}{N \cdot V_f}$$

Donde:

Q_d = caudal de diseño (m^3/h)

N = número de unidades

V_f = Velocidad de filtración (m/h)

4. Volumen del filtro = Altura total del filtro (m) x A_s (m^2)

5. Volumen del material filtrante más vacíos:

$$V = h \times \pi r^2$$

Donde:

H = espesor de capa de medio filtrante

r = radio del tanque

6. Volumen que ocupan los espacios vacíos en el material filtrante:

$$V = h \times \pi r^2 \times \text{relación de vacíos (\%)}$$

- Relación de vacíos de la arena:40-45%
- Relación de vacíos de la piedra:50%
- Relación de vacíos de la antracita: 47-52%

7. V_{total} del material filtrante: $h \times \pi r^2 - (h \times \pi r^2 \times \text{relación de vacíos } (\%))$

8. Tiempo de retención (TR)

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

Donde:

V= volumen del filtro (m³)

Q= caudal en m³/h

9. Pérdidas de carga

$$H_m = \frac{\gamma_f - \gamma_w}{\gamma_w} (1 - p)L$$

Donde:

γ_w = densidad del agua (Kg/m³)

γ_f = densidad del medio filtrante (Kg/m³)

p = relación de vacíos

L= espesor de capa

10. Eficiencia de remoción:

$$\frac{\text{concentración afluente} - \text{concentración efluente}}{\text{concentración afluente}} * 100$$

3.3.3 Diseño del sistema elegido

El método de remoción de hierro seleccionado para este proyecto, está compuesto por 5 unidades, dos tanques que actúan como tratamiento primario, dos tanques de tratamiento secundario y una última etapa que es la reserva de agua filtrada. El diseño es un sistema de filtración casero, apto para abastecer de agua potable a una familia de 4 miembros, y esto debido a que en la comunidad el núcleo familiar predominante está conformado por cuatro personas. Las unidades se mantienen sobre una tarima de 2,5 metros de altura y es un diseño anexado a la infraestructura ya existente en la parcela seleccionada.

Para lograr el diseño se tomaron en cuenta los siguientes aspectos: la altura del tanque original, número de unidades de filtración, tipo de tanque para almacenar agua potable, altura total del filtro, volúmenes de cada material filtrante, grosor de capa, las velocidades de filtración, las dimensiones de la tarima, las actividades de uso de agua dentro de la vivienda que cubren el sistema y la cantidad de personas beneficiadas.

En el análisis de resultados se describe cada una de las unidades que integran el sistema y un diseño real del prototipo con todos sus elementos.

Es importante señalar que antes de empezar a construir el sistema de filtración casero para remover hierro, se había seleccionado previamente la vivienda de la familia Vallejos Villafuerte (parcela 8). En esta vivienda lo que había antes de colocar toda la estructura planteada, era el tanque de almacenamiento elevado (500 litros) a una altura de 3 metros sobre el nivel del suelo, una pila afuera que usan para lavarse las manos y los dientes y el pozo a nivel del suelo instalado debajo de unas latas de zinc al lado del tanque de almacenamiento.

Entre las razones por las cuales se escogió la parcela 8 para desarrollar el proyecto, están:

- Los resultados reportaron indicadores de contaminación microbiológica (E.Coli 33 NMP/100 ml) y presencia de hierro (1,39 mg/L).
- La muestra de agua de la vivienda fue la que presentó el más alto contenido de turbiedad (54,43 NTU) y el segundo lugar en color aparente (205 mg/L (U-Pt-Co)).
- Tanque de almacenamiento en buen estado.

- Perfecto estado de la tarima que soporta al tanque.
- Tuberías de conducción de agua potable ubicadas a poca distancia (1m) con respecto al espacio de construcción del nuevo sistema.
- Familia dispuesta a colaborar con la construcción.
- Familia tiene capacidad económica para cubrir gastos como imprevistos del proyecto, u otros no contemplados en la planificación.

3.4 Determinación de los costos de implementación de la alternativa seleccionada

- Búsqueda de fondos para financiamiento
- Contacto con persona para colaborar en la mano de obra
- Definir los posibles proveedores

La fuente de dinero para ejecutar proyecto provino de capital otorgado por el Programa de Pequeñas Donaciones en Costa Rica (PPD) cuyas oficinas centrales se encuentran en Pavas San José.

Los aportes económicos para la realización del proyecto fueron otorgados por: ACTo (SINAC-MINAE), FOSDE (ITCR), APOC. El beneficiario no aportó monetariamente, sin embargo colaboró con la alimentación durante los días de trabajo y con mano de obra.

Por medio del FOSDE en el Instituto Tecnológico, Sede Central, se logró la donación de dinero por ₡499 210 canalizado a través de la VIESA.

Se contó con los servicios técnicos de un operario en soldadura y fontanería de la zona de Guápiles. Una vez que se encuentra a la persona que realizaría los trabajos se procede a comprar los materiales y accesorios.

Todos los materiales, accesorios y elementos que se necesitaron para fabricar el sistema de filtración se cotizaron y compraron con al menos dos proveedores en Guápiles (apéndice 3).

3.5 Construcción del sistema de tratamiento propuesto

El cumplimiento de este objetivo conllevó a la gestión de coordinación por traslado de materiales y equipo al sitio de trabajo y contratación de un operario local, a partir del primer día de trabajo se emplearon 4 días más para terminar la obra.

3.6 Evaluación del funcionamiento del sistema en operación

La evaluación comprendió:

- Muestreo y análisis de laboratorio del nuevo sistema de abasto instalado en la parcela 8.
- Medir caudales a la entrada y salida del sistema.
- Monitoreo del sistema instalado

3.6.1 Muestreo y análisis de laboratorio del nuevo sistema de abasto instalado en la parcela 8

Se tomó una muestra de agua por tanque: entrada (tanque 2) y tanque de salida (tanque 5), agua cruda y agua tratada respectivamente, siguiendo los protocolos establecidos por el Standard Methods (2012) para cada parámetro. Al final se recogieron 1,5 litros por muestra.

En la figura 11 se muestra el momento de toma de muestra microbiológica.



Figura 11. Toma de muestra microbiológica en el tanque# 2.

El equipo de muestreo y materiales fue el siguiente: el pHmetro digital, el medidor de oxígeno disuelto, una probeta de 250 ml, 2 botellas plásticas de 500 ml cada una, guantes, 2 bolsas análisis microbiológico, hielera pequeña.

Para los análisis físico-químicos, las alícuotas se trasvasaron al recipiente hasta completar el volumen del mismo (figura 12).



Figura 12. Medida de volumen con probeta.

Por último se realizaron 6 lecturas de oxígeno disuelto por muestra: 2 en el fondo, 2 en el medio y 2 en la superficie.

Las mediciones de oxígeno disuelto se realizaron directamente en los tanques #2 y #5 (figura 13).



Figura 13. Medida de oxígeno disuelto en tanque #2 y tanque #5.

Se analizaron los siguientes parámetros en las dos muestras:

- Turbiedad
- Color aparente
- Conductividad
- Sólidos totales
- Sólidos suspendidos totales
- Hierro
- Manganeso
- Coliformes Fecales y Totales
- E. Coli

3.6.2 Medición de caudales en la entrada y salida del sistema instalado

Se hicieron las lecturas durante 4 días: viernes 20 de diciembre y domingo 22 de diciembre del 2013, viernes 17 de enero y domingo 19 de enero del 2014. Se le ha denominado “prueba 1” los días viernes y “prueba 2” los días domingos.

Se empleó el método volumétrico, utilizando un recipiente calibrado de 2,5 litros (figura 14), y los materiales fueron: un cronómetro, un recipiente y un cuaderno de notas .



Figura 14. Método volumétrico para medir caudales

En el tanque #2 se midió el caudal de entrada, y en el tanque #5 el caudal de salida, así está mostrado en la figura 15 y 16.



Figura 15. Aforo en tanque #2.

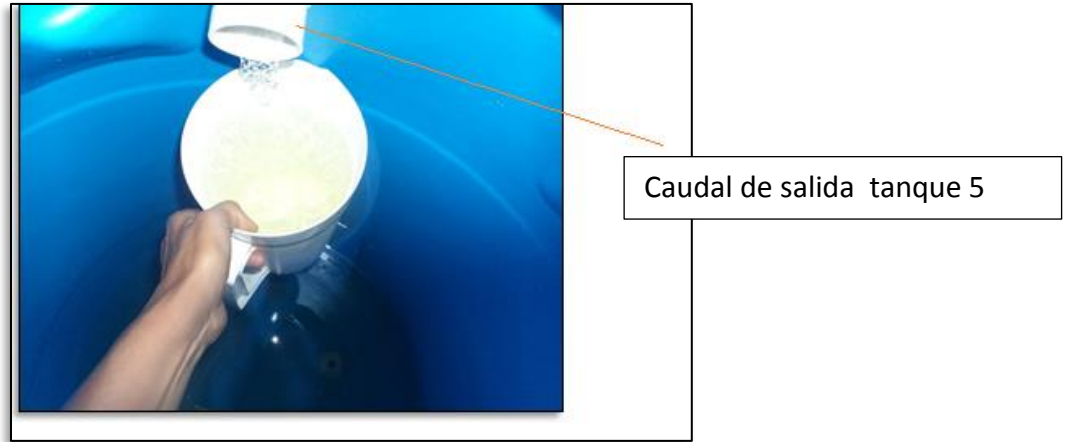


Figura 16. Aforo en tanques #5.

En la prueba 1 se recolectaron 30 lecturas en la entrada del sistema, en un periodo de 7 horas comprendido de 7:30 am a 2:30 pm. En la salida se recolectaron 44 mediciones en un periodo de 6 horas comprendido de 9:30 am a 3:30 pm.

En la prueba 2 se realizaron 18 mediciones en la entrada, en un periodo de 2 horas y media comprendido de 7:30 am a 10:00 am. En la salida del sistema 32 mediciones en un periodo de 5 horas comprendido de 7:30 am a 12:30 pm. Estas mediciones se realizaron en dos domingos.

3.6.3. Monitoreo del sistema instalado

Esta actividad se llevó a cabo a partir del 2 de Enero hasta el 5 de Marzo del 2014 para conocer más a fondo el comportamiento del método implementado en la parcela 8, con ello se pudo analizar las diferentes situaciones ocurridas luego de un periodo de dos meses y además lo más importante es que se aprovechó toda la obra construida para hacer críticas constructivas del sistema. A continuación se detallan las actividades de monitoreo realizadas.

3.6.3.1 Calibración del filtro rápido y el filtro lento: utilizando un trazador “sirope y gelatina roja” se comprobó el tiempo de residencia del líquido rojo en la entrada del sistema hasta la salida de cada uno de los filtros.

3.6.3.2 Capacitación a la familia de la parcela 8 sobre mantenimiento, limpieza y aseo de los tanques y los filtros: se dedicó un día en explicar a los miembros de la familia los pasos a seguir para limpiar los tanques 2 y 5, luego como realizar el raspado y lavado de la arena del filtro lento de arena.

3.6.3.3 Observaciones del aspecto físico del agua en cada tanque del prototipo: en diferentes ocasiones se pudo verificar la calidad de agua en todo el proceso de tratamiento, las características de las arenas en la superficie e incluso se le presta atención a diferentes fenómenos que aparecen en los tanques.

3.6.3.4 Recolección y análisis de muestra bacteriológica para analizar en microscopio: El hierro soluble se forma en el tanque #1 y tanque #2, la muestra fue recolectada en el tanque #1 utilizando envases de vidrio esterilizados (figura 17). Para atrapar el sedimento dentro del frasco fue necesario amarrar una cuerda de nylon al recipiente, hundirlo y dejar que se llenara. Cuando el frasco se dejó en reposo, rápidamente se aglomeraron las partículas ferrosas.

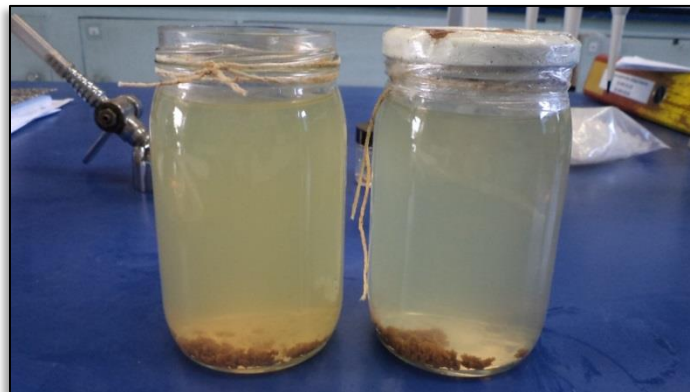


Figura 17. Vista de la muestra de sedimento (bacterias) obtenida del tanque #1

El análisis al menos duró una hora, el equipo utilizado un microscopio óptico (Olympus CX31).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La encuesta arrojó como resultados una caracterización en general del estilo de vida de los pobladores de la Comunidad de Monte Rey, a pesar de haber preguntas un tanto técnicas que respondieron los encuestados, también se formularon preguntas abiertas y de percepción del entorno para identificar los impactos ambientales actuales en que incurre el descuido del saneamiento básico del recurso hídrico en zonas rurales.

4.1 Aspectos socio-económicos

La población de Monte Rey está conformada por 135 habitantes, con una distribución muy similar de hombres y mujeres (67 y 68 respectivamente). Es importante destacar que hay una baja población adulta mayor y predominan en gran medida las mujeres jóvenes.

En la figura 14, se observa que la mayoría de personas han logrado concluir la primaria, y en menor porcentaje la secundaria completa. Esto se debe a muchas razones, por ejemplo que los habitantes provienen de familias de muy bajos ingresos económicos, tienen pocas oportunidades para superarse en la zona, a los niños no pueden dejarlos con otras personas durante el estudio porque implicaría el pago por trabajo de cuidado y no pueden sufragar este tipo de gastos. Por otro lado, es importante señalar que el tipo de población es meramente campesina y en su gran mayoría con hijos menores de edad, lo que implica generalmente para las mujeres, invertir la mayor parte del tiempo en actividades domésticas, de campo y la crianza de los niños, limitando de esta manera la asistencia a centros de estudio.

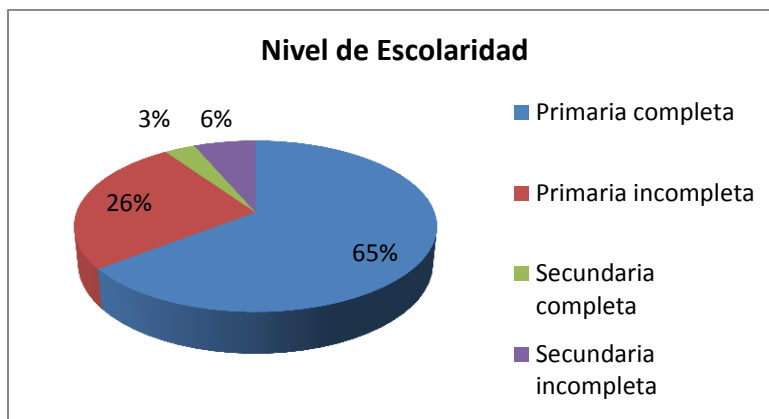


Figura 18. Grado de estudio de la población en la comunidad de Monte Rey

4.2 Situación y acceso a los servicios de salud

Los encuestados conocen muy poco de las enfermedades relacionadas con la contaminación de agua potable, sin embargo durante las visitas se les explicó los problemas de salud a los que están expuestos, contestó el 77,42% no haber sido afectados por ninguna enfermedad o padecimiento; las alergias en la piel siguen ocasionando molestias en algunas personas según la gráfica de la figura 15. No obstante, las alteraciones en la piel (manchas blancas) pueden aparecer por diversas razones, ya sea hongos por exceso de humedad, carencia de vitamina B12, la despigmentación, exposición prolongada al sol, entre otros (Martínez, Mora, & Hernández, 2004)

La comunidad de Monte Rey es atendida en el EBAIS “La Esperanza” y también otras 9 comunidades o sectores geográficos, con base en la información suministrada por esta instancia (anexo 5) no se han presentado cuadros de alergias que se sospeche por el contacto de agua contaminada con hierro, y no existen hasta el momento estudios o diagnósticos en esta población, que apunten al hierro como principal causante de enfermedades del agua. Durante el año 2011 la principal causa de consulta médica fue por exámenes generales y 115 casos diagnosticados con dermatitis, no habiendo ninguno relacionado con contaminación hídrica (CCSS, 2009-20011).

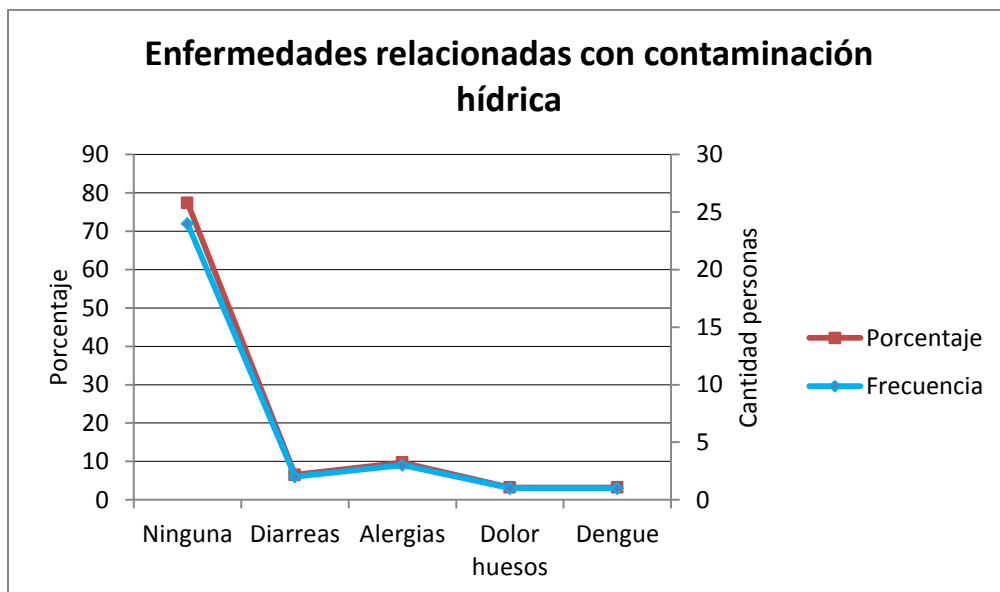


Figura 19. Incidencia de enfermedades de los habitantes de Monte Rey. Fuente: Elaboración propia con información del “EBAIS La Esperanza”.

4.3 Situación del abastecimiento de agua potable

Al ser pozos perforados que no pueden ser vistos y evaluados interiormente, fue difícil conocer más a fondo las características físicas y estado en que se encontraban, por lo tanto las preguntas en relación con los pozos fueron obtenidas de los dueños de casa conforme se acordaban de la construcción de los mismos. En la figura 20 se presentan las profundidades promedio de los pozos en la comunidad de Monte Rey, un 58,62% son de aproximadamente 7 m y la profundidad mínima encontrada es de 4 m (20,69 %). Por lo crítico que parece esta condición, la realidad es que los pozos no están revestidos y su infraestructura es muy pobre, pero además otros elementos que podrían desfavorecer la calidad de agua de abasto para las familias son las distancias del pozo a focos de contaminación muy cercanos como un corral, animales domésticos alrededor de los pozos, aguas residuales vertidas en los patios, y deficiente mantenimiento y operación de las fosas sépticas.

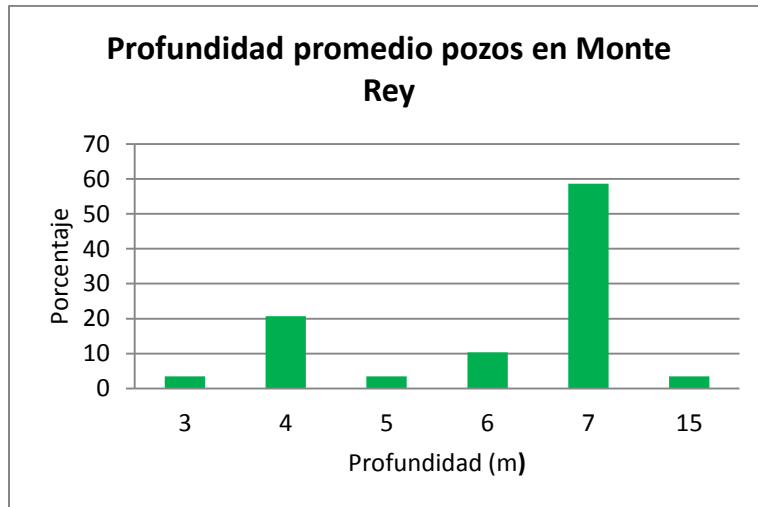


Figura 20. Tipos de pozos según profundidad promedio de los pozos perforados

En el gráfico de la figura 21 se aprecia un mayor número de personas (22) que contestaron no tener agua de mala calidad, pero el 30% notan características no deseables en el agua, como en las actividades de lavado de la ropa al mancharse la ropa blanca, al tomar un vaso de agua y al bañarse.

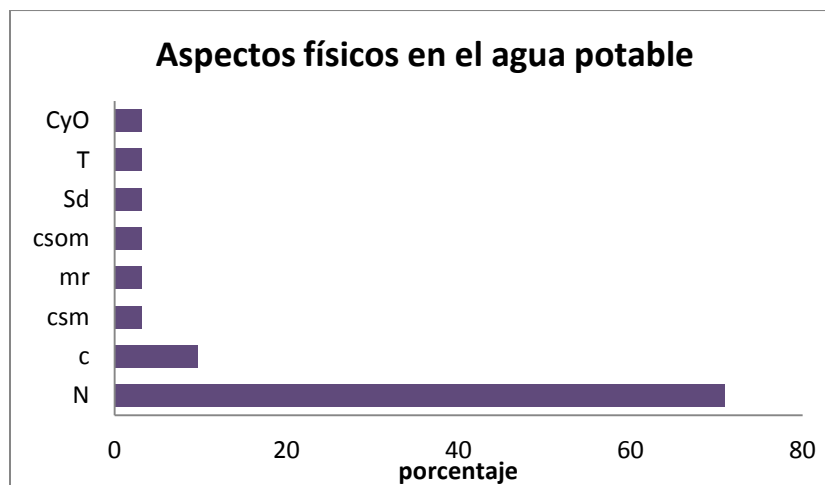


Figura 21. Percepción de la calidad de agua que consumen los habitantes de Monte Rey.

Donde: N: ninguna; C: color; csm: color, sabor y mancha ropa; mr: mancha ropa; Sd: sólidos; TD: todas las anteriores; CyO: color y olor

En el anexo 6 se muestran algunas fotografías sobre el estado actual sin tratamiento de fecha 10 octubre 2014 de los tanques elevados de algunas viviendas en el sitio de estudio,

se puede apreciar aguas con mucho color y tanques de almacenamiento cubiertos de manchas de color anaranjadas.

La mayoría de las familias aplican el cloro directamente en el pozo, sin registro, ni dosis exactas, lo suelen realizar las mujeres del hogar y básicamente por dos razones: cada vez que observan el agua con color y para eliminar gérmenes y microorganismos. Otra práctica común es hervir el agua, sin embargo éste es un método temporal para eliminar las bacterias del agua.

4.4 Manejo de residuos sólidos

En cuanto al manejo de residuos sólidos (V parte del cuestionario), la mitad de las personas entrevistadas separan los residuos sólidos, especialmente plástico, vidrio, aluminio y residuos orgánicos. Los materiales varolizables lo llevan a un comité de mujeres de la misma comunidad, llamado “Muambi” que se encargan de trabajarlos para confeccionar objetos personales y para el hogar, como por ejemplo, carteras, billeteras, folders, bolsos, entre otros. Cabe señalar que antes de llevar los materiales de reciclaje a este grupo de mujeres, las familias los disponen en sitios bajo techo como bodegas, corral y cocheras.

Se observó que los pobladores toman acciones que impactan el medio ambiente como quemar basura en zonas verdes y en algunos casos la entierran. Sin embargo, a los desechos orgánicos les dan un valor agregado como abono para los cultivos, comida para los cerdos, los colocan en el suelo en puñitos alrededor de los árboles frutales o para elaborar compostaje.

En general con el cuestionario se generó una descripción de la comunidad, que se resume en los siguientes puntos.

- Existen 29 parcelas con una área de 4 ha aproximadamente y 4 lotes de 900 a 1000 m².
- El núcleo familiar está compuesto en promedio por 4 miembros.
- El nivel de escolaridad es muy básico, más de la mitad entrevistados, con grado de primaria primaria completa.

- Existe un trabajo de campo equitativo entre hombres y mujeres. Los hombres se encargan de labores más pesadas y asistencias a reuniones de índole agropecuaria, las mujeres velan por los quehaceres del hogar, mandar los niños a la escuela, y siembra, ordeño, y crianza de animales domésticos.
- Entre las actividades productivas a las que se dedican son: siembra de hortalizas, cuidado de animales como gallinas ponedoras, cerdos y pollos, ganadería lechera, y cultivos como yuca, malanga, maíz, frijol, ñame, plátano, pipas, culantro coyote y árboles frutales como papaya, guanábana, limones, entre otros. En el ámbito laboral, pocas personas tienen trabajos externos y complementan el ingreso con trabajos temporales. Los ingresos mensuales entre los dos padres de familia, no supera los 200 mil colones.
- Los servicios básicos comprenden servicio eléctrico y transporte público.
- Para desplazarse a Cariari centro u otros poblados, son escasamente 6 familias las que poseen carro propio, el resto se desplazan en bus ó en bicicleta.
- Actualmente 6 viviendas son las beneficiarias de un proyecto piloto de producción de energía eléctrica a través de la radiación solar, impulsado por capital extranjero y que cuenta con la debida supervisión del MINAE.
- Existen problemas secundarios como la ausencia de recolección de residuos sólidos, tanques sépticos con nulo mantenimiento, uso frecuente de agroquímicos y almacenamiento inadecuado de sustancias peligrosas, descarga de aguas grises sobre el suelo, tanque de almacenamiento en mal estado, la quema de basura en los patios, entre otras limitaciones de infraestructura.

El anexo 7 contiene las fotografías tomadas en el recorrido por todas las parcelas visitadas durante la aplicación del cuestionario.

4.5 Calidad del agua subterránea de la zona

4.5.1. Parámetros físicos y químicos

El cuadro a continuación presenta los reportes promedios de parámetros de calidad de agua analizados en abril 2013.

Cuadro 4. Reportes de los análisis físico-químicos del agua de grifos residenciales de nueve parcelas.

Parámetro	Unidad	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	PROMEDIO	Legislación (Decreto 32327) Valor máximo
<i>pH</i>		6,42	6,38	4,80	6,16	6,61	6,33	6,46	6,55	6,41	6,23^a±0,55^b (4,24-6,90)^c	8,5
<i>Conductividad</i>	µs/cm	83,4	109	21,4	87,7	95,7	108	141	230	209	120,57^a±64,63^b (18,5-300)^c	400 (VR)
<i>Temperatura</i>	°C	29,6	28,6	28,5	28,5	28,9	29,9	29,1	27,6	27,3	28,66^a±0,84^b (27,4-30,1)^c	30
<i>Turbiedad</i>	UNT	3,04	12,7	0,49	13,8	3,40	13,4	54,4	53,9	10,6	18,41^a±20,85 (0,29-115)^c	5
<i>Color aparente</i>	mg/L(U-Pt-Co)	0,00	7,00	0,00	7,17	0,00	1,33	205	228	16,2	51,63^a±93,79^b (0,00-516)^c	15

VR=valor recomendado. ^a Valor promedio. ^b Desviación standard. ^c Valor mínimo y máximo

El pH de las aguas naturales disminuye con el aumento de la cantidad de gas carbónico disuelto con el ácido carbónico. Las aguas subterráneas corren el riesgo de perder una parte de su gas carbónico disuelto tras la pérdida de presión que sufren al llegar a la superficie del suelo (Pimienta, 1980). En el cuadro 4 la tendencia es aguas ácidas ($\text{pH} < 7$), entre las posibles causas de encontrar aguas ácidas en la zona de estudio podrían ser que los suelos de la zona en estudio son fundamentalmente aluviales característicos de áreas lluviosas, existen remanentes de un antiguo vulcanismo transportados por los ríos más cercanos y posible deposición por lluvia ácida (Rodríguez, 2003). Cabe señalar, que la composición química de las aguas subterráneas se debe, no solo al efecto de los materiales con los que entra en contacto una vez en la superficie terrestre, sino, también por elementos atmosféricos (gases, aerosoles, sales diversas) y la lluvia.

Con respecto al oxígeno disuelto, la mayoría de aguas subterráneas tienen entre 0 a 5 mg/L (Geta, Azcoiti, González, & Gil, 2009). Añadiendo a esto (Llorca & Carrascosa, 2006) señala que la concentración de oxígeno disuelto puede ser baja sin que haya contaminación orgánica, la deficiencia se deba a falta de equilibrio con la atmósfera, por otro lado el oxígeno disuelto disminuye conforme aumenta la concentración de sales. Las lecturas no se realizaron en el pozo sino a la salida de los grifos de la cocina, por lo tanto, el agua al entrar en contacto con la presión atmosférica, el OD aumenta.

Los niveles altos de turbiedad pueden deberse a varias situaciones: la falta de limpieza de los tanques de almacenamiento, las redes de distribución de agua en las viviendas son de PVC y algunas presentan fugas (focos de contaminación), en algunas viviendas cubren con plástico negro los tanques elevados, tanques situados en la copa de los árboles y polvo o partículas suspendidas de origen mineral y orgánico que se depositan en el agua almacenada cuando los tanques permanecen abiertos. La M7 y M8 son las que tienen mayor turbidez, la M7 ya que al romper una tubería de pvc se visualizó la presencia de bacterias de hierro es decir sedimento anaranjado que permanece adherido por dentro de la tubería, y la M8 porque el pozo está permanentemente expuesto materia orgánica alrededor, y el tanque de almacenamiento no tiene tapa, por lo tanto es propenso a que se contamine de sólidos o particulado presente en el entorno.

El color en el agua es producto de compuestos orgánicos del suelo que se combinan con el agua. Las características del suelo interfieren notablemente en el color, si hay hierro en el suelo, este le confiere un color amarillento.

Los muestreos se realizaron en abril y agosto del año 2013, en abril al recoger las muestras, los pozos estaban casi secos porque según pobladores y sus experiencias eso suele ocurrir cada año en esa época, una vez el agua en los tanques de almacenamiento arrastra sedimentos y materia sólida que se acumula en ellos. En agosto, la apariencia del agua en las primeras tomas varió considerablemente, esto se puede deber a los días de lluvia que pasaron previo al muestreo. Los mismos pobladores aseguran que en invierno las aguas aclaran y hay leves mejoras de calidad.

La dureza total de esas nueve muestras es producida por las sales de calcio, magnesio, y algunas veces otros cationes divalentes también contribuyen a la dureza como son: estroncio, hierro y manganeso, pero en menor grado ya que generalmente están contenidos en pequeñas cantidades (Alvarado & Herrera, 1999). De acuerdo a la concentración de carbonatos contenidos en el agua, la mayoría de muestras son aguas blandas (0-60 mg/L CaCO_3) y sólo la muestra 8 tiene el valor más alto de dureza (agua dura > 180 mg/L CaCO_3).

Las pequeñas cantidades de nitrógeno que contienen las rocas ígneas pueden proporcionar algún nitrato a las aguas naturales en el proceso de meteorización. Los procesos naturales incluyen la precipitación, y descomposición de la materia orgánica. Los nitratos provenientes de las actividades humanas incluyen: la escorrentía de terrenos cultivados, efluentes de lagunas y tanques sépticos, fertilización excesiva con nitrógeno, deforestación y el cambio en la materia orgánica del suelo como resultado de la rotación de cultivos (Heaton, 1985).

Los sulfatos pueden presentarse de manera natural o como consecuencia de descargas de aguas industriales y por la utilización de fertilizantes agrícolas. Cuando los sulfatos se presentan de manera natural es posible que su origen se deba a algún depósito natural de minerales o por deposición atmosférica (Castro & Peraza, 2009).

Los contenidos bajos de nitratos y sulfatos en la comunidad de Monte Rey son indicadores de una moderada aplicación de abonos nitrogenados y sulfatados, lo que supone una conciencia ambiental por parte del productor cuando utiliza los productos. Sin embargo es importante mencionar que de las 31 parcelas visitadas, todas invierten en productos químicos para mantenimiento de sus cultivos, si al caso unos tres dueños de fincas intercalan con la utilización de abonos orgánicos adquiridos por ellos mismos. Afortunadamente no hay descargas de aguas industriales cercanas a la comunidad que comprometan la calidad de agua de los pozos, aunque si están cerca compañías bananeras en Finca Palacios, pero sus efluentes no afectan directamente el suministro de agua potable dentro de la comunidad.

Se realizaron las lecturas de diez metales pesados, en las nueve muestras como se aprecia en el cuadro 5.

Cuadro 5. Resultados de algunos metales pesados.

Concentración (mg/L)										
M#	Mg	Mn	Fe	Ca	Cr	Zn	Cd	Al	Na	Cu
1	0,36	0,19	< 0,2	5,3	< 0,05	< 0,2	< 0,003	< 0,2	7,0	< 0,3
2	0,46	0,07	1,2	4,2	< 0,05	< 0,2	< 0,003	< 0,2	20	< 0,3
3	0,18	< 0,03	< 0,2	28	< 0,05	< 0,2	< 0,003	< 0,2	3,4	< 0,3
4	0,34	0,32	< 0,2	3,0	< 0,05	< 0,2	< 0,003	< 0,2	14	< 0,3
5	0,27	0,13	0,8	5,4	< 0,05	< 0,2	< 0,003	< 0,2	11	< 0,3
6	0,19	< 0,03	< 0,2	4,7	< 0,05	< 0,2	< 0,003	< 0,2	17	< 0,3
7	0,54	0,14	< 0,2	6,4	< 0,05	< 0,2	< 0,003	< 0,2	14	< 0,3
8	40	0,60	1,0	28	< 0,05	< 0,2	< 0,003	< 0,2	16	< 0,3
9	0,54	< 0,03	< 0,2	5,2	< 0,05	< 0,2	< 0,003	< 0,2	20	< 0,3
Promedio	4,76 ±13	0,17 ± 0,19	0,47 ±0,41	10,0±10,23	<0,05	< 0,2	< 0,003	< 0,2	13,6±5,63	< 0,3
Legislación *	30	0,1	-----	100	----	-----	-----	0,2	25	1
Valor recomendado										
Valor máximo admisible	50	0,5	0,3		0,05	3	0,003		200	2

*Fuente: Decreto 32327-S

De acuerdo con el cuadro anterior los análisis de metales muestran que los metales menos significativos para las nueve muestras son: cromo, zinc, cadmio, aluminio y cobre. Por otro lado hay concentraciones significativas de calcio y sodio, pero no exceden el valor recomendado por reglamento. Por lo contrario si hay niveles considerables de magnesio, manganeso y hierro. Por ejemplo, la muestra 8 tiene magnesio por encima del valor recomendado, sin embargo no alcanza el valor máximo.

Analizando el manganeso, 4 muestras superaron el valor recomendado, no así la muestra 8 que contiene el mayor valor de todas, 10 unidades más que el valor máximo admisible. La muestra 8 demostró que tiene concentraciones de hierro, magnesio y manganeso no aptas para consumo humano.

En vista de la necesidad de un segundo muestreo (7 agosto 2013), para esa ocasión se procedió a realizar un análisis más de contenido de hierro en las nueve muestras (Cuadro 6), por consiguiente se manejaron los resultados aparte. A diferencia del cuadro 12 en este segundo análisis la muestra 7 si presentó concentración de hierro relativamente alta.

Asociando el contenido de hierro con los hechos que determinan si la familia está siendo afectada por este elemento, se examinan los diferentes accesorios de plomería, tuberías y servicios sanitarios, recipientes y superficies de contacto del agua y definitivamente se descubrió que el agua que consume la familia de la parcela 8 (muestra 7) está contaminada con hierro, que les ocasiona insatisfacción en general.

Cuadro 6. Análisis de hierro en muestras de agua realizado en agosto 2013.

Muestra #	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Hierro(mg/L)	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	1,39 ±0,13	<0,3	<0,3

4.5.2 Plaguicidas

A todas las muestras se les analizó: plaguicidas organoclorados, plaguicidas organofosforados, carbamatos y paraquat. No hubo niveles de detección de plaguicidas en ninguna de las muestras.

La decisión de analizar plaguicidas fue debido al uso moderado de herbicidas, insecticidas y otros plaguicidas dentro de las fincas. Actualmente solo hay dos parcelas en la comunidad, que están asociadas al gremio de Productores Orgánicos del Caribe (APOC), por lo tanto, no hacen uso de agroquímicos de ningún tipo.

No todos los habitantes son conscientes de las implicaciones negativas al ambiente en relación al uso de agroquímicos, los más aplicados en esa zona de estudio son: *Paraquat*, *Atila* y *Glifosato*.

El paraquat es un herbicida cuaternario de amonio y es prácticamente inmóvil en el suelo, su fórmula química $C_{12}H_{14}Cl_2N_2$. Pequeñas cantidades de paraquat se liberan continuamente desde la arcilla al agua del suelo. Allí, los microbios del suelo lo degradan en dióxido de carbono, amoníaco y agua, evitando la acumulación en el suelo (Centro de información del paraquat). El ingrediente activo del Atila es el glifosato y su fórmula química es $C_3H_3NO_5P$ (Nufarm, 2010). El glifosato es un herbicida con fórmula química

C₆H₁₇N₂O₅P, se biodegrada de forma fácil y completa en el suelo, mostrando una vida media de aproximadamente 60 días, en los cuerpos de agua se disipa rápidamente.

Al no detectarse plaguicidas en las muestras de agua, significa que a pesar que el área cercana a los pozos no está protegida y es accesible para cualquier persona, las aplicaciones con bomba las realizan en las zonas de campo agrícolas que están más alejadas de las viviendas, y además los cultivos están muy alejados de la zona de captación del agua. También los aviones fumigadores de las compañías bananeras no pasan sobrevolando el asentamiento.

4.5.3 Análisis Microbiológico

De acuerdo con el cuadro 7, sólo la muestra 6 se considera de calidad potable. Las muestras #3, #4, y #9 generaron resultados negativos.

El Decreto 32327-S establece un valor “ausente” para Coliformes Fecales y Escherichia. Coli.

Cuadro 7. Análisis microbiológico de nueve muestras.

Muestra #		Coliformes totales	NMP/100ml	Coliformes fecales	NMP/100ml	E.Coli	NMP/100ml
1	+	5 5 4	1600	5 4 1	170	0 0 0	<1,8
2	+	3 2 0	14	2 0 0	4,5	0 0 0	<1,8
3							
4							
5	+		79		49		11
6	+		33		<1,8		<1,8
7	+		>1600		350		33
8(clorada)	+	5 T	>8,0	5 T	>8,0	1 T	1,1
9(clorada)							

Ocho muestras están contaminadas microbiológicamente, debido a aspectos como los siguientes: ningún pozo está protegido del acceso de animales domésticos o roedores, en la muestra 8 el pozo está ubicado en un hueco de 3 metros de profundidad cubierto por materia vegetal y sin radio de protección, inundado de barro o lodo, el tanque de almacenamiento se encuentra totalmente abierto susceptible a contaminarse con heces de

pájaros. Existe una quebrada a 8 m del pozo, donde eventualmente son depositados excrementos de animales cuando el biodigestor no funciona, arrastra el agua pluvial y otras sustancias de uso doméstico.

Desde el punto de vista sanitario, la contaminación por coliformes fecales depende de la manipulación de los tanques de almacenamiento, algunos los mantienen abiertos, en lugar de tapas los cubren con plástico negro y así los dejan permanentemente. Se comprobó que aún en tanques de almacenamiento con tapa, al destaparse habían ranas pequeñas, grillos, mariposas y palomillas muertas que entraron por algún agujero, lo cual significa, los tanques no son lo suficientemente herméticos para impedir el acceso de insectos.

La presencia de *Escherichia Coli* en el agua puede deberse a que en la mayoría de viviendas visitadas, los tanques sépticos están aproximadamente a 10 metros de distancia de la fuente de abastecimiento de agua potable, lo recomendable es que debe establecerse un radio de 30 metros aproximadamente de retiro de un pozo de agua potable al pozo séptico. Si un tanque séptico funciona adecuadamente no debería contaminar mantos acuíferos, sin embargo en los hogares que han utilizado las alcantarillas para construir campos sépticos, se debe de recordar que entre alcantarilla y alcantarilla se forman grietas que si no están selladas totalmente, habrán aguas que se filtren fácilmente por el terreno.

Otra fuente de contaminación por bacterias, es cuando lavan los alimentos, el agua que utilizan se combina con sustancias que la tierra contiene y a su vez pudo haber estado contaminada por heces de animales, lixiviados, sedimentos, etc. Esas aguas como se descargan a las zanjas, se infiltran y pueden alcanzar el manto freático (alrededor de 50-70 cm) por lo tanto alcanzar la zona de saturación o agua subterránea. Básicamente es de esperar que si todas las aguas residuales (ducha, cocina, corral) están siendo vertidas sin tratamiento a las zonas verdes en los alrededores de las casas, ésta sea la fuente principal de contaminación microbiológica.

Es evidente con los resultados, y también la percepción analítica cuando se aplicó el cuestionario, que existe un enorme vacío en sistemas de tratamiento de aguas residuales en esta comunidad, ya que las aguas grises se vierten crudas a los patios, por consiguiente el

agua se estanca y se generan malos olores, lo cual se convierte en una amenaza a la salud de los habitantes como también daños irremediables en el manejo de suelos.

4.6 Método seleccionado: oxidación y filtración

La gran mayoría de métodos descritos en la revisión literaria, son desarrollados a una escala más grande que la de un pequeño sistema domiciliario. Desde el punto de vista económico no es rentable para una familia los métodos que impliquen el uso de químicos y tecnología muy sofisticada porque difícilmente los pueden adquirir.

Por las ventajas que representan los filtros, se determinó que sería la opción más apropiada para implementar en una vivienda, un filtro rápido ascendente en capas y el tratamiento Y filtro lento de arena, por varias razones, como disposición de los materiales, simple instalación, no se requiere mano de obra especializada, el consumo de electricidad es mínimo, costo de mantenimiento muy bajo, operación de limpieza muy sencilla y uso nulo de productos químicos.

4.7 Estimación de consumo de agua de abasto humano en nueve viviendas

Antes de diseñar el sistema casero, se tuvo que estimar los consumos de agua de 9 familias para obtener un promedio de cantidad de agua consumida por vivienda, anotando todas las actividades que impliquen el gasto de agua, pero considerando para el diseño del prototipo sólo aquellas para las que el sistema de filtración trabajaría. El propósito con esa actividad fue conocer si el diseño del sistema tendría la capacidad de cubrir los cinco usos domésticos planteados.

En el cuadro 8 se muestra el consumo promedio diario y mensual de las diferentes actividades de uso de agua que se obtuvieron de 9 viviendas de la Comunidad de Monte Rey.

Cuadro 8. Consumos de agua promedio para nueve actividades domésticas en nueve viviendas de la comunidad de Monte Rey.

Actividad	Promedio L/día	Promedio L/mes	L/persona/día
<i>Ducha</i>	177	5316	46
<i>Preparación de alimentos</i>	26	803	6
<i>Lavarse las manos</i>	13	403	3
<i>Lavarse los dientes</i>	5	172	1
<i>Consumo propio para ingesta</i>	3	116	1
<i>Servicio sanitario</i>	250	7500	62
<i>Lavar la ropa</i>	123	3688	40
<i>Lavar platos sucios de la cocina</i>	35	1050	9
<i>Limpieza de la vivienda</i>	23	692	5
TOTAL	655	19 740	173

El baño diario es una acción personal muy común para los habitantes de esta comunidad, debido a que el calor obliga a que las personas deban inclusive bañarse más de dos veces por día, además ensucian mucha ropa por el uso constante en el campo. La cantidad de miembros de la familia es un factor que incide en el gasto de agua, por ejemplo, en la vivienda 25 viven dos personas adultas, por lo tanto no se puede comparar con 4 miembros de la vivienda 11, en donde hay niños y adolescentes, los cuales usualmente tardan más tiempo bañándose.

La preparación de alimentos es una actividad de consumo de agua relativo, familias pequeñas (2 a 3 habitantes) no suelen cocinar en grandes cantidades y más bien consumen mínimo para no lavar tanto. Familias numerosas (más de 4 miembros) cocinan más alimentos, y por consiguiente lavan más platos. Generalmente en donde más requieren agua para cocinar es cuando cocinan frijoles y hacen arroz, algunas elaboran más comidas líquidas que otros como sopas.

Lavarse las manos representa una actividad más habitual que lavarse los dientes, en cuanto son muchas las causas por las cuales en el campo se lavan constantemente las manos, por ejemplo, después de trabajar en el campo, después de alimentar a los animales, fumigar, trabajar con madera, antes y después de manipular alimentos, las mujeres sobretodo cuando

cambian a niños pequeños, durante la limpieza del hogar cuando están en contacto con superficies sucias, etc.

En promedio una familia de cuatro miembros en la comunidad de Monte Rey consume 658 L/día, este gasto de agua está en las siguientes actividades: lavar la ropa, lavarse los dientes, lavarse las manos, preparar alimentos, lavar platos de la cocina, limpieza en general de la vivienda, bañarse, servicio sanitario y consumo propio para ingesta. Consultando en ASADAs cercanas a la comunidad, normalmente una familia demanda 500 L/día.

Con base en el reglamento (Manual Técnico del Departamento de Aguas del MINAE), la dotación uso doméstico poblacional en zonas rurales se encuentra en 200 litros/día/persona y en zonas urbanas 300 litros/día/persona (Gaceta, 2004). En el caso de Monte Rey la dotación de agua diaria puede variar considerablemente dependiendo de las actividades en las que las familias requieran agua, pero por ser un sector agropecuario y donde no pagan un recibo de agua, el gasto de agua incrementa por el cuidado de animales, lavado de corrales, chiqueros, elaboración de quesos, etc.

Un estudio “Huella de Agua” publicado en el 2012, el cual evaluó el consumo a nivel mundial, apunta a que los costarricenses gastan hasta un 8 % más de agua que el promedio en el mundo (Rojas, 2014).

El proyecto sólo toma en cuenta cinco actividades : lavarse los dientes, lavarse las manos, preparar alimentos, ducharse y consumo propio para ingesta. Se decidió que fuera así por los problemas que se venían presentando en la comunidad cuando al consumir agua para estas acciones, se notaba que el olor a herrumbre quedaba en los alimentos, en las manos y al bañarse, y además de mal gusto para tomar.

El cuadro 9 muestra el consumo diario por persona y por familia en aquellas actividades a las que se destinará el agua tratada del sistema.

Cuadro 9. Volumen diario requerido por habitante en la comunidad de Monte Rey.

<i>Litros/día/persona</i>									
Lavarse los dientes	Bañarse	Ingesta	preparar alimentos	lavarse las manos	Total per capita	Miembros	Total por familia L/día	Total L/mes	Total m3/mes
1,43	46	1	6,69	3,44	59	4	226	6785	6,78

Para el proyecto, como el prototipo fue diseñado sólo para suplir 5 necesidades de uso de agua en una familia, se estima una demanda de 226 litros de agua por día, lo que equivale a 58,6 litros/día/persona que cubriría el tratamiento instalado.

4.8 Establecer los criterios de diseño del prototipo

Los resultados que se presentan en los cuadros 10 y 11 se calcularon con base en las fórmulas planteadas en la metodología y sus cálculos se encuentran en el apéndice 5.

El caudal de diseño se generó del promedio de las cinco actividades para las cuales el prototipo abastecería de agua potable para 4 personas en promedio por familia.

Cuadro 10. Parámetros de diseño del sistema de tratamiento casero

Caudal de diseño(L/día)	Caudal de diseño(m3/h)	Consumo per cápita(L/hab.día)	Velocidad de filtración (m/h) *	
226	0,0094	59	Filtro rápido	0,3-0,6
			Filtro lento	0,1-0,2

*Fuente: (OPS & CEPIS, 2005)

El área superficial de filtración es inversamente proporcional a la velocidad de filtración, así si en el filtro lento la velocidad calculada fue de 0,15 m/h y en el filtro rápido de 0,4 m/h, el área de filtración es mayor en el filtro lento como se observa en el cuadro 11. Para los volúmenes de los materiales fue necesario emplear la relación de vacíos de cada uno, y la relación de vacíos es un dato teórico y se refiere a la porosidad es decir al área de paso del flujo dentro de un lecho filtrante.

Cuadro 11. Características hidráulicas del sistema de tratamiento casero

Filtro	Área de contacto del filtro (m ²)	Área superficial de filtración (m ²)	Volumen del filtro (m ³)	Volumen de la piedra (m ³)	Volumen de la arena (m ³)	Volumen antracita (m ³)	Tiempo de retención teórico (horas)	Pérdida de carga total (m)
Rápido	0,024	0,023	0,023	0,056	0,046	0,013	2,5	0,403
Lento	0,065	0,062	0,062	0,042	0,077		6,65	0,322

Fuente: Datos de cálculos del apéndice 4

El tiempo de retención puede ser entendido en la práctica si se hace uso de sustancias trazadoras que determinen el tiempo de residencia del flujo, desde que entra hasta que sale del sistema. Obsérvese en el cuadro 10, que es mayor el tiempo de retención en el filtro lento que en el rápido debido que el filtro lento tiene más grosor de capa de arena fina que el rápido y por tanto los poros pequeños de la arena fina causan mayor resistencia al flujo, o sea menor permeabilidad.

Al pasar un fluido Q a través de un lecho filtrante granular de profundidad L, la fricción que el fluido sufre al atravesar los poros produce una pérdida de carga h que es traducida en una altura específica. La pérdida de carga total se refiere a la sumatoria de las pérdidas de carga de cada capa del filtro. La pérdida de carga aumenta más rápidamente debido a una menor capacidad de almacenaje de partículas en los poros y si eso sucede habría que limpiar el filtro.

4.9 Descripción del diseño del sistema de oxidación y filtración en parcela 8

Se tomó la decisión de escoger un método de oxidación y filtración por tres razones muy importantes: las características del agua en general reflejan que los parámetros más críticos son: hierro, turbiedad, color y coliformes fecales. Por lo anterior, se pensó en un diseño de una prefiltración para no colmatar el filtro lento de arena. La segunda razón es que el prototipo está fabricado con materiales que se pueden conseguir localmente y fáciles de transportar hasta el sitio. La tercera razón es porque no implica el uso de sustancias químicas, las cuales al ser desechadas del proceso no tienen una disposición final adecuada por cuanto no existe en la comunidad una planta de tratamiento de aguas residuales y ni siquiera cerca del poblado.

Como punto de partida, es conveniente saber que en la vivienda seleccionada antes de fabricar el prototipo había un tanque azul de almacenamiento marca “aguaplas” (10 años de antigüedad), tal como se observa en la figura 22, una tubería externa de conducción de agua conectada a él y el pozo debajo de las latas de zinc. Más adelante, el tanque se mantiene en la misma posición, pero como parte del proyecto se colocan cuatro estañones más sobre una tarima metálica.

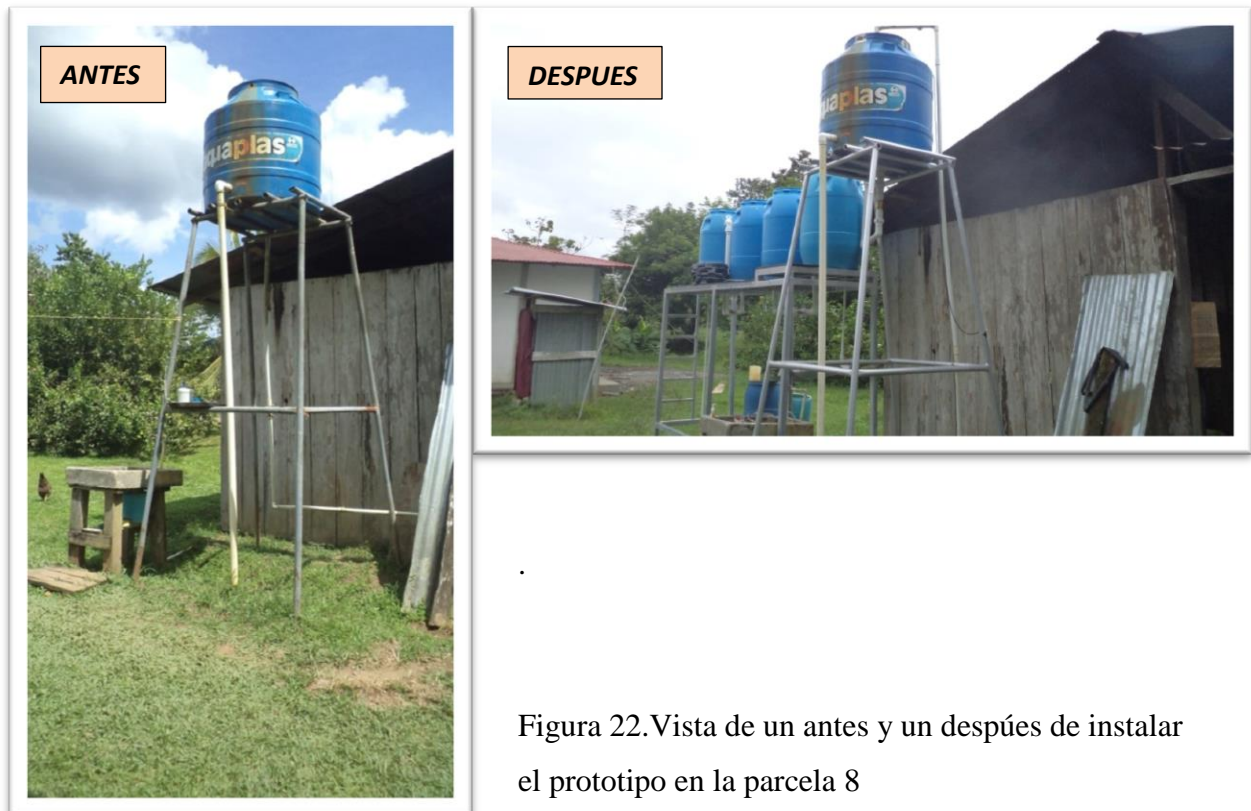


Figura 22. Vista de un antes y un después de instalar el prototipo en la parcela 8

El prototipo casero (figura 23) se diseña para una familia de cuatro miembros y está compuesto por las siguientes etapas:

- Tanque 1 (aireación)
- Tanque 2: Sedimentador
- Tanque 3: Filtración rápida de flujo ascendente
- Tanque 4: Filtración lenta de arena
- Tanque 5: Almacenamiento agua filtrada



Figura 23. Diseño de sistema de tratamiento para remover hierro a nivel domiciliar.

A partir de la imagen anterior, las unidades del sistema y sus características se expresan en los siguientes párrafos. El tubo de desfogue que aparece en la foto, es un tubo que se instaló por dos razones: para vaciar los tanques #2 y #5 cuando se requiera limpieza por dentro y para tomar muestras de agua para los estudios de calidad del agua.

El tanque 1 sufrió una modificación importante, tal como se observa en la figura 24, la cual consiste en un sistema de aireación en forma de rectángulo, con orificios de 5mm que atraviesan el tubo de PVC y una unión de tope que permite separarlo del tubo primario al que está sujeto.



Figura 24. Dispositivo de aireación dentro del tanque#1.

Dicho dispositivo actúa cuando la bomba acciona y es entonces que el goteo es constante hasta llegar un punto en que el nivel de agua alcanza un poco mas arriba de la estructura. La bomba acciona unas 6 veces al día en promedio y dura aproximadamente diez minutos encendida. Retomando lo manifestado en la literatura, la aireación permite oxidar el hierro y el manganeso, aumentar la concentración de oxígeno disuelto y remover compuestos orgánicos volátiles (COV).

La estructura creada para aireación se une atravesando la tapa (figura 25) por medio de una unión de tope en caso de ser necesario quitar la tapa negra para limpiar el tanque por dentro.



Figura 25. Vista superior tanque #1

El tanque #2 se compone de una boya manual como en la figura 26, que controla el nivel de flujo para las subsiguientes unidades de tratamiento. Es un tanque de reserva como previa etapa al tratamiento, es útil en casos de emergencia u evento de limpieza total de los dos filtros, ya que el abastecimiento de agua no se verá interrumpido. En otras palabras, la familia tendrá agua suficiente si prevalecen problemas en los filtros, porque tienen la opción de desviar el agua del tanque #1 a la casa, solamente que no sería agua filtrada, ó bien pueden recoger agua del último tanque el día anterior cuando tengan planeado una limpieza profunda del sistema de filtración.



Figura 26.Boya corriente en el tanque #2.

Ahora bien, las unidades más importantes son los tanques #3 y #4, corresponden al filtro rápido de flujo ascendente y el filtro lento de flujo descendente respectivamente. El tanque #5 es de almacenamiento del agua tratada, el agua filtrada en este tanque ha pasado por todo un proceso físico y biológico.

En el tanque #3 (figura 27) la altura del filtro comprende 80 cm de lecho filtrante y 20 cm de agua sobrenadante, en total 6 medios filtrantes.

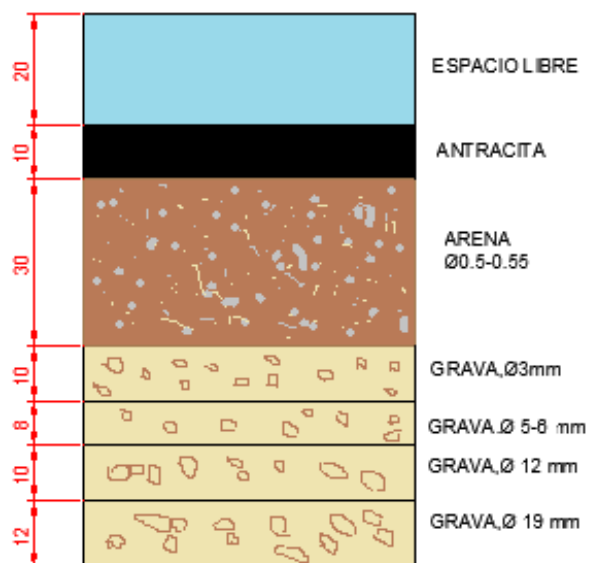


Figura 27. Filtro rápido de flujo ascendente en el tanque #3.

Cuadro 12. Características de los medios filtrantes del filtro rápido de flujo ascendente.

Medio	Grosor de capa(cm)	Tamaño del medio filtrante (mm)	Volumen m ³	Volumen total (m ³)
<i>Grava</i>	12	19	0,017	
<i>Grava</i>	10	12	0,014	0,056
<i>Grava</i>	8	5	0,011	
<i>Grava</i>	10	3	0,014	
<i>Arena</i>	30	0,5	0,046	0,046
<i>Antracita</i>	10		0,013	0,013
				0,115

En el apéndice 4 se presentan los cálculos para obtener los volúmenes para cada uno de los materiales.

En el filtro rápido se introdujo un tubo de media pulgada, se puede observar en la figura 28, como guía con las alturas de capa antes de colocar el material y a la vez se utiliza para saber el nivel de agua.



Figura 28. Tubo de pvc introducido en el tanque #3.

En el tanque #4 (figura 29) la altura del filtro comprende 80 cm de lecho filtrante y 20 cm de agua sobrenadante, en total 5 medios filtrantes.

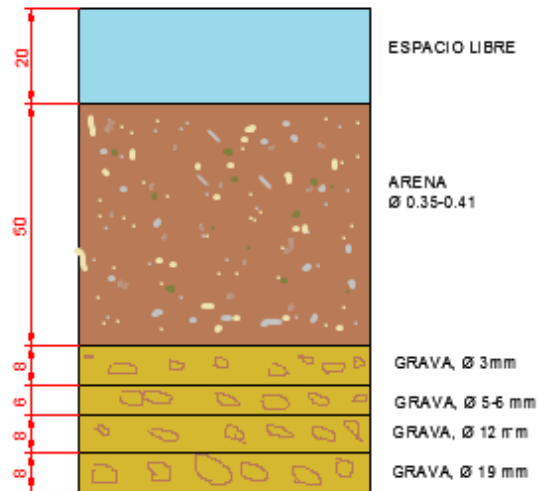


Figura 29. Filtro lento de flujo descendente en el tanque # 4.

Cuadro13. Características de los medios filtrantes del filtro lento de flujo descendente

Medio	Grosor de capa(cm)	Tamaño del medio filtrante (mm)	Volumen m ³	Volumen total (m ³)
Grava	8	19	0,011	
Grava	8	12	0,011	
Grava	6	5	0,008	0,041
Grava	8	3	0,011	
Arena	50	0,35	0,078	0,078
				0,119

En el apéndice 4 se presentan los cálculos para obtener los volúmenes por cada uno de los materiales.

La “t” que se aprecia en la figura 30 se instaló con el fin de evitar golpes de agua directa hacia la capa superior (arena), de esta forma el agua de entrada llega en forma de goteo y no maltrata el material.



Figura 30. Filtro lento de arena con dispositivo difusor de agua.

Por otro lado, se introdujo un sistema de drenaje de agua filtrada en forma de “espina de pescado”, tal como lo muestra la figura 31, con orificios laterales (5 mm de diámetro) y ajustado en el fondo del tanque para lograr una distribución uniforme del agua ya pasada por todas las capas filtrantes para dirigirse al tanque #5.



Figura 31. Drenaje de agua filtrada en el tanque #4.

El agua tratada o filtrada cae en el último tanque (tanque #5), la tubería se conecta desde el tanque # 4 por abajo y se dirige hacia arriba de manera que el líquido cae por gravedad (figura 32). Se le adaptó una unión de tope, para que en casos de limpieza se pudiera separar sin ningún problema el tanque #5.



Figura 32. Tubería de entrada de agua filtrada al tanque #5.

La entrada del tanque #5 consiste en un tubo de pvc de pulgada y media (figura 33) y el flujo de agua que ingresa es moderado, es decir no completa la totalidad del diámetro del tubo.



Figura 33. Entrada de agua filtrada en tanque #5

4.10 Costo total del proyecto

La instalación del prototipo casero para evaluar la factibilidad de remover hierro conlleva una inversión en mano de obra, materiales, personal para el análisis de muestras, entre otros componentes. La fabricación e instalación del prototipo tuvo un costo real total de ¢1.603973,29 tomado en cuenta alimentación, combustible y salario del personal de las diferentes instituciones que colaboraron para que este proyecto se realizara exitosamente (apéndice 5). No obstante se ha propuesto un presupuesto base para una familia que desee instalar un prototipo como el descrito en el proyecto, sujeto a cambios por la compra de materiales de menor costo.

Adicionalmente, se presenta en el apéndice 6 otros componentes a considerar.

Cuadro 14. Costo del proyecto para una familia de zona rural o urbana.

Rubro	Monto ¢	Monto \$
<i>Compra de materiales y accesorios</i>	665 153	1317
<i>Servicios técnicos (operario)</i>	125 000	247
<i>Asistencia técnica específica (2 muestreos) *</i>	146 200	289
<i>Refrendo Colegio de Químicos **</i>	5000	10
<i>Kilometraje</i>	133 000	263
<i>Subtotal</i>	1 074353	2127
<i>Imprevistos (5%)</i>	53 717	106
<i>Póliza del INS</i>	10 000	20
<i>Costo total</i>	1 138070	2253

Tipo de cambio 504,88 actualizado al 15 diciembre 2013. Fuente: Banco Central de Costa Rica

*Haciendo referencia al anexo 8 menos el costo de dureza total y como son dos análisis(diagnóstico y evaluación final).

**Refrendo Colegio de Químicos equivale a 2500 por trámite

Como se puede observar a partir de los costos del sistema, la inversión que se debe realizar para instalar un sistema de filtración casero es poco menos de millón y medio de colones. De todos estos costos, los mayores son: compra de materiales, asistencia técnica y transporte. El primer rubro toma en cuenta la compra de materiales filtrantes y los estañones. La asistencia técnica específica se refiere a los costos por análisis de muestras que se debe hacer previo a la construcción de la obra. El laboratorio CEQIATEC elaboró una cotización (anexo 8), suponiendo que va dirigida a un cliente de una comunidad en cualquier región del país.

En el transporte se consideró un viaje para muestreo preliminar y un viaje por muestreo de evaluación de calidad. Cada viaje cuesta ¢66 200 (ida y vuelta de San José a Monte Rey, cotizado por unidad de transportes ITCR).

Los imprevistos pueden surgir, ya sea por concepto de modificaciones y reparaciones del sistema, cambio de tuberías viejas, reemplazo de un tanque, pago de transporte (taxi), entre otros.

4.11 Evaluación y monitoreo del sistema instalado

Con la construcción del prototipo se pensó en aprovechar el modelo para realizar pruebas de calidad de agua sólo en la entrada y salida del prototipo, esto como un diagnóstico muy general del agua después de pasar por todo un proceso físico-biológico, también se tomaron algunas observaciones y ensayos muy cortos con el fin de experimentar parcialmente cómo funcionan los filtros caseros, sin embargo el objetivo no fue evaluar cada uno de los elementos del sistema.

4.11.1 Análisis de calidad de agua afluente y efluente del prototipo instalado

El agua cruda, se obtuvo del tanque #2 y el agua tratada, se obtuvo del tanque #5.

Cuadro 15. Resultados de los parámetros analizados en el afluente y efluente del sistema.

Análisis	No filtrada	Filtrada	% eficiencia de remoción	Legislación (Decreto 32327) Valor máximo
<i>Turbiedad (UNT)</i>	48,2±0,63	16,4±0,17	66%	5
<i>Conductividad (µs/cm)</i>	219±1	210±1		400(VR)*
<i>Temperatura (°C)</i>	28,0±0,15	30,3±0,09		30
<i>Color aparente mg/L(U-Pt-Co)</i>	313±22,5	53,3±8,16	83%	15
<i>pH</i>	6,82±0,05	6,92±0,05		8,5

<i>Oxígeno disuelto (mg/L)</i>	6,87±0,16	5,45±0,11		NA
<i>Sólidos totales (mg/L)</i>	185±3	165±3		NA
<i>Sólidos suspendidos (mg/L)</i>	<10	<10		NA
<i>Hierro (mg/L)</i>	1,35±0,15	0,39±0,15	71%	0,3
<i>Manganeso (mg/L)</i>	0,17±0,01	0,16±0,01	6%	0,5
<i>Coliformes totales NMP/100 ml</i>	<1,8	<1,8		Ausente
<i>Coliformes fecales NMP/100 ml</i>	<1,8	<1,8		Ausente
<i>E. Coli NMP/100 ml</i>	<1,8	<1,8		Ausente

*VR=valor recomendado. Datos suministrados por el CEQIATEC

Los resultados muestran que antes del tratamiento, el agua mantuvo valores por encima de lo que indica la legislación para los siguientes parámetros: turbiedad, color aparente, hierro. Aún sin filtrar, demostró ser un agua apta para consumo para los siguientes indicadores: conductividad, temperatura, pH, manganeso, coliformes fecales y E. Coli.

Posterior al tratamiento, los parámetros aún no de acuerdo con el reglamento fueron: turbiedad, temperatura, color aparente y hierro. Los indicadores variaron muy poco con respecto al agua cruda pero fueron inferiores con respecto al valor máximo establecido en el reglamento, éstos fueron: conductividad, pH, manganeso, coliformes fecales y E.Coli.

A partir de lo anterior, se puede inferir que el sistema instalado para el propósito para el cual fue fabricado (remoción de hierro en un 71%) si es eficiente, sin embargo es evidente que el valor alcanzado (0,39 mg/L) es un poco mayor que el valor establecido en el Decreto 32327-S (0,3 mg/L). No significa que el agua producida no esté de acuerdo con la norma, más bien cumplió las expectativas del objetivo general, pero la maduración del sistema en el momento de su evaluación fue insuficiente para garantizar un funcionamiento óptimo del sistema.

Para los otros indicadores de calidad como turbiedad y color aparente todavía deben de reducirse para garantizar la potabilización del agua.

La solubilidad del oxígeno en el agua depende de la temperatura de ésta, la presión parcial de oxígeno en la atmósfera y el contenido de sales en el agua. Si en el agua están ocurriendo procesos consumidores de oxígeno disuelto puede acercarse rápidamente a cero, a menos que exista un mecanismo eficaz que añada oxígeno en el agua, y esto es necesariamente lo que sucedió en el tanque 2, el tubo de entrada de agua provoca un goteo constante para que llene el tanque.

El oxígeno disuelto disminuyó en el último tanque debido a que el agua hace un recorrido desde un área que está siendo usurpada por microorganismos y bacterias, ellos necesitan consumir oxígeno para respirar y descomponer materia orgánica, por lo tanto han agotado el oxígeno necesario.

Las razones por las cuales el sistema realizó un buen desempeño en la remoción de hierro se debe principalmente a que la filtración por si sola es el resultado de dos mecanismos importantes: el transporte y la adherencia. Las partículas por remover (óxidos de hierro en su estado insoluble) son transportadas a la superficie de los granos del medio filtrante, permanecen adheridas a los granos siempre y cuando resistan las fuerzas del flujo que escurre pero también pueden adherirse a las partículas previamente retenidas.

Se comprobó que si existen microorganismos filamentosos en el agua cruda que alimenta al tanque 2, sin embargo no fue posible identificar las bacterias presentes ya que este análisis es costoso y requiere personal especializado. Las hay de diferentes géneros: Gallionella, Sphaerotilus-Leptothrix, pero básicamente estas poblaciones microbianas crecen en ambientes con ph de 6,5 a 9. Los hechos que manifiestan la actividad de estos organismos se percibe por la corrosión en tuberías, color amarillo del agua, olor y mal sabor del agua.

Después de un mes y medio de funcionamiento del sistema implementado, se observó en el fondo del tanque #1 sedimentos adheridos a las paredes de color café claro que de nos ser por que se agite el agua no se podría tomar una muestra de ese sedimento. Una de las muchas características de las bacterias de hierro es que sus vainas agrupan unas células que extraen su energía de la oxidación de Fe^{2+} a Fe^{3+} haciendo que desprendan un polisacárido gelatinoso. Relacionando este hallazgo teórico con el material encontrado en el tanque al que se le aplicó la limpieza se garantiza la presencia de estas bacterias en ambientes

naturales, lo cual refleja que la oxidación está llevándose a cabo de la mejor manera para permitir que las paredes celulares de ellas se revistan y acumulen complejos insolubles de hierro. Las bacterias en el microscopio se observaron con filamentos café claro, su forma es cilíndrica y con muchos pelitos en el contorno.

De acuerdo al Reglamento para la Calidad de Agua Potable, Decreto #32327-S y con base en los resultados reportados por el CEQIATEC en el anexo 9, ambas muestras se consideran de calidad potable. Aunque no se hayan medido los parámetros de calidad microbiológica en los filtros instalados (tanque 3 y tanque 4), la calidad de agua al final del sistema es un buen indicador de la productividad cualitativa del sistema. Por otro lado, como lo señala Cortés (2003), se considera que niveles bajos de coliformes fecales son buenos indicadores de ausencia de organismos patógenos.

4.11.2 Mediciones de caudales en el sistema instalado

4.11.2.1 Prueba 1:

Se presenta en la figura 34, los valores de caudal correspondientes a los días Viernes durante el periodo de estudio.

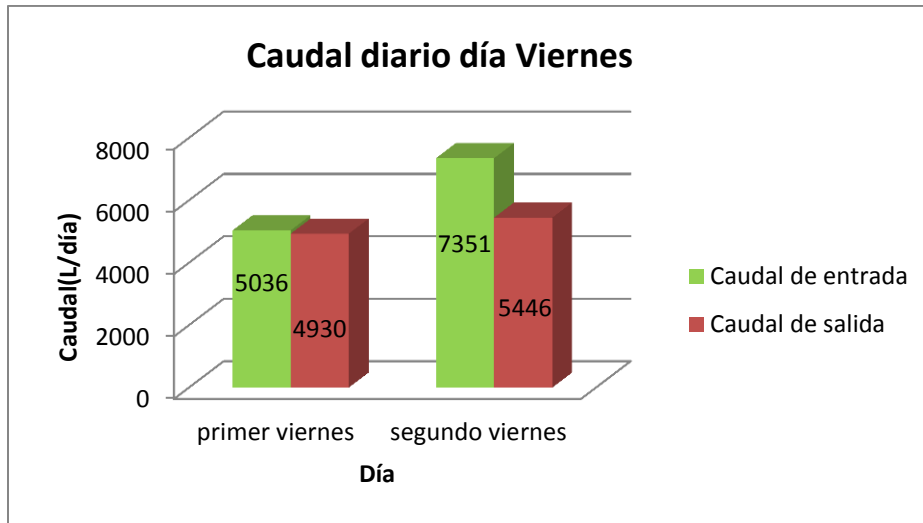


Figura 34. Caudal diario en el sistema para la prueba 1

Lo que sucedió el segundo viernes es que el caudal de entrada era mayor que el caudal de salida (258 L/h y 216 L/h respectivamente) y esto puede deberse a que la presión de agua que ejerce el tanque 1 al tanque 2 es muy grande porque en ese momento el tanque estaba llenando.

El caudal pico en la entrada los primeros viernes es a las 11:33 am (hora de almuerzo), los segundos viernes es alrededor de las 9 am. Se comprobó que los consumos después de medio día tienden a bajar y a las 3:30 pm cuando se sirve el café el caudal aumenta en menor grado. No fue necesario medir después de las 4:00 pm porque el consumo es mínimo, y la única comida que se sirve después de esa hora es la cena a las 7:00 pm.

El caudal pico a la salida del sistema varió, el primer viernes ocurrió antes de las 11:00 am, hora en que se calculó la preparación los alimentos para el almuerzo, pero el segundo viernes ese caudal se dio en la tarde, alrededor de las 3:30 pm, lo que sucedió es que el primer viernes fue un día normal de trabajo en el hogar, no obstante el segundo viernes, transcurrió un acontecimiento inesperado (un accidente) lo que alteró el uso de agua, ya que la señora tuvo que ser trasladada al hospital y por eso no hubo un consumo constante de agua durante 8 horas.

4.11.2.2 Prueba 2:

Se realiza un análisis individual y se presenta gráficamente los valores de dos domingos, tal como se aprecia en la figura 35.

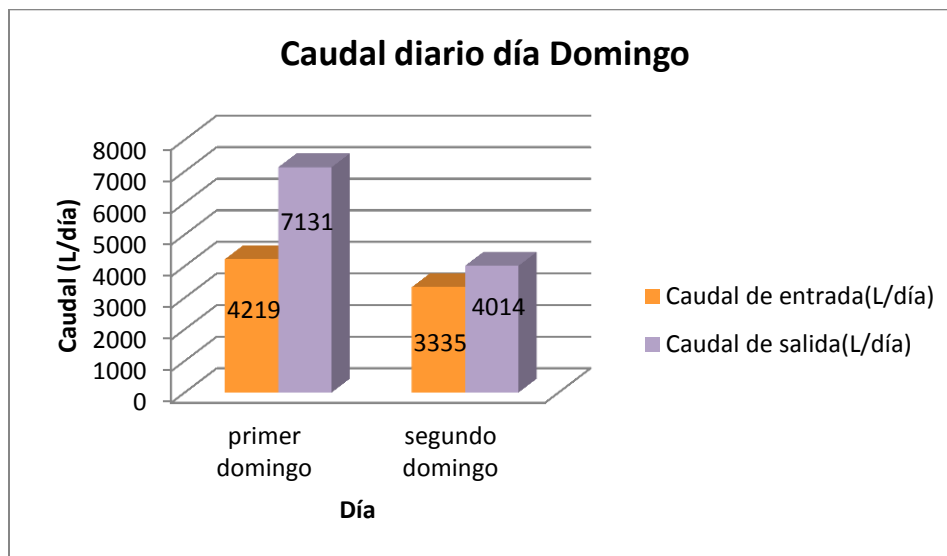


Figura 35. Caudal diario en el sistema para la prueba 2.

Los días domingos los caudales (L/h) experimentaron un comportamiento diferente que los días viernes, es decir, los domingos el caudal promedio de entrada es menor que el caudal promedio de salida: 157,5 L/h y 232 L/h respectivamente. Los domingos, al igual que los viernes transcurren normalmente en la vivienda de “Don Gregorio”, sin embargo los domingos invierten más tiempo en el lavado de ropa y utensilios de cocina. En forma general la familia no acostumbra a recibir visitas y rara vez llega alguien a dormir.

El caudal pico el primer día domingo a la salida se dió a las 11:08 am, en la segunda ocasión fue en la mañana a las 7:28 am y ese día lavaron ropa durante un periodo de 2 horas.

Con base en los resultados de las dos gráficas, en promedio al sistema le ingresan 4985 L/día, esto equivale aproximadamente a 207 L/h, y a la salida se producen 5380 L/día.

Fijando un caudal de 3,74 L/min para el uso final del sistema de filtración construido, se obtendría en promedio 224 L/h, generando así un volumen significativo y suficiente para cubrir las necesidades propuestas por el sistema.

Para sintetizar la información de los cuatro días de mediciones (dos viernes y dos domingos), se obtuvo un promedio los días viernes en la entrada y salida, al igual para los días domingos. El cuadro 16 incluye los promedios obtenidos.

Cuadro 16. Resumen de caudales promedio y desviaciones estándar en la entrada y salida del sistema .

Tanque	Día	Caudal (L/h)	Caudal (L/día)	Desvesta (L/h)	Desvesta (L/día)
<i>Entrada</i>	Viernes	258	6194	156	3738
	Domingo	157	3777	64,7	1554
<i>Salida</i>	Viernes	216	5188	87,2	87,2
	Domingo	232	5572	92,7	2223

En general se puede observar, con respecto al funcionamiento del sistema: los días viernes al sistema le ingresa más agua que a la salida, pero en cambio los días domingos ocurre lo contrario, el sistema genera más agua que la que le ingresa. Este comportamiento no significa que necesariamente debe cumplirse así para los fines de semana, ya que no se tiene un historial de caudales medidos durante toda la semana durante un mes para asegurar una tendencia, sin embargo lo que es un hecho es que independientemente sea viernes o domingo el sistema no sigue una conducta similar durante las horas de consumo de agua.

Las lecturas de la entrada y salida los días viernes y domingos se comportan muy diferente entre sí. Lo que sucede es que la demanda de agua en la vivienda no es lo suficientemente grande como para presionar al sistema a entregar agua, y por supuesto afecta el hecho de que en las horas en que se supone debería haber un caudal pico como en hora de desayuno (6:30 am-8:30 am) y almuerzo (11:00-1:00 pm) no es notable ya que la familia tiene por costumbre no desperdiciar agua, recogiendo en un balde agua para preparar alimentos y lavar trastos y cuando se encuentran haciendo esas actividades, el sistema está en reposo y no entrega agua hasta que nuevamente vulvan a abrir la llave de la cocina para llenar el

balde y así sucesivamente, a excepción cuando se bañan que si abren directamente la llave de la ducha.

El propósito de medir caudales fue saber en la medida posible, si el caudal de salida tiende a disminuir, y si ocurre es porque han aumentado las pérdidas de carga en ambos filtros, y por tanto es un indicador de que el sistema necesita una limpieza y mantenimiento inmediato. Por eso es importante el monitoreo constante de los caudales en al entrada y salida del sistema para evitar que el sistema falle.

La actividad permitió ensayar con el prototipo los volúmenes de agua para el funcionamiento apropiado del sistema y también comparar con el diseño si en la realidad puede satisfacer la demanda de agua de 226 L/día definidos para cinco usos domésticos.

4.11.3 Monitoreo del sistema instalado

El motivo principal del monitoreo fue un análisis exploratorio y descriptivo de los eventos más importantes ocurridos desde el día en que se finalizó la construcción del prototipo, por ejemplo se observaron las condiciones de las arenas superficiales en ambos filtros, el funcionamiento de todos los componentes del sistema y en general toda evidencia que delate el correcto o incorrecto desempeño del sistema de filtración domiciliar.

Se empleó una manta blanca y una maya para atrapar el material flotante en el agua del tanque #2 (figura 36). Tal como se observa estas partículas adheridas son de color anaranjado (las hay pequeñas y grandes), no tienen olor, quedan impregnadas en la ropa pero se si pueden quitar con agua y jabón. La conclusión sobre estas observaciones es que son coloides de hierro acumulados en el tanque 2 cuando éste se agita.

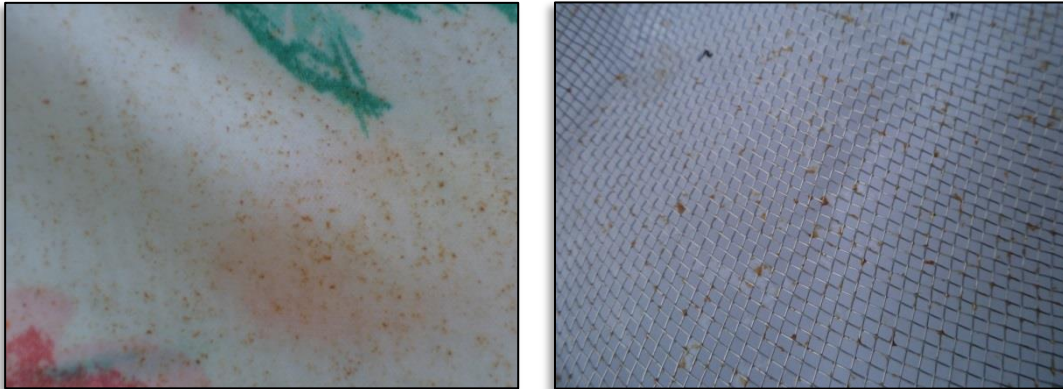


Figura 36. Tipo de sedimento color anaranjado que se forma en el tanque #2

A simple vista se observa el aspecto físico del agua que proviene del tanque de entrada y el tanque de salida en la figura 37.



Figura 37. Comparación agua cruda (izquierda) y agua tratada (derecha)

Al mes de instalado el dispositivo aireador de agua cruda en el tanque #1 (figura 38) aparece en la tubería manchas color anaranjado que resaltan más alrededor de los huecos, lo cual significa que la aireación es insuficiente para eliminar totalmente el hierro insoluble que se queda impregnado en los accesorios de PVC.

La calibración se dificultó por el uso del trazador, se probaron diferentes sustancias como leche y remolacha pero la más efectiva fue el sirope rojo (figura 39). El tiempo de retención

en el filtro rápido resultó muy similar al teórico, en la práctica resultó 2 horas mientras en la teoría 2,5 horas. Por otro lado, el tiempo de retención práctico del filtro lento (2,5 horas) difiere mucho de lo que señala el teórico (6,5 horas).



Figura 38. Dispositivo de aireación corroído



Figura 39. Calibración del tanque #2

Todas las observaciones que se realizaron en el tanque #3 se constató que el nivel de agua no varió con el tiempo, se nota una mejora en la calidad de agua (figura 40).



Figura 40. Nivel de agua normal en tanque #3

El tanque #1 tenía cuatro meses de no efectuarse una limpieza y como puede observarse en la figura 41 se había acumulado tanto sedimento de color café en el fondo del tanque que

no dejaba ver el fondo del mismo, dicho de otra forma son bacterias de hierro conocidas popularmente como bacterias ferrobacillus ferrooxidans capaces de oxidar el hierro a óxidos o hidróxidos.

En revisiones acerca de las bacterias del hierro (*Gallionella* y *Leptothrix*), se encontraron reportes de crecimiento de estas bacterias en aguas estáticas con niveles de hierro entre 1,6 y 12 mgL⁻¹, ph óptimo para el crecimiento de estas bacterias está entre 6,5 y 8, también existen bacterias oxidadoras de este metal que prosperan en las interfaces de las zonas anóxicas y óxicas, oxidando el Fe²⁺ que proviene de las zonas anaerobias antes de su oxidación espontánea. (Arango et al, 2010)



Figura 41. Sedimento formado en tanque #1

El tanque #5 se debe de lavar con una escoba y agua , al final se agregó una copita de cloro, en la figura 42 aparece la hija de Don Gregorio limpiando el último tanque.



Figura 42. Un día de limpieza del tanque #5

La muestra se trasladó al laboratorio de microbiología (CEQIATEC) y se observó en el microscopio las poblaciones bacterianas presentes. Se utilizó un microscopio óptico y lo que se miró a través de este fueron estructuras filamentosas, en modo contraste se observó un punto oscuro ubicado en el centro de una mancha color café, y finalmente se optó por aplicar “gram”, una vez fijado en el lente del microscopio, aparecieron unas hebras de color morado (filamentosas) con puntitos color púrpura cubriendo su cuerpo. Con todo este análisis previo se determinó que si existe un crecimiento acelerado de bacterias de hierro en el tanque #1, pero no se lograron identificar debido a que no es parte del alcance de este proyecto detectar las bacterias asociadas a la oxidación de este metal y además el equipo utilizado para este fin no está disponible en el laboratorio CEQIATEC.

Es importante aclarar que todas las actividades que comprendieron la evaluación final del prototipo y estudios hidráulicos que no se ejecutaron, deben ser evaluados por más tiempo y que el prototipo sólo fue un modelo de experimentación que se decidió llevar a la práctica para comprobar la remoción de hierro en agua para el abastecimiento humano como primera iniciativa en fincas integrales.

5. CONCLUSIONES

Los pozos al ser poco profundos y no estar revestidos son susceptibles a la contaminación por aguas residuales superficiales.

Las alteraciones organolépticas del agua como olor, color, sabor y turbiedad provocan un rechazo por parte de los habitantes, sin embargo se debe en parte a la ausencia de limpieza de los tanques de almacenamiento y tuberías de distribución.

En la comunidad de Monte Rey el contenido de hierro en el agua no es considerado un riesgo para la salud de las personas como lo manifiesta la instancia respectiva (EBAIS “La Esperanza”), no obstante genera un impacto visual y disgusto colectivo.

Las nueve muestras no detectan plaguicidas y microbiológicamente el 88,8% de las muestras analizadas contienen contaminación fecal.

La parcela número 9 (muestra 8) incumple casi todas las pruebas de calidad analizadas, todo parece indicar, que se debe a malas costumbres y poco interés de los dueños de la parcela en cuidar el recurso hídrico.

Se selecciona el método oxidación y filtración por su eficiencia en la remoción de Fe por medio de procesos físico-químicos y biológicos.

El costo real del prototipo instalado es de ₡1 603973, el aporte del beneficiario es su mano de obra, APOC aportó ₡701 984 ; FOSDE ₡504 589 ; ACTo ₡195 000 ; ITCR ₡202 400. El tipo de cambio del dolar según Banco Central de Costa Rica del 15 de diciembre 2013 fue de ₡504,88

El costo del prototipo para una familia que desee fabricarlo es alrededor de ₡1 138070. El tipo de cambio del dolar según Banco Central de Costa Rica del 15 de diciembre 2013 fue de ₡504,88 .

Los análisis realizados durante la evaluación final indican la buena calidad microbiológica que tiene el agua luego de ser filtrada.

El prototipo construido muestra una eficiencia de remoción de hierro de un 71%, durante la primera semana de operación, esto implica la factibilidad de remover hierro soluble en el agua para uso y consumo humano en zonas rurales. Sin embargo, se debe monitorear durante más tiempo para garantizar su efectividad.

El caudal en la salida del sistema genera un volumen significativo y suficiente para cubrir las necesidades propuestas del sistema: lavarse las manos, lavarse los dientes, bañarse, ingesta y preparar alimentos.

El trabajo crea un vínculo entre el Instituto Tecnológico y ACTo-SINAC (MINAE), para promover el desarrollo local en comunidades rurales mediante proyectos socio-ambientales.

6. RECOMENDACIONES

Realizar más investigación en el ámbito de la microbiología ambiental del agua cruda y tratada por el sistema.

Evaluar la calidad del agua en los cinco tanques que conforman el sistema para poder analizar la remoción de hierro y consecuentemente determinar si es necesario un tratamiento adicional.

Analizar constantemente los parámetros físico-químicos del agua tratada por el prototipo, especialmente turbiedad, pH y concentración de hierro.

Para efectos de tener el conocimiento apropiado del funcionamiento por completo del modelo experimental se sugiere realizar más evaluaciones hidráulicas y de los procesos físico-químicos y biológicos en el sistema instalado.

Revestir los pozos con tuberías de concreto o ferrocemento para evitar infiltraciones laterales.

Buscar asesoría técnica para mejorar la ubicación de los pozos, profundidad, construcción, operación y mantenimiento, utilizar materiales adecuados con el fin de minimizar la contaminación del recurso hídrico.

Realizar la caracterización completa de calidad de agua en todos los pozos de la comunidad de Monte Rey.

Valorar la opción de reducir los costos del proyecto, utilizar materiales y transporte locales, reutilizar tanques que no se encuentren contaminados con sustancias tóxicas y buscar mano de obra de la comunidad .

Mejorar el prototipo realizando las siguientes modificaciones:

- Construir un techo que proporcione sombra y protección del agua de lluvia a los tanques, ya que de lo contrario se sobrecalientan y con fuertes precipitaciones si las tapas no está bien selladas se infiltra agua de lluvia, alterando el mecanismo biológico dentro del sistema, por otro lado, la facilidad de propagación del dengue.
- Si las familias interesadas no disponen de los recursos para construir un techo apto para el sistema, al menos se propone otra alternativa y es rellenar con una capa de cemento las superficies de las tapas negras de los tanques que se cubren con agua de lluvia, con el fin de alejar a los mosquitos transmisores del dengue.
- Colocar un filtro de carbón activado para eliminar el color del agua.
- Proponer otro dispositivo, diseño u estructura más eficiente para airear agua en el primer tanque, tal como una bomba sumergible, aspas de motor, cascadas, entre otros diseños.

Utilizar el agua filtrada sólo para las actividades domésticas consideradas en el diseño, el resto de actividades pueden abastecerse utilizando tecnologías ambientales para recolectar el agua de lluvia por ejemplo.

Diseñar e instalar un sistema de desinfección en el último tanque para eliminar el remanente de organismos y asegurar la calidad microbiológica del agua.

Seguir estrictamente todas las medidas de mantenimiento y limpieza de los filtros como son: una vez al año lavar y tamizar el material filtrante, no utilizar cloro para la

desinfección de los filtros, debido a que es un inhibidor del crecimiento bacteriano y puede provocar su colmatación.

Confeccionar un manual de operación y mantenimiento del prototipo y capacitar a las familias que los implementen.

El Estado debe impulsar el uso de tratamientos de aguas subterráneas para las familias de bajos recursos económicos y brindar opciones para acceder a ellos.

Realizar un estudio económico a todas las familias dentro de la comunidad que deseen fabricar un prototipo similar al estudiado y si los ingresos no son suficientes para construirlo, buscar las maneras más apropiadas de apoyar a estas familias, a través de otras instituciones, fundaciones o entidades interesadas en colaborar con los proyectos.

7. FUENTES DE REFERENCIAS

- Abrams, I., & Aulenbach, D. e. (1999). Removing Specific Water contaminants. *Environmental Engineers Handbook*(segunda).
- Alvarado, D. M., & Herrera, N. A. (1999, Diciembre). Caracterización y distribución por cantones de la dureza del agua en las fuentes utilizadas para consumo humano en Costa Rica. *Revista Costarricense de Salud Pública*, 8(15).
- Arango et al, Y. A. (setiembre de 2010). Relación entre las formas solubles de hierro y manganeso y la presencia de bacterias oxidadoras de ambos elementos en el embalse Riogrande II-Don Matías(Antioquia,Colombia). *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquía*, 21(55), 20-29.
- Association, American Water Works. (2011). *Water Quality & Treatment* (sexta ed.). (J. K. Edzwald, Ed.) McGrawHill.
- Association, American Water Works. (n.d.). *Water Quality Treatment*. (sexta ed.). (J. Edzwald, Ed.) McGraw-Hill.
- Avendaño, N. (2002). *Remoción de Hierro y Manganeso*. Unidad de Vigilancia de la Salud y Ambiente.México.
- Bitton, G. (2005). *Wastewater Microbiology* (Third Edition ed.). Wiley-Liss.
- Burbano, L. y. (n.d.). Remoción de hierro y manganeso por oxidación-filtración para agua potable. Colombia.
- Burbano, L. y. (sf). Remoción de hierro y manganeso por oxidación-filtración para agua potable. Colombia.
- Cabrera, A., Beltrán, R., Pacheco, J., Frías, J., & Ramírez, J. (n.d.). *Calidad del Agua subterránea en un campo experimental hortícola en el Estado de Yucatán*. Artículo, Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Ingeniería.
- Calva, L., & Torres, M. (1998). *Plaguicidas Organoclorados*. Lab.de Ecosistemas Costeros, Departamento de Hidrobiología.
- Cardiovascular, C. (2014, enero 22). *Salud y Medicinas*. Retrieved abril 23, 2014, from <http://www.saludymedicinas.com.mx/centros-de-salud/cardiovascular/articulos-relacionados/el-exceso-de-hierro-puede-costarle-la-vida.html>
- Castro, G., & Peraza, P. M. (2009). Origen de los sulfatos en el agua subterránea del Sur de la Sierrita de Ticul, Yucatán. *Ingeniería*, 13(1), 49-58.
- CCSS. (2009-20011). *Análisis de la Situación Integral en Salud (ASIS)*. clínico estadístico, Area de Salud, Cariari.

- Centro Científico Tropical*. (2005, Octubre). Retrieved Julio 16, 2013, from <http://www.cct.or.cr/mapas/zonas-de-vida-costa-rica.pdf>
- Centro de información del paraquat*. (n.d.). Retrieved from <http://paraquat.com/spanish/banco-de-conocimientos/ficha-t%C3%A9cnica-del-paraquat>
- Chaturvedi, P. N. (2012). Removal of iron from safe drinking water. *Desalination*(303), 1-11.
- Chaves, A. M. (2012). *Proyecto "Removiendo Barreras para la Sostenibilidad del Sistema de Areas Protegidas de Costa Rica"*. Proyecto, Programa de Gestión Local y Corredores Biológicos del Area de Conservación Tortuguero ACTo, San José.
- Cordero, L., & Ullauri, N. (2011). *Filtros caseros, diseño para servicio a 10 familias*. Tesis, Universidad de Cuenca, Escuela de Ingeniería Civil.
- Cortés, M. d. (2003, Junio). Importancia de los coliformes fecales como indicadores de contaminación en la Franja Litoral de Bahía de Banderas. *Revista Biomed*, 14(2).
- Crittenden, J., Trussell, R., Hand, D., Howe, K., & Tchobanoglous, G. (2012). *MWH's Water Treatment: Principles and Design*. (Tercera ed.). Estados Unidos.
- Cubero, R. R. (2003). *Estudio relación Tierra y Familia. Asentamiento Monte Rey*. Instituto de Desarrollo Agrario, Dirección Regional H. Atlántica, Cariari.
- Cubero, R. R. (2003). *Estudio Relación Tierra-Familia. Asentamiento Monte Rey*. Instituto de Desarrollo Agrario, Dirección Regional H. Atlántica, Cariari.
- Durán, A. (2004). *Composición del suelo*. Universidad de la República de Uruguay, Facultad de Agronomía. Departamento de Suelos y Agua, Montevideo.
- Dvorak, B. I., Prasi, G., Skipton, S., & Woldt, W. (2007). Drinking Water: Iron and Manganese. Institute of Agriculture and Natural Resources. *Neb Guide*, 4.
- Echeverría, L. A., & Marín, M. I. (2001). *Tecnología de tratamiento de agua potable: filtración directa*. Univesidad del Valle.
- EPA. (2013, 03 1). *United States Environmental Protection Agency*. Retrieved abril 28, 2014, from http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/cr/corr_res_iron.html
- Escalante, E. R. (2003). *Tanques Sépticos. Conceptos Teóricos Base y aplicaciones*. Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Farré, A., & Macaya, C. (2009). *Libro de la Salud Cardiovascular del Hospital Clínico San Carlos y fundación BBVA* (primera ed.). Bilbao.
- G. Miller, D. (2002). *Experiencias con filtros de flujo ascendente*. Retrieved noviembre 13, 2013, from Paho: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/002554-experiencia.pdf>

- Gaceta, L. (2004, mayo 20). Dotaciones de agua para calcular las necesidades de las solicitudes de concesión de aprovechamiento de aguas. *La Gaceta*(98), p. 30.
- Galvis, A. (2004). *La filtración en Múltiples etapas en el tratamiento del agua para consumo humano.El caso de Mondomo(Colombia)*. Instituto Cinara,Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería, Lima.
- Garzón, L. M. (2011). *Diseño de uan guía para la elaboración de filtros lentos de potabilización del agua*. Especialización en Gerencia Ambiental, Universidad Libre, Facultad de Ingeniería, Bogotá.
- George, A., & M.Chaudhuri. (1977). *Water Works Association* (Vol. 69).
- Geta, J. A., Azcoiti, J. M., González, G. R., & Gil, F. V. (2009). Las aguas subterráneas un recurso natural del subsuelo. (Cuarta). Madrid, España.
- Gómez, I. C. (2000). *Saneamiento Ambiental* (Primera ed.). San José: Universidad Estatal a distancia.
- Gonzalez, A., Martín, A., & Figueroa, R. (n.d.). (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua) Retrieved Setiembre 15, 2013, from <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/caliagua/mexicon/R-0060.pdf>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2006). *Metodología de la Investigación* (Cuarta ed.). Mexico: McGRAW-HILL/Interamericana Editores S.A.
- L.McFarland, M., & Dozier, M. (2004). *Problemas del agua potable: el hierro y el manganeso*. Instituto de Recursos de Agua de Texas, Sistema Universitario de Texas A&M.
- Ley General de Salud. (1973, Octubre 30). *Ministerio de Salud Pública*. Retrieved marzo 30, 2014, from http://www.cne.go.cr/cedo_dvd5/files/flash_content/pdf/spa/doc382/doc382-contenido.pdf
- Llorca, R. L., & Carrascosa, I. B. (2006). *Prácticas de atmósfera, suelo y agua*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Manahan, S. (2007). *Introducción a la química ambiental*. México: Reverté Ediciones S.A.
- (n.d.). *Manejo Integrado del Agua*. Centro de Investigación en Medio Ambiente y Desarrollo.
- (2008). *Manual del filtro bioarena*. Manual, Centro de Tecnologías Accesibles de Agua y Saneamiento.
- María, I. A., Graciela, S., & Alejandra, P. V. (2000). *Remoción Biológica de hierro y manganeso: una tecnología apropiada*. Centro de Ingeniería Sanitaria, Santa Fe.
- Martínez, E. C., Mora, E. B., & Hernández, F. H. (2004). *Enfermedades causadas por el género Malassezia*. Universidad Nacional de México, Microbiología y Paritología, Facultad de Medicina.

- Matriz, A. P. (2001). *Filtro Lento de Arena para uso doméstico*. Manual, Instituto de Investigaciones de la Orinoquia, Facultad de Ciencias Basicas e Ingeniería, Villavicencio.
- Max Karen , Lytone Kanowa and Jim Anscombe. (2009). *crcnetbase UCR*. (Y. X. Braune, Ed.) Retrieved julio 28, 2013
- Miller, D. G. (n.d.). *Experiencias con filtros de flujo ascendente*. Asociación de Investigación sobre el agua, Medmenham.
- Niva Chile. (2008). Retrieved Marzo 22, 2014, from Instituto Noruego de Investigación de aguas: <http://nivachile.cl/sitio/index.php/ambitos-de-accion/toxicidad-de-metales>
- Nufarm. (2010). Retrieved Marzo 20, 2014, from http://www.nufarm.com/Assets/20901/1/hds_atila.pdf
- Odell, L. (2010). *Treatment Technologies for Groundwater* (American Water Works Association ed.).
- OMS. (n.d.). Retrieved from <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/scan/020867/020867-17.pdf>
- OMS. (2006). Guías para la Calidad de agua potable. I(Tercera).
- OPS. (2005). Retrieved Julio 06, 2013, from http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d25/067%20Gu%C3%ADa%20para%20el%20mejoramiento%20de%20la%20calidad%20del%20agua%20a%20nivel%20casero/guia-mejor_agua_metodocasero.pdf
- OPS. (n.d.). *Teoría,diseño y control de los procesos de clarificación dle agua*. Textos completos.
- OPS, & CEPIS. (2005). Guía, Lima.
- OPS, & OMS. (n.d.). 2005. Retrieved octubre 5, 2013, from <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/scan/020867/020867-17.pdf>
- OPS, & OMS. (n.d.). *Filtación Rápida*.
- Pacini, A., Ingallinella, A. M., & Sanguinetti, G. (n.d.). Retrieved Setiembre 15, 2013
- PAHO, P. A. (n.d.). Retrieved octubre 25, 2013, from <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/002320/002320-08a.pdf>
- Palomares, J., & Baeza, N. (2006). *Transformaciones del hierro y manganeso*. Seminario num11, Universidad Nacional del Comahue, Escuela Superior de Salud y Ambiente.
- Pimienta, J. (1980). *La captación de aguas suterráneas* (Segunda ed.). (E. t. S.A, Ed.) Barcelona.
- Pococí, M. d. (2013). *Municipalidad de Pococí*. Retrieved agosto 15, 2013, from <http://munipococi.go.cr/section.php?id=57>

- Postma, D., & Appelo, C. (2010). *Geochemistry, Groundwater and pollution* (Second ed.). Amsterdam.
- Pourcell, P. (2003). *Design of water resources systems*.
- Revelo, L. A., & Rosales, E. (1998). *Filtros lentos de arena*. Guía.
- Reynolds, T. D., & Richards, P. (1996). *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering*. (Second Edition ed.). United States of America.
- Rodríguez. (2003). *Estudio semidetallado de suelos y capacidad de uso de las tierras de finca agropecuaria Palo Verde de Cariari S.A*. Instituto de Desarrollo Agrario, Formación de Asentamientos Campesinos. Area de Estudios Agroecológicos y Avalúos, San José.
- Rodríguez, A. P. (n.d.). *Universidad Autónoma de Chihuahua*. Retrieved octubre 25, 2013, from http://www.fing.uach.mx/licenciaturas/IC/2012/01/26/MANUAL_LAB_DE_CONCRETO.pdf
- Rodríguez, S. (2010). *La Dureza del Agua*. Universidad Tecnológica Nacional.
- Rojas, L. (2014, marzo 9). Cada tico gasta 200 litros de agua potable por día ¿Desperdicio o necesidad? *CrHoy noticias*.
- Salud, O. P. (n.d.). *Orientación en Saneamiento Básico para Alcaldías de Municipios Rurales y Pequeñas Comunidades*. Guía.
- Shalini Chaturvedi, P. N. (2012). Removal of iron from safe drinking water. *Desalination*(303), 1-11.
- Sierra, I., S, M., & D, P. (2007). Retrieved Octubre 10, 2013, from <http://books.google.co.cr/books?id=YdtzV12beGMC&printsec=frontcover&dq=ciencias+experimentales+y+tecnologias,+alcalinidad&hl=es&sa=X&ei=bV9jUrKTOI->
- Sigler, A., & Bauder, J. (n.d.). *Well Educated*. (U. E. Montana, Ed.) Retrieved Octubre 15, 2013, from http://region8water.colostate.edu/PDFs/we_espanol/Alkalinity_pH_TDS%202012-11-15-SP.pdf
- Silva, A. (2013). Retrieved diciembre 23, 2013, from infomed: <http://www.sld.cu/saludvida/hogar/temas.php?idv=14490>
- SINAC. (n.d.). *Sistema Nacional de Areas de Conservación*. Retrieved julio 14 , 2013, from <http://www.sinac.go.cr/AC/ACTo/Paginas/Programas.aspx>
- Smith, M. A., Zhu, X., Tabaton, M., & Liu, G. (2010, Enero). Increase Iron and Free Radical Generation in Preclinical Alzheimer Disease and Mild Cognitive Impairment. *PMC*, 19(1), 363-372.
- Sommerfeld, E. (1999). *Iron and Manganese Removal Handbook*. American Water Work Association.

- Sostenible(ProDUS), P. d. (2006). *Diagnóstico Plan Regulador de Pococí.Tomo1*. Universidad de Costa Rica.
- Stainer, R., Ingraham, J., & Wheelis, M. (1992). *Microbiología* (Segunda ed.). Barcelona: REVERTE S.A.
- Udaeta, E., Quispe, F., & Villalba, R. (n.d.). *Diseño y Ejecución de Proyectos de Agua y Saneamiento con Tecnologías Alternativas*. Guia Técnica, Ministerio de Medio Ambiente y Agua.
- Unicef ;M M AyA. (2008). *Menú de alternativas de tratamiento a nivel comunitario y domiciliario*. Universidad Mayor de San Simón, Facultad de Ciencias y Tecnología, Cochabamba.
- UNICEF, & MMAyA. (2008). *Menú de alternativas de tratamiento a nivel comunitario y domiciliario*. Universidad Mayor de San Simón, Facultad de Ciencias y Tecnología, Cochabamba.
- Vargas, L. C., & Yactayo, V. M. (2009). *Tratamiento de agua para consumo humano*. Manual I Teoría.
- Veen, W. V., & H.Deinema, E. M. (1978, June). The Sphaerotilus-Leptothrix Group of Bacteria. *Microbiological Review*, 42(2), 329-356.
- Visscher. (1992). *Filtración Lenta en Arena Tratamiento de agua para Comunidades*. Documento Técnico 24, International Water and Sanitation Center (IRC), Centro Inter-Regional de Abastecimiento y Remoción de Agua(Cinara), Cali.
- WHO. (2003). Retrieved julio 27, 2013, from http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/iron.pdf
- Yactayo, V. M. (n.d.). Retrieved noviembre 2013, 14, from <http://cdam.minam.gob.pe:8080/bitstream/123456789/109/11/CDAM0000012-10.pdf>

8. APENDICES

Apéndice 1. Herramienta para recolección de información

PARTE I DATOS GENERALES:

Número de parcela:

Jefe(a) de hogar:

Nivel de escolaridad del encuestado

Primaria completa primaria incompleta secundaria completa secundaria incompleta

Ocupación:

Tiempo de vivir en la comunidad:

Miembros que viven en la casa: Hombres: [] Mujeres: []

Edades de los miembros:

1-10 años 10-20 años 20-30 años 30-40 años 40-50 años Más de 50 años

Procedencia del encuestado

Limón San José Cartago Heredia Puntarenas Guanacaste Alajuela

Aproximadamente ¿cuál es su nivel mensual de ingresos?

Menos de 200 mil 200-300 mil colones 300-400 mil colones más de 400 mil colones

PARTE II AGUA POTABLE:

1. Mencione todas las actividades en las que emplea agua

2. Cantidad de agua al día que consumen dentro de su casa

50-100 galones 100-150 galones 150-200 galones más de 200 galones ns/nr

100 gal=400 L

3. ¿Cuánta agua al día utilizan en actividades no dentro de la casa?

10-30 galones 30-50 galones 50-70 galones más de 70 galones ns/nr

4. ¿Cuántas tomas o salidas de agua hay en su hogar?

5. ¿Cuánto años tiene el pozo?

Un año de 2-4 años de 5-7 años de 8 -10 años ns/nr

6. Profundidad del pozo

Menos de 5 mts de 5 a 10 mts de 10 a 15 mts más de 15mts ns/nr

7. Volumen del tanque de almacenamiento.

8. Explique todo lo relativo a problemas que han presentado con el pozo desde su construcción?

9. ¿Percibe alguna de las siguientes características en el agua que consume y emplea en labores domésticas? Descríbalas

Sabor Color Olor Sólidos disueltos o basuras mancha la ropa no percibe ninguna característica Otros

10. En caso de que perciba al menos una característica, ¿qué acciones ha tomado al respecto?

Cloración en el pozo hervir el agua que va a tomar dejar reposar agua para bajar concentración de cloro en el agua traer por aparte Otro, especifique

Si responde la primera, conteste la siguiente, de lo contrario pasar a la 12

11. Si utiliza la desinfección con cloro

Dosis _____

¿Qué tipo de cloro está utilizando? _____

¿Cada cuánto lo aplica? _____

12. Desde que tiene el pozo ¿ha presentado alguna de las siguientes enfermedades?

Anemia alergias dengue ó dengue hemorrágico, diarrea, ahogamiento, leptospirosis, malaria, malNutrición, no presenta las enfermedades mencionadas otras

PARTE III AGUAS RESIDUALES:

13. ¿Separa los restos de comida antes de lavar los platos en la cocina? si no Observación

14. ¿Presenta problemas de malos olores en las salidas de aguas grises? si no Observación

15. ¿Cuántos servicios sanitarios?

a.1 b. 2 c. más de 2

16. ¿Tienen letrinas que están funcionando?

Si, ¿cuántas? _____ No

17. Distancia de la letrina al pozo:

15 -20m 20-25 m 25-30m más de 30 m

18. ¿La letrina presenta problemas de malos olores?

Si no

19. Condiciones sanitarias en que se encuentran las letrinas.

Estado de las paredes y techos de la letrina

Excelente bueno regular malo

Ventilación del hueco de la letrina

Suficiente insuficiente

Ventilación general de la letrina

Suficiente insuficiente

Aseo de la letrina

Limpio sucio muy sucio Observaciones:

20. ¿Quién construyó el tanque séptico?

El propietario el maestro de obras un familiar Otro ns/nr

21. ¿Con qué frecuencia limpian el tanque séptico?

Una vez al año una vez cada dos años una vez cada tres años nunca lo han limpiado

22. En caso de extraer los lodos, ¿dónde los disponen?

En el suelo en el río los entierran utilizan como abono otro ns/nr

23. Dimensiones del tanque séptico (LARGO, ANCHO, PROFUNDIDAD, DIAMETRO)

24. ¿Tiene problemas con el tanque séptico?

Rebalse malos olores está roto Otro ninguno de los anteriores

25. Dimensiones del drenaje

26. Longitud del drenaje del tanque séptico

5 m o menos de 5 m a 10 m de 10 a 15 m de 15 a 20 m más de 20 m ns/nr.

27. La forma geométrica del tanque séptico, es la siguiente:

Circular rectangular cuadrangular no se logra determinar

28. material del que está hecho el Tanque séptico plástico concreto fibra de vidrio otro

29. Distancia entre el tanque séptico y el pozo:

	10 m o menos	de 10 a 20 m	de 20 a 30 m	de 30 a 40 m	Más de 40	ns/nr
Pozo 1						
Pozo 2						

PARTE IV AGUA PLUVIAL:

30. ¿Usted utiliza el agua de lluvia?

Si No

31. ¿En qué actividades aprovecha el recurso lluvia?

PARTE V GESTION DE RESIDUOS SÓLIDOS:

32. En su hogar separan los residuos sólidos si no

33. ¿Cuáles de los siguientes residuos sólidos separan?

Papel periódico cartón Plástico Vidrio Aluminio Orgánico ninguno Otros

34. ¿Dónde almacenan los materiales?

En sacos en estañones en bolsas plásticas Otro

35. ¿Qué hacen con los desechos sólidos no valorizables?

Los queman los entierran lo depositan en un lote baldío lo llevan a la municipalidad de Guápiles Otro

36. ¿Dónde colocan los desechos sólidos no valorizables antes de su disposición final?

En basurero con tapa y bolsa en basurero sin tapa y sin bolsa en una caja de cartón otro

37. En las zonas verdes

Hay desechos ordinarios sin recoger no hay desechos ordinarios

38. En la producción agrícola, los agroquímicos

Si los usan no los usan

39. En qué lugar almacena esos productos?

En una bodega en el patio bajo techo en el corral otro, especifique

40. ¿Cuáles son los nombres de los productos que utilizan?

41. En qué lugar suelen comprar sus productos químicos

42. ¿Con qué frecuencia aplican estos productos?

En una escala del 0 al 3

0. *No aplica nada*

1. *Aplica muy pocas veces químico*

2. *Regularmente*

3. *Muchas veces*

43. ¿Han recibido capacitación en relación a la peligrosidad de sustancias químicas que manipulan en sus parcelas?

Sí, ¿de quién? no

44. Distancia del lugar de almacenamiento de químicos al pozo doméstico.

10-15 m 15-20 m más de 20 m

45. ¿Cómo disponen los envases vacíos de agroquímicos?

Los queman los tiran en el suelo los entierran otro, especifique

46. ¿Trabajan con compost en su parcela? Sí No

47. ¿Tienen biodigestor en funcionamiento?

Sí no

48. ¿Desde que viven aquí han tenido algún problema ambiental considerable y cómo lo han atendido?

49. ¿Desde su punto de vista, opina que esta investigación viene a solventar los problemas de saneamiento identificados en su comunidad?

Sí No, ¿por qué?

50. ¿Le interesa participar en talleres y charlas en relación con los temas abarcados en esta entrevista?

Sí no, ¿por qué?

Apéndice 2. Diseño de muestreo

		PARCELA #	Cloración	Profundidad	Enfermedades	Distancia tanque séptico	Riesgo TOTAL
Población verde		2	CA	PrM	Enp	L	0
Tiene un riesgo mínimo de que las aguas estén contaminadas		15	CA	PrM	Enp	L	0
		16	CA	PrM	Enp	L	0
		19	CA	PrM	Enp	L	0
		29	CA	PrM	Enp	L	0
		lote 3	CA	PrM	Enp	L	0
		Lote 4	CA	PrM	Enp	L	0
		lote 6	CA	PrM	Enp	L	0
		5	CA	PrB	Enp	L	1
		7	CA	PrB	Enp	L	1
Población Gris		Lote 7	CA	PrB	Enp	L	1
Presenta al menos un factor de riesgo		4	NC	PrM	Enp	L	1
		6	NC	PrM	Enp	L	1
		9	NC	PrM	Enp	L	1
		13	NC	PrM	Enp	L	1
		17	NC	PrM	Enp	L	1
		21	NC	PrM	Enp	L	1
		28	NC	PrM	Enp	L	1
		1	CA	PrM	Ep	L	1
		3	CA	PrM	Ep	L	1
		11	CA	PrM	Ep	L	1
		18	CA	PrB	Enp	MC	2
		23	CA	PrB	Enp	MC	2
Población Naranja		20	NC	MAYOR PROF	Enp	MC	2
Dos factores de riesgo		27	NC	PrM	Enp	MC	2
		10	NC	PrM	Ep	L	2
		24	NC	PrM	Ep	L	2
		25	NC	PrB	Enp	MC	3
		8	CA	PrB	Ep	MC	3
Rojo, mucho riesgo		12	NC	PrB	Ep	L	3
		14	NC	PrB	Ep	L	3
		22					
		26					

			no se encontraron				
--	--	--	-------------------	--	--	--	--

Abreviaturas empleadas en el diseño del muestreo

Clasificación	Abreviatura	Intervalo
<i>Con cloración</i>	CA	
<i>Sin cloración</i>	NC	
<i>Profundidad Media</i>	PrM	5-10 m
<i>Profundidad Baja</i>	PrB	1-4 m
<i>Presentan Enfermedades</i>	Ep	
<i>No presentan enfermedades</i>	Enp	
<i>Distancia larga</i>	L	>10 m
<i>Distancia muy cerca</i>	MC	1-9 m

Apéndice 3. Descripción de materiales para la construcción del prototipo

Materiales	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo Total	Contacto
Disco Esmerilar METABO		1	981	981	Almacén Don Julio, Guápiles
Disco Metal Recto METABO	pulgadas	2	1995	3990	Almacén Don Julio, Guápiles
Brocha atlas natural #395	pulgadas	1	674	674	Almacén Don Julio, Guápiles
Tubo Estr HG 2X2X1.80 mm		9	11748	105.732	Almacén Don Julio, Guápiles
Soldadura 6013 3/32 HILCO	pulgadas	5	3448	17240	Almacén Don Julio, Guápiles
Prot. metaltec aluminio 602 (1/4)		1	8732	8732	Almacén Don Julio, Guápiles
Boya de nivel electrónica FSF PEARL		1	4762	4762	Almacén Don Julio, Guápiles
Boya Plástica para inodoro 4		1	325,85	325,85	Almacenes el Colono S.A
Varilla p/BOYA		1	601,77	601,77	Almacenes el

1/4					Colono S.A
FL Válvula de llenado TANQUE		1	1552,5	1552,5	Almacenes el Colono S.A
3/4					
Check Linea 1.1/2		1	7838	7838	Almacén Don Julio,Guápiles
PVC codo liso PRESS(1.1/2)		5	826	4130	Almacén Don Julio,Guápiles
Manguera transparente 3/3”	Pulgadas	1	562	562	Almacén Don Julio,Guápiles
PVC codo liso(1/2) 90°		5	82	410	Almacén Don Julio,Guápiles
PVC codo liso presión 12 mm G90		3	103,5	310,6	Almacenes el Colono S.A
PVC adap.hembra(1/2)		5	106	530	Almacén Don Julio,Guápiles
PVC adap.macho SCH40(1.1/2)		8	452	3616	Almacén Don Julio,Guápiles
PVC adap macho SCH40(1/2)		5	68	340	Almacén Don Julio,Guápiles
PVC Adap.hembra(1.1/2)		8	497	3976	Almacén Don Julio,Guápiles
PVC unión tope(1.1/2)		4	4715	18860	Almacén Don Julio,Guápiles
PVC tubo press SCH 40(1/2) 6MTS		2	2700	5400	Almacén Don Julio,Guápiles
Tubo ind HN 1.1/4X1.1/4X1.50 mm		1	4938	4938	Almacén Don Julio,Guápiles
TORNI ANCLAJE S/CAM 3/8x2.1/2”	pulgadas	12	231	2772	Almacén Don Julio,Guápiles
GAZA EMT 1” HUECO	pulgadas	2	34	68	Almacén Don Julio,Guápiles
Concremix INTACO 40 kilos		6	2605	15630	Almacén Don Julio,Guápiles
LANCO PVC PEG WET DRY(236 ml)		2	2220	4440	Almacén Don Julio,Guápiles
Madera Forma 1x12 4VRS		1	3448	3448	Almacén Don Julio,Guápiles
PVC llave Bola 1/2	pulgadas	3	290	870	Almacén Don Julio,Guápiles
Silicon Duratán Blanco		1	3097	3097	Almacén Don Julio,Guápiles
PVC llave Bola 1 1/2” lisa	pulgadas	7	1010	7070	Almacén Don Julio,Guápiles
Llave Bola lisa	pulgadas	1	437	437	Almacenes el

12mm PVC						Colono S.A.
PVC tubo PRES	pulgadas	2	6476	12952		Almacén Don
SDR(1.1/2)6mts						Julio,Guápiles
PVC tubo SDR26		1	2688	2688		Almacenes el
presion 25 mm						Colono S.A
Estañones plásticos	galones	4	27435	124005		Almacén Don
						Julio,Guápiles
Cable TSJ 2X12(5	metros	1	4090	4090		Almacén Don
m)						Julio,Guápiles
Cedazo Aluminio	metros	1	1386	1386		Almacén Don
mosquito(1m)						Julio,Guápiles
PVC unión tope	pulgadas	3	2158	6474		Almacén Don
presión 25mm						Julio,Guápiles
PVC unión tope		1	1645	1645		Almacenes el
presión 12mm						Colono S.A.
PVC adap.macho	pulgadas	1	255	255		Almacén Don
SHC40						Julio,Guápiles
Pvc reducción lisa	pulgadas	3	470	1410		Almacenes el
PRES 38X25mm						Colono S.A.
PVC reducción lisa	pulgadas	1	454	454		Almacenes el
press 38x12mm						Colono S.A.
PVC tee lisa	pulgadas	6	456	2736		Almacenes el
presión 25mm						Colono S.A
PVC tapón hembra	pulgadas	14	345	4830		Almacenes el
liso press 25mm						Colono S.A
PVC cruz lisa	pulgadas	4	1522	6088		Almacenes el
presión 25mm						Colono S.A
PVC tubo SDR40	pulgadas	0,50	8167	4083		Almacenes el
presion25mm						Colono S.A
PVC codo liso	pulgadas	8	375	3006		Almacenes el
presión 25mm 90G						Colono S.A
PVC codo liso	pulgadas	2	412	825		Almacenes el
presion25m G45						Colono S.A
Tornillo Hexa		2	69	139		Almacenes el
INOX						Colono S.A
PVC unión lisa	pulgadas	1	69	69		Almacenes el
presión 12mm						Colono S.A
PVC adaptador	pulgadas	3	455	1367		Almacenes el
macho presión						Colono S.A
38mm						
PVC adaptador	pulgadas	1	280	280		Almacenes el
macho presión						Colono S.A
25mm						
PVC adaptador	pulgadas	1	481	481		Almacenes el
hembra presión						Colono S.A
38mm						

PVC adaptador hembra presión 12mm		1	120	120	Almacenes el Colono S.A
PVC adaptador hembra presión 25mm	pulgadas	1	275	275	Almacenes el Colono S.A
PVC codo liso presión 38mm G90	pulgadas	7	803	5627	Almacenes el Colono S.A
PVC codo con rosca presión 38mm G90	pulgadas	3	1362	4088	Almacenes el Colono S.A
Broca metal ¼ IRWIN		1	1158	1158	Almacenes el Colono S.A
Arandela plana INOX 1/4		2	38	76	Almacenes el Colono S.A
Llave BOLA lisa 12mm PVC	pulgadas	1	437	437	Almacenes el Colono S.A
PVC unión tope presión 38mm	pulgadas	2	4978	9957	Almacenes el Colono S.A
Arena(0.35-0.41)	sacos	6	376 p/ kilo	69.936	Juan Manual Salas Garita
Arena(0.50-0.55)	sacos	4	376 por kilo	46.624	Juan Manual Salas Garita
Grava(3mm)	sacos	3	225 por kilo	20925	Juan Manual Salas Garita
Grava(6mm)	sacos	3	225 por kilo	20.925	Juan Manual Salas Garita
Grava(12mm)	sacos	3	225 por kilo	20.925	Juan Manual Salas Garita
Grava(19mm)	sacos	3	225 por kilo	20.925	Juan Manual Salas Garita
Costo Total				634603	

Fuente. Elaboración propia

Apéndice 4. Memoria de Cálculo

Caudal de diseño:

$$Q_d = 226,18 \frac{L}{día} * \frac{1 día}{24 horas} * \frac{m^3}{1000 L} = 0,0094 m^3/h$$

Velocidad de filtración:

Filtro lento:

- $V_f (m/h) = \frac{Q_d}{A_s} = \frac{0,0094 m^3/h}{0,0626 m^2} = 0,15 m/h$

Filtro rápido:

- $V_f (m/h) = \frac{Q_d}{A_s} = \frac{0,0094 m^3/h}{0,0235 m^2} = 0,4 m/h$

Filtro lento de arena

Datos del filtro:

- H del barril=100 cm
- Diámetro del barril=60 cm

Área superficial de filtración (OPS & CEPIS, 2005)

$$A_s = \frac{Q_d}{N * V_f}$$

$$A_s = \frac{0,0094}{1 * 0,15} = 0,0626 m^2$$

Cálculo del área de contacto

$$A(m^2) = \frac{\text{Caudal de filtración}}{\text{tasa de filtración}}$$

Caudal de filtración:

$$\frac{58.56 L}{hab.día} * \frac{día}{24 h} * \frac{1 m^3}{1000 L} = 0,00244 \frac{m^3}{hab.h} * 4 habitantes = 0,00976 m^3/h$$

$$A = \frac{0,00976 \text{ m}^3/\text{h}}{0,15 \text{ m}/\text{h}} = 0,0651 \text{ m}^2$$

Lecho filtrante:

20 cm de espacio para el sobrenadante+80 cm lecho filtrante=100 cm

30 cm de piedra +50 cm de arena=80 cm lecho filtrante

Altura total del filtro=medio filtrante + sobrenadante

Altura total del filtro=80 cm+20 cm

Volumen del filtro=Altura total del filtro x As

Volumen del filtro=1m x 0,0626 m²=0,0626 m³

- Relación de vacíos de la arena:40-45%
- Relación de vacíos de la piedra:50%

Volumen de la piedra:

Volumen Grava 19 mm

H=0,08 m

$$V=h \times \pi r^2$$

$$V=0,08 \times \pi \left(\frac{0,60}{2}\right)^2$$

V= 0,0226 m³ (piedra más vacíos)

0,0226 m³ x 0,5= 0,0113 m³ (volumen que ocupan los espacios vacíos en la piedra)

Volumen de grava 19 mm= 0,0113 m³

Volumen Grava 12 mm

H=0,08 m

$$V=h \times \pi r^2$$

$$V=0,08 \times \pi \left(\frac{0,60}{2}\right)^2$$

V= 0,0226 m³ (piedra más vacíos)

0,0226 m³ x 0,5= 0,0113 m³ (volumen que ocupan los espacios vacíos en la piedra)

Volumen de grava 12 mm= 0,0113 m³

Volumen Grava 5 mm

$$H=0,06 \text{ m}$$

$$V=h \times \pi r^2$$

$$V=0,06 \times \pi \left(\frac{0,60}{2}\right)^2$$

$$V= 0,0169 \text{ m}^3 \text{ (piedra más vacíos)}$$

$$0,0169 \text{ m}^3 \times 0,5= 0,00845 \text{ m}^3 \text{ (volumen que ocupan los espacios vacíos en la piedra)}$$

Volumen de grava 5 mm= 0,00845 m³

Volumen Grava 3 mm

$$H=0,08 \text{ m}$$

$$V=h \times \pi r^2$$

$$V=0,08 \times \pi \left(\frac{0,60}{2}\right)^2$$

$$V= 0,0226 \text{ m}^3 \text{ (piedra más vacíos)}$$

$$0,0226 \text{ m}^3 \times 0,5= 0,0113 \text{ m}^3 \text{ (volumen que ocupan los espacios vacíos en la piedra)}$$

Volumen de grava 3 mm= 0,0113 m³

Vtotal piedra:0,04235 m³

Volumen de la arena:

$$H=0,50 \text{ m}$$

$$\text{Diámetro}=0,60\text{m}$$

$$V=h \times \pi r^2$$

$$V=0,50 \times \pi \left(\frac{0,60}{2}\right)^2$$

$$V=0,1414 \text{ m}^3 \text{ (arena más vacíos)}$$

$$0,1414 \text{ m}^3 \times 0,45=0,0636\text{m}^3 \text{ (volumen que ocupan los espacios vacíos en la arena)}$$

Vtotal de arena: 0,0778 m³

Volumen total que ocupan los espacios vacíos en el medio filtrante (piedra y arena):

$$0,0424+0,0636=0,106 \text{ m}^3$$

Tiempo de retención

$$TR = \frac{V}{Q} = \frac{0,0626 \text{ m}^3}{0,0094 \text{ m}^3/h} = 6,65 \text{ horas}$$

Pérdidas de carga: Filtro lento de arena

Arena:

$$\Gamma_w = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\Gamma_f = 1300 \text{ kg/m}^3 \text{ fuente (Rodríguez A. P.)}$$

$$\frac{1300 - 1000}{1000} \times (1 - 0,45) \times 0,50 = 0,0825 \text{ m}$$

Piedra:

$$\Gamma_w = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\Gamma_f = 2600 \text{ kg/m}^3 \text{ fuente (PAHO)}$$

$$\frac{2600 - 1000}{1000} \times (1 - 0,50) \times 0,30 = 0,24 \text{ m}$$

$$\text{Pérdida de carga total (m)} = 0,0825 + 0,24 = 0,3225 \text{ m} = 32,25 \text{ cm}$$

Filtro grueso ascendente:

Datos del filtro:

$$H = 1 \text{ m}$$

$$\text{Diámetro} = 0,60 \text{ m}$$

Área superficial de filtración:

$$A_s = \frac{Qd}{N * V_f}$$

$$A_s = \frac{0,0094}{1 \times 0,4} = 0,0235 \text{ m}^2$$

Cálculo del área de contacto

$$A(\text{m}^2) = \frac{\text{Caudal de filtración}}{\text{tasa de filtración}}$$

Caudal de filtración:

$$\frac{58.56 \text{ L}}{\text{hab.día}} \times \frac{\text{día}}{24 \text{ h}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} = 0,00244 \frac{\text{m}^3}{\text{hab.h}} \times 4 \text{ habitantes} = 0,00976 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$A = \frac{0,00976 \text{ m}^3/\text{h}}{0,4 \text{ m/h}} = 0,0244 \text{ m}^2$$

Lecho filtrante:

20 cm de espacio para el sobrenadante + 80 cm lecho filtrante = 100 cm

40 cm de piedra + 30 cm de arena + 10 cm antracita = 80 cm lecho filtrante

Altura total del filtro = medio filtrante + sobrenadante

Altura total del filtro = 80 cm + 20 cm

Volumen del filtro = Altura total del filtro x A_s

Volumen del filtro = 1 m x 0,0235 m² = 0,0235 m³

- Relación de vacíos de la arena: 40-45%
- Relación de vacíos de la piedra: 50%
- Relación de vacíos de la antracita: 47-52%

Volumen de la piedra:

Volumen Grava 19 mm

$$H=0,12 \text{ m}$$

$$V=h \times \pi r^2$$

$$V=0,12 \times \pi \left(\frac{0,60}{2}\right)^2$$

$$V= 0,0339 \text{ m}^3 \text{ (piedra más vacíos)}$$

$$0,0339 \text{ m}^3 \times 0,5= 0,01695 \text{ m}^3 \text{ (volumen que ocupan los espacios vacíos en la piedra)}$$

$$\text{Volumen de grava 19 mm} = 0,01695 \text{ m}^3$$

Volumen Grava 12 mm

$$H=0,10 \text{ m}$$

$$V=h \times \pi r^2$$

$$V=0,10 \times \pi \left(\frac{0,60}{2}\right)^2$$

$$V= 0,0283 \text{ m}^3 \text{ (piedra más vacíos)}$$

$$0,0283 \text{ m}^3 \times 0,5= 0,01415 \text{ m}^3 \text{ (volumen que ocupan los espacios vacíos en la piedra)}$$

$$\text{Volumen de grava 12 mm} = 0,01415 \text{ m}^3$$

Volumen Grava 5 mm

$$H=0,08 \text{ m}$$

$$V=h \times \pi r^2$$

$$V=0,08 \times \pi \left(\frac{0,60}{2}\right)^2$$

$$V= 0,0226 \text{ m}^3 \text{ (piedra más vacíos)}$$

$$0,0226 \text{ m}^3 \times 0,5= 0,0113 \text{ m}^3 \text{ (volumen que ocupan los espacios vacíos en la piedra)}$$

$$\text{Volumen de grava 5 mm} = 0,0113 \text{ m}^3$$

Volumen Grava 3 mm

$$H=0,10 \text{ m}$$

$$V=h \times \pi r^2$$

$$V=0,10 \times \pi \left(\frac{0,60}{2}\right)^2$$

$$V=0,0283 \text{ m}^3 \text{ (piedra más vacíos)}$$

$$0,0283 \text{ m}^3 \times 0,5 = 0,01415 \text{ m}^3 \text{ (volumen que ocupan los espacios vacíos en la piedra)}$$

$$\text{Volumen de grava 3 mm} = \mathbf{0,01415 \text{ m}^3}$$

$$\text{Vtotal de piedra: } \mathbf{0,05655 \text{ m}^3}$$

Volumen de la arena:

$$H=0,30 \text{ m}$$

$$V=h \times \pi r^2$$

$$V=0,30 \times \pi \left(\frac{0,60}{2}\right)^2$$

$$V=0,0848 \text{ m}^3 \text{ (arena más vacíos)}$$

$$0,0848 \times 0,45 = 0,0382 \text{ m}^3 \text{ (volumen que ocupan los espacios vacíos en la arena)}$$

$$\text{Vtotal arena: } \mathbf{0,0466 \text{ m}^3}$$

Antracita:

$$H=0,10 \text{ m}$$

$$V=h \times \pi r^2$$

$$V=0,10 \times \pi \left(\frac{0,60}{2}\right)^2$$

$$V=0,0283 \text{ m}^3 \text{ (antracita más vacíos)}$$

$$0,0283 \times 0,52 = 0,0147 \text{ m}^3 \text{ (volumen que ocupan los espacios vacíos en la antracita)}$$

$$\text{Vtotal antracita: } \mathbf{0,0136 \text{ m}^3}$$

Volumen total que ocupan los espacios vacíos en el medio filtrante (piedra, arena y antracita):

$$0,0565 + 0,0382 + 0,0147 = 0,1094 \text{ m}^3$$

Tiempo de retención:

$$TR = \frac{V}{Q} = \frac{0,0235 \text{ m}^3}{0,0094 \text{ m}^3/h} = 2,5 \text{ horas}$$

Pérdida de carga: filtro grueso ascendente

Arena:

$$\Gamma_w = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\Gamma_f = 1300 \text{ kg/m}^3 \text{ fuente (Rodríguez A. P.)}$$

$$\frac{1300 - 1000}{1000} \times (1 - 0,45) \times 0,30 = 0,0495 \text{ m}$$

Piedra:

$$\Gamma_w = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\Gamma_f = 2600 \text{ kg/m}^3 \text{ fuente (PAHO)}$$

$$\frac{2600 - 1000}{1000} \times (1 - 0,50) \times 0,40 = 0,32 \text{ m}$$

Antracita:

$$\Gamma_w = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\Gamma_f = 1700 \text{ kg/m}^3 \text{ (Association, American Water Works, 2011)}$$

$$\frac{1700 - 1000}{1000} \times (1 - 0,52) \times 0,10 = 0,0336 \text{ m}$$

$$\text{Pérdida de carga total (m)} = 0,0495 + 0,32 + 0,0336 = 0,4031 \text{ m} = 40,31 \text{ cm}$$

Eficiencias de remoción

$$Fe = \frac{1,35 - 0,39}{1,35} \times 100 = 71,11\%$$

$$Mn = \frac{0,17 - 0,16}{0,17} \times 100 = 5,88 \%$$

$$\text{Turbiedad} = \frac{48,26 - 16,38}{48,26} \times 100 = 66,05\%$$

$$\text{Color} = \frac{313,33 - 53,33}{313,33} \times 100 = 82,97\%$$

Apéndice 5. Financiamiento distribuido por contrapartida

	Contrapartida ITCR	Contrapartida FOSDE	Contrapartida APOC	Contrapartida ACTo	TOTAL
Compra de materiales(para la construcción, otros)		¢48 169,29	¢616 984 ,00		¢665 153,29
*Servicios contratados(soldadura, fontanería)		¢125 000,00	¢35 000,00		¢160 000,00
Asistencia técnica específica:					¢470 000,00
Análisis laboratorio CEQIATEC		¢250 000,00			
Personal laboratorio Hora=2000 mil/hora	¢70 000,00				
Personal APOC Y MINAET Hora=2500 mil/hora			¢50 000,00	¢100 000,00	
Fotocopias y materiales de oficina		¢19 425,00		¢5000,00	¢24 425,00
TRANSPORTE		¢30 745,00			¢245 145,00
Público(Bus) **					
Propio		¢12 000,00			
Oficial				¢30 000,00	
Acarreo de materiales (arenas, grava, tarimas)				¢40 000,00	
Traslado de muestras de Cariari- Cartago(2 veces ida y vuelta)	¢132 400,00				
Alimentación estudiante		¢19 250,00			¢19 250,00
Viáticos				¢20 000,00	¢20 000,00
OTROS:					
Subtotal					¢1 603973
Imprevistos 10%					¢160 397
Póliza del INS					¢10 000
Administración 5%					¢80 198
COSTO TOTAL PROYECTO					¢1 854568

* Mano de obra contempla ₡30 000 por uso de herramientas como taladro, welding, extensiones, metado, 5% impuesto sobre la factura y horas operario.

**Transporte Público:

- Bus de San José-Guápiles (63 km): ₡1360
- Bus de Guápiles-Cariari (20 km): ₡495
- Bus de Cariari-Pavona o Casas Verdes (15 km): ₡600

Traslado de muestras Monte Rey-TEC:

Si es gasolina ₡331 por kilómetro

Si es diésel ₡297 por kilómetros

TOTAL DE KM: 63+20+17=100 =200 km (ida y vuelta de un viaje)

Fuente: unidad de transportes ITCR

***Fuente: <http://www.cfia.or.cr>.

Contrapartida APOC

Rubro	Monto ₡	Monto\$	Proveedor
<i>Arenas y Grava</i>	200 000	396	Juan Manuel Salas Garita
<i>Accesorios y materiales</i>	20 719	41	Almacenes El Colono S.A, Guápiles
<i>Estañones</i>	124 005	245	Almacén Don Julio, Guápiles
<i>Accesorios y materiales varios</i>	272 260	539	Almacén Don Julio, Guápiles
<i>Servicios técnicos de modificación sistema</i>	35 000	59	Manuel Brenes Guevara
<i>Asistencia técnica específica</i>	50 000	99	
TOTAL	701 984	1379	

Tipo de cambio 504,88 actualizado al 15 diciembre 2013.Fuente: Banco Central de Costa Rica

Contrapartida FOSDE-ITCR

Rubro	Monto ¢	Monto\$	Proveedor
<i>Servicios de soldadura y fontanería</i>	125 000	248	Manuel Brenes Guevara
<i>Accesorios y materiales</i>	20 702	41	Almacenes El Colono Guápiles S.A
<i>Accesorios y materiales</i>	18 557	37	Almacenes El Colono Guápiles S.A
<i>Accesorios y materiales</i>	8910	18	Almacén Don Julio, Guápiles
<i>Pruebas físico-químicas y microbiológicas</i>	250 000	495	CEQIATEC
<i>Alimentación</i>	19 250	38	Mesías Ureña
<i>Fotocopias y materiales</i>	19 425	38	
<i>Transporte Público y propio</i>	42 745	85	
TOTAL	504 589	1000	

Tipo de cambio 504,88 actualizado al 15 diciembre 2013.Fuente: Banco Central de Costa Rica

Apéndice 6.Otros cargos de presupuesto

	Por hora	Por día	Por semana	Por mes	Hora extra
Mano de obra	¢1240	¢9926	¢59 605	¢258 090	¢1861

Fuente:Ministerio de Trabajo, Cartago

9. ANEXOS

Anexo 1. Especificaciones técnicas de los filtros

Cuadro 17. Variables principales en el diseño de filtros

Variable	Significado
<i>1. Características del medio filtrante</i>	Afecta la eficiencia en remoción de partículas y el incremento en pérdida de carga.
<i>a. Tamaño del grano</i>	
<i>b. Distribución granulométrica</i>	
<i>c. Forma, densidad y composición del grano.</i>	
<i>d. Carga del medio</i>	
<i>2. Porosidad del medio filtrante</i>	Determina la cantidad de sólidos que pueden almacenarse en el filtro
<i>3. Profundidad del lecho filtrante</i>	Afecta la pérdida de carga y la duración de la carrera.
<i>4. Tasa de filtración</i>	Determina el área requerida y la pérdida de carga. Afecta la calidad del efluente.
<i>5. Pérdida de carga disponible</i>	Variable de diseño

Fuente: Elaboración propia con información de manual de laboratorio de aguas, 2011

Cuadro 18. Principales características de filtros

Características	Filtros lentos de arena	Filtros rápidos de arena
<i>Tasa de filtración</i>	2-5 (<12 m/d)	120 m/d
<i>Medio</i>	arena	arena
<i>Distribución del medio</i>	No estratificado	Estratificado: fino a grueso
<i>Duración de carrera</i>	20-60 días	12-36 horas
<i>Pérdida de carga</i>	Inicial: 0,6 m Final: 1,2 m	Inicial: 0,3 m Final: 2,4-3m
<i>Agua de lavado</i>	No usa	2-4% de agua filtrada
<i>Profundidad del medio</i>	0,6-1,0 m	0,60-0,75 m
<i>Profundidad de grava</i>	0,30 m	0,30-0,45
<i>Drenaje</i>	Tubería perforada	Tubería perforada falsos fondos

Fuente: Elaboración propia con información de manual de laboratorio de aguas, 2011

Cuadro 19. Granulometría de un filtro lento de arena

Criterios de diseño	Valores recomendados
<i>Altura de arena(m)</i>	
<i>Inicial</i>	1
<i>Mínima</i>	0,5
<i>Diámetro efectivo(mm)</i>	0,15-0,35
<i>Coefficiente de uniformidad</i>	
<i>Aceptable</i>	<3
<i>Deseable</i>	1,8-2,0
<i>Altura del lecho de soporte, incluye drenaje(m)</i>	0,1-0,3

Fuente: OPS, Guía para el diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas, 2005

Cuadro 20. Características típicas de medios para filtros.

	Arena sílice	Antracita	Carbón activado	Grava
<i>densidad(Kg/m3)</i>	2650	1450-1730	1300-1500	3600-4200
<i>porosidad(ε)</i>	0,42-0,47	0,50-0,60	0,5	0,45-0,55
<i>esfericidad(Ψ)</i>	0,7-0,8	0,46-0,60	0,75	0,6

Fuente: (Association, American Water Works, 2011)

Anexo 2. Parámetros de diseño

1) Tasa de filtración

$$\text{Tasa de filtración} = \frac{\text{Fuerza impulsora}}{\text{Resistencia del filtro}}$$

Por lo tanto si se desea mantener una tasa constante de filtración, la fuerza impulsora debe de aumentar proporcionalmente al aumento en la resistencia del filtro, de lo contrario, el caudal a través del filtro declina y la filtración será de tasa declinante (Manual de laboratorio de aguas ITCR, 2010).

Cuadro 21. Tasa de filtración del filtro rápido y lento.

<i>Filtro</i>	<i>Tasa de filtración:</i>
<i>Rápido</i>	3 a 5 gal/min-pies ² (2,04 a 3,40 l/s-m ²)
<i>Lento</i>	0,05 a 0,15 gal/min-pies ² (0,034 a 0,11 L/s-m ²)

Fuente: (Reynolds & A.Richards, 1996)

2) Selección del medio filtrante

En una arena gruesa la permeabilidad es mayor que en una arena fina, aunque la porosidad, y el volumen de vacíos, sean igual. Los poros pequeños de la arena fina causan mayor resistencia al flujo, o sea menor permeabilidad.

La arena de gradación uniforme posee mayor porosidad que una no uniforme, y por ello, mayor permeabilidad.

Alien Hazen (1892) definió el tamaño efectivo, como el tamaño de partícula o del grano, en mm, en otras palabras, es el tamaño del tamiz, en mm, que permite el paso del 10% del medio filtrante (TE=d₁₀).

De la misma manera, Hazen definió el coeficiente de uniformidad (CU), como sigue:

$$CU = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{\text{Tamaño partícula del 60\% que pasa}}{\text{Tamaño de partícula del 10\% que pasa}} = \frac{d_{60}}{TE}$$

Arena

El manual de diseño de plantas de tratamiento de la AWWA señala: la mayoría de filtros rápidos de arena usan arena con TE de 0,35-0,50 mm. El CU es generalmente 1,3-1,7 y la profundidad de 60-75 cm.

Lecho y Grava

El lecho de grava ideal es uno en el cual ésta es casi esférica en forma y existe un incremento uniforme en tamaño desde el techo hasta el fondo. La profundidad del lecho de grava puede variar entre 15 y 60 cm, es usual una profundidad de 45 cm en filtros rápidos. La capa de fondo debe extenderse por lo menos 10 cm sobre el punto de salida más alto del agua de lavado proveniente del sistema de drenaje. La grava debe ser dura, redondeada, con una densidad relativa promedio no menor de 2,5.

Antracita

La antracita se usa con tamaños entre 0,6 y 1,4 mm y su peso específico no debe ser menor de 1,55. Una de las principales características de la antracita deber ser la durabilidad para que pueda resistir la abrasión producida por el lavado sin desintegrarse. Debe buscarse que no más del 1% se pierda después de 60 horas de lavado. Su porosidad varía entre el 50 y el 55% y su capacidad de retención de material es mayor que la de la arena. (PAHO)

3) Relación de vacíos

La porosidad del lecho filtrante (no la porosidad individual de cada grano) tiene una fuerte influencia en la pérdida de carga y la efectividad de filtración en el medio filtrante. (Crittenden, Trussell, Hand, Howe, & Tchobanoglous, 2012). La porosidad o relación de espacios vacíos se calcula de la siguiente manera:

$$\varepsilon = \frac{Vv}{VT} = \frac{VT - VM}{VT}$$

Donde ε =porosidad (adimensional)

Vv =espacio de volumen en el medio filtrante (m^3)

VT =volumen total del medio (m^3)

VM = volumen del medio (m^3)

Frecuentemente a menor porosidad mejor efluente se obtiene, pero la pérdida de carga aumenta más rápidamente debido a una menor capacidad de almacenaje de partículas en los poros (OPS, Teoría,diseño y control de los procesos de clarificación del agua).

Cuadro 22. Propiedades típicas de un medio filtrante usado en filtros rápidos.

Propiedad	Unidad	Arena	Antracita
<i>Tamaño efectivo</i>	mm	0,4-0,8	0,8-2,0
<i>Coefficiente de Uniformidad</i>	CU	1,3-1,7	1,3-1,7
<i>Densidad</i>	g/ml	2,65	1,4-1,8
<i>Porosidad</i>	%	40-43	47-52

Fuente: (Crittenden, Trussell, Hand, Howe, & Tchobanoglous, 2012)

4) Pérdida de carga

Al pasar un fluido Q, a través de un lecho filtrante granular de profundidad L, la fricción que el fluido sufre al atravesar los poros produce una pérdida de carga h. Si el fluido no tuviera partículas en suspensión, esta pérdida de carga inicial será constante a través de toda la carrera de filtración. Pero, como ordinariamente tiene sólidos en suspensión, éstos irán recubriendo los granos del lecho, incrementarán su diámetro y disminuirán su porosidad inicial, con lo que la pérdida de carga irá incrementándose por la disminución del área del paso del flujo (Yactayo).

Las arenas angulosas o trituradas si bien tienen una mayor porosidad, producen una pérdida de carga inicial más alta y son más difíciles para lavarlas adecuadamente. Se prefiere arenas de ríos, de formas redondeadas o esferoidales (OPS, Teoría, diseño y control de los procesos de clarificación del agua).

Utilizando la siguiente ecuación se analiza la resistencia máxima al flujo del material filtrante (Escalante, 2003)

$$H_m = \frac{\gamma_f - \gamma_w}{\gamma_w} (1 - p)L$$

Donde :

γ_f = densidad del material filtrante

γ_w = densidad del agua

p = relación de vacíos

L= grosor de capa

Anexo 3. Operación, mantenimiento y limpieza de los filtros

Filtración lenta

El mantenimiento del filtro lento consiste en el lavado o cambio de la parte superior del lecho filtrante (la arena). Esta capa suele tornarse con el tiempo de color, más oscuro (gris oscuro, si el original es claro), indicador que la capa superior se aproxima a la colmatación. Por tanto, se debe proceder, bien sea a cambiar la capa de cerca de 5 cm de la parte superior del lecho o a retirarla, lavarla y volver a colocarla en el sitio original (Matriz, 2001).

El control de la velocidad de filtración es la clave en el adecuado funcionamiento de un filtro lento de arena. Es importante evitar fluctuaciones rápidas en la tasa de filtración porque la flora bacteriana en el lecho filtrante requiere tiempo para ajustarse a nuevas condiciones (Cordero & Ullauri, 2011). Una excesiva entrega de agua cruda dentro del filtro podría causar sobre flujo, a través de las salidas, mientras que una reducción de la tasa puede ocasionar que se rebose la capa sobrenadante de agua.

Algunas recomendaciones que citan Aguilar y Rosales (1998) es que el filtro no debe moverse de su lugar, después de llenarlo con el material filtrante, para evitar que se muevan y alteren las capas de arena y grava. Si el filtro se tiene que mover distancias pequeñas, asegurarse que sufra el mínimo de vibraciones o golpes. No se deben usar arenas de ríos contaminados y el filtro no debe usarse como recipiente para almacenar el agua.

Para comprender mejor el procedimiento de limpieza del filtro se indican una serie de pasos para tal fin.

1. Drenar el agua sobrenadante por completo
2. Con ayuda de una espátula raspar la parte superior del lecho de arena aproximadamente 2 a 3 cm, retirar la arena sucia a un recipiente para ser lavado.
3. Una vez lavada la arena, reponerla en el filtro e igualar la superficie.
4. Iniciar nuevamente la operación del filtro.

5. Cada 2 o 3 meses vaciar toda la arena, limpiar las paredes y lavar la arena. Cernir nuevamente la arena y volver a colocar en el filtro por capas.

Nota: no lavar la arena con detergentes ni desinfectantes, solo con agua limpia con la ayuda de una pala pequeña hasta que el agua de lavado quede limpia.

Filtración rápida de flujo ascendente

En algunas ocasiones los filtros están equipados con un dispositivo de control de ritmo en la línea del afluente o del efluente. Estos controladores del ritmo del filtro proporcionan una resistencia ajustable al flujo del agua. Se abren gradual y automáticamente para compensar la creciente resistencia del lecho del filtro y así, mantener constantes las condiciones de operación del filtro rápido (OPS & OMS, Filtración Rápida).

Cuando después de cierto tiempo de operación, se abre completamente el controlador del ritmo del filtro, ya no se podrá compensar un nuevo atoro del lecho del filtro y el ritmo de filtración disminuirá, indicador de que debe lavarse por corriente de agua limpia.

Los sólidos removidos del agua son retenidos en el lecho del filtro, los mismos deben ser removidos cuando se realiza el lavado en contra corriente, mediante el proceso de drenado del falso fondo (Unicef ;M M AyA, 2008)

La limpieza de la unidad de filtración se debe realizar cada vez que se colmate el material filtrante, esto puede apreciarse cuando aflora sólidos sobre la superficie de la arena.

Anexo 4. Límites recomendados y máximos permitidos de acuerdo al Reglamento de Calidad para Agua Potable.

Parámetro	Unidad	Valor recomendado	Valor Máximo admisible
<i>Color aparente</i>	mg/L(U-Pt-Co)	5	15
<i>turbiedad</i>	UNT	<1	5
<i>Olor</i>		debe ser aceptable	debe ser aceptable
<i>sabor</i>		debe ser aceptable	debe ser aceptable
<i>temperatura</i>	°C	18	30
<i>ph</i>	Valor ph	6,5	8,5
<i>conductividad</i>	µs/cm	400	
<i>cloro residual libre</i>	mg/L	0,3	0,6
<i>Dureza total</i>	mg/L	400	500
<i>Cloruro</i>	mg/L	25	250
<i>Nitrato</i>	mg/L	25	50
<i>Sulfato</i>	mg/L	25	250
<i>Calcio</i>	mg/L	100	
<i>Magnesio</i>	mg/L	30	50
<i>Hierro</i>	mg/L		0,3
<i>Manganeso</i>	mg/L	0,1	0,5
<i>Sodio</i>	mg/L	25	200
<i>Aluminio</i>	mg/L	0,2	
<i>Zinc</i>	mg/L		3,0
<i>Cobre</i>	mg/L	1,0	2,0
<i>Cadmio</i>	mg/L		0,003
<i>Cromo</i>	mg/L		0,05
<i>Coliforme fecal</i>	NMP/100 ml	Ausente	Ausente
<i>Escherichia Coli</i>	NMP/100 ml	Ausente	Ausente

Fuente: Decreto 32327-S

Anexo 5. Caja Costarricense del Seguro Social. Área de Salud Cariari

Las personas que viven en Monte Rey son atendidas en el EBAIS de La Esperanza ubicado a 6 Km de la comunidad. El EBAIS envía a la Clínica de Cariari cada tres años un manual de informes estadísticos del total de asegurados distribuidos en poblaciones cercanas al EBAIS.

El objetivo de las visitas a la Clínica de Cariari consistió en recopilar información de principales causas de consultas de los habitantes de Monte Rey. Entre esas consultas, aquellas que tuvieran relación con contaminación de agua para consumo humano o diagnósticos médicos relacionados. Esto con el fin de comprobar incidencia de enfermedades debido de la situación actual en la que se encuentran los pozos y la manipulación del agua dentro de los hogares. Sin embargo, en los informes que maneja la CCSS, llamados AISIS (Análisis de la Situación Integral en Salud) no se incluye documentación de casos por cada comunidad o población adscrita que atiende el EBAIS, por lo que la búsqueda fue provechosa para conocer en general y por termino de 3 años los tipos de diagnósticos que recibe el EBAIS, no así un estudio en particular de Monte Rey.

El EBAIS asigna un grupo de funcionarios en atención primaria a un sector geográfico, con una población que oscila entre 2500-6000 habitantes.

El Análisis de la Situación Integral en Salud (ASIS) es un proceso compartido entre actores sociales mediante el cual se describe y explica en un momento dado la producción de salud referida a un espacio-población, según sus condiciones de vida. Sea un sector, área o región de salud. En este proceso se interrelacionan variables de cuatro dimensiones: biológica, económica, ecológica, conciencia y conducta.

EBAIS de la Esperanza construido en 1998, pertenece al Área de Salud Cariari, limita al este con llano Bonito, al sur con Cuatro Esquinas, al norte con Río la Suerte, al oeste con los Ángeles y Palmitas.

La división territorial de la Esperanza está compuesta por las comunidades de Campo Dos, La Esperanza, Cuatro Esquinas, Asentamiento el Mana y Johema, Palacios, Asentamiento Monte Rey, Casas Verdes y El Ceibo.

La Esperanza tiene una población de 4979 habitantes distribuidos en 2543 hombres y 2436 mujeres. Mayoría en edades entre 15-50 años.

Causas por consulta: control en salud, infecciones en las vías respiratorias superiores, hipertensión arterial, planificación y lumbalgias.

Principales causas de muerte: homicidios y enfermedad cardiovascular.

Cuadro 23. Lista de enfermedades de declaración obligatoria 2009-2011

Enfermedad infecciosa intestinal	2009	2010	2011
<i>Colera</i>	0	0	0
<i>Diarrea</i>	32	40	41
<i>Zoonosis bacteriana</i>			
<i>Leptospirosis</i>	1	1	0
<i>Hepatitis Viral</i>			
<i>Hepatitis Viral A</i>	4	0	0
<i>Enfermedades protozoarios</i>			
<i>Paludismo</i>	0	0	0
<i>Leishmaniasis</i>	0	5	3
<i>Enfermedad Chagas</i>	0	1	0
<i>Helmintiasis</i>			
<i>Ascaris</i>	3	0	2

Fuente: elaboración propia con información del EBAIS “La Esperanza”

Cuadro 24. Veinte principales causas de consulta durante el 2009-2010

	2009	2010
Tipo de diagnóstico	Cantidad de consulta	Cantidad de consulta
<i>Control en salud</i>	946	1182
<i>Control para examen</i>	837	1046
<i>Hipertensión arterial</i>	744	930
<i>Control prenatal</i>	524	655
<i>Infecciones de vías respiratorias superiores</i>	477	596
<i>Planificación familiar</i>	296	370
<i>Diabetes Mellitus</i>	255	319
<i>Faringitis aguda</i>	216	270
<i>Tamizaje de adolescente</i>	204	255
<i>Infección del tracto urinario</i>	157	196

<i>Anemia</i>	151	189
<i>Dislipidemia</i>	130	163
<i>Bronquitis</i>	124	155
<i>Síndrome de colon irritable</i>	106	133
<i>Gastritis aguda</i>	87	109
<i>Dictamen médico</i>	81	101
<i>Control post parto</i>	71	89
<i>Esguince</i>	70	87
<i>Lumbalgia</i>	65	81
<i>Obesidad</i>	48	60

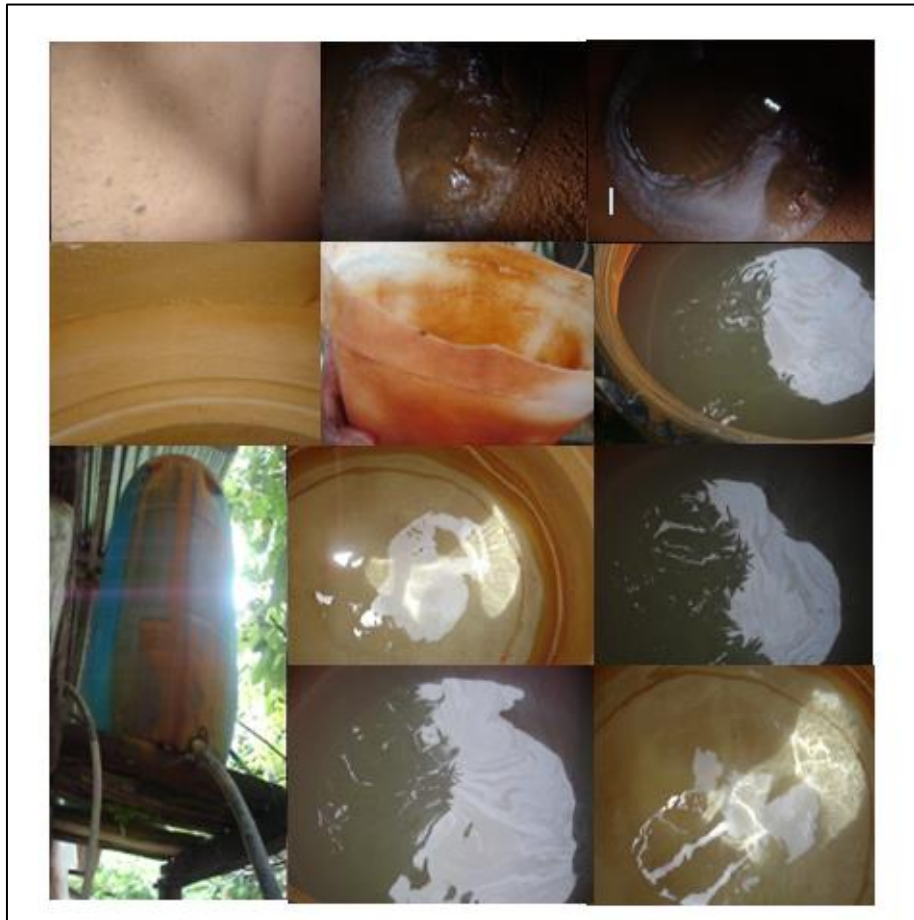
Fuente: Elaboración propia con información del EBAIS “La Esperanza”

Cuadro 25. Veinte principales causas de consulta según tipo de diagnóstico en el año 2011

	2011
Tipo de diagnóstico	Cantidad de consulta
<i>Examen general e investigación de personas</i>	1270
<i>IVRS</i>	653
<i>Hipertensión arterial</i>	468
<i>Planificación familiar</i>	421
<i>Control prenatal</i>	352
<i>Dorsalgia</i>	333
<i>Trastorno del sistema urinario</i>	297
<i>Crecimiento y desarrollo</i>	289
<i>Dislipidemia</i>	253
<i>Síndrome de colon irritable</i>	202
<i>Diabetes Mellitus</i>	180
<i>Traumas</i>	145
<i>Gastritis</i>	136
<i>Candidiasis</i>	116
<i>Dermatitis</i>	115
<i>Episodio depresivo</i>	99
<i>Contractura muscular</i>	98
<i>Abceso</i>	90
<i>Diarrea</i>	81
<i>Obesidad</i>	80

Fuente: Elaboración propia con información del EBAIS “La Esperanza”

Anexo 6. Estado de los tanques de almacenamiento de algunas viviendas el 10 octubre 2013



Anexo 7. Recorrido en la comunidad durante periodo de encuesta



Vivienda parcela 1



Vivienda lote #4



Crianza de animales



Producción 3 Ha de plátano



Proyecto Piloto aprovechamiento energía solar en la comunidad.



Compostaje casero



Almacenamiento de agroquímicos



Biodigestor en funcionamiento



Tanque séptico sin ventilación



Letrina seca para uso de peones



Drenaje de un Tanque Séptico



Tubería conectada al pozo



Agua para consumo



Bomba de 0.5 HP de un pozo perforado



Tanque de agua puesto en un árbol



Tanque de almacenamiento



Captación de agua de pozo perforado



Tanque de almacenamiento



Descarga de aguas grises al suelo



Descarga de aguas residuales



Quebrada ubicada en el patio



Reciclaje de plásticos

Anexo 8 Cotización

Centro de Investigación y de Servicios Químicos y Microbiológicos –CEQIATEC-
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Teléfono: 2591-5149 o 2550-2368 Fax 2591-5147
E-mail: ceqiatec@itcr.ac.cr
Apartado 159-7050 Cartago

17 de diciembre, 2013

Srita.
Sthefanny Hernández


Estimada señorita:

Después de saludarla cordialmente me permito presentar cotización para realizar los siguientes análisis microbiológicos y físico-químicos en agua:


Parámetro	Precio unitario (por muestra g)
Coliformes termotolerantes o fecales y totales (*)	13 000.00
E. coli (*) (se le hace el análisis solo en caso que los coliformes fecales estuvieran positivos)	8 500.00
Color aparente	5 500.00
Turbiedad	5 500.00
Temperatura (*)	1 100.00
PH (*)	3 300.00
Conductividad (*)	3 200.00
Cloro residual libre (*)	2 000.00
Hierro (*)	9 000.00
Manganeso (*)	9 000.00
Sólidos Totales	4 000.00
Sólidos Suspendedos totales (*)	4 000.00
Oxígeno Disuelto	5 000.00
Dureza Total	5 000.00
Total	78 100.00

(*) ensayos acreditados ante el Ente Costarricense de Acreditación, según la Norma INTE/ISO/IEC 17025:2005, (ver alcance de acreditación en www.eca.or.cr)

Anexo 9. Resultados de los análisis de dos muestras de agua recolectadas durante la evaluación del sistema.



CEQIA-TEC
Centro de Investigación y Servicios Químicos y Microbiológicos



ECA
Laboratorio de Ensayo
Alcance de Acreditación N° 12.004
Acreditado a partir de 30.06.2006
Alcance disponible en www.eca.or.cr

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
FUNDACIÓN TECNOLÓGICA DE COSTA RICA

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS (CEQIATEC)
☎ (506) 2591-5149 ó 2550-2368, Fax: (506) 2591-5147, Apartado 159-7050 Cartago,
E-mail ceqiatec@itcr.ac.cr / ceqiatec@gmail.com

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE AGUA
ENSAYOS ACREDITADOS*

PROCEDENCIA: STEFANY HERNANDEZ

FECHA DE RECIBO: 05-12-13
FECHA INICIO ANALISIS: 06-12-13
FECHA DE INFORME: 11-12-13

OBJETIVO DEL ANALISIS: CONTROL EVALUACION

N° DE INFORME: 191213

NUMERO MUESTRA	IDENTIFICACIÓN	COLIFORMES TOTALES NMP/100 mL (*)	COLIFORMES FECALES NMP/100 mL (*)	<i>E.coli</i> NMP/100 mL (*)
1	Muestra B Pozo B	<1,8	<1,8	<1,8
2	Muestra A Pozo B	<1,8	<1,8	<1,8

ULTIMA LINEA

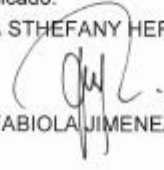
(*) ensayos acreditados ante el Ente Costarricense de Acreditación (ECA) según la Norma INTE/ISO/IEC 17025:2005 (ver alcance de acreditación en www.eca.or.cr)

TIPO DE MUESTREO: Realizado por el cliente


OBSERVACIONES:

- ☉ La técnica usada para la detección de bacterias coliformes fue de N.M.P. (Número más Probable) del Standard Methods for the examination of water and wastewater 22nded. 2012 APHA-AWWA-WEF.
- ☉ Para los análisis de *E.coli* se utilizó la Técnica de NMP por LXM®
- ☉ De acuerdo al Reglamento para la Calidad de Agua Potable, Decreto # 32327-S la muestra se considera de calidad potable
- ☉ La muestra pertenece a MONTERREY-CARIARI según información suministrada por el Cliente.
- ☉ Los resultados emitidos en este reporte sólo son válidos para la muestra tomada en el momento y el día arriba indicado.

SOLICITADO POR: SRITA STEFANY HERNANDEZ



Dra. Fabiola Jiménez Rodríguez
MQC Cod. 1277



CEQIA-TEC
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS

REALIZADO POR: DRA. FABIOLA JIMENEZ RODRIGUEZ

Prohibida su reproducción
Página 1 de 1
de informe: 191213

FUNDACIÓN TECNOLÓGICA DE COSTA RICA (FUNDATEC)
(Fundación del Instituto Tecnológico de Costa Rica)

CENTRO DE INVESTIGACION Y DE SERVICIOS QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS (CEQIATEC)
☎ (506) 2591-5149 ó 2550-2368, Fax: (506) 2591-5147, Apartado 159-7050 Cartago.
Email: ceqiatec@itcr.ac.cr / ceqiatec@gmail.com

RESULTADO DE ANALISIS QUIMICO

TIPO DE MUESTRA:	AGUA DE POZO	FECHA DE RECIBO:	05-12-13
ESTADO DE LA MUESTRA:	LIQUIDA	FECHA INICIO ANÁLISIS	10-12-13
PROCEDENCIA:	STHEFANY HERNANDEZ	FECHA DE INFORME:	13-12-13
		Nº DE INFORME:	191213
OBJETIVO DEL ANÁLISIS: <input checked="" type="checkbox"/> CONTROL <input type="checkbox"/> EVALUACIÓN			
ANÁLISIS	RESULTADOS		
	01	02	
Sólidos totales (mg/L) **	(165 ± 3)	(185 ± 3)	
Sólidos suspendidos (mg/L) *	< 10	< 10	
Hierro (mg/L) *	(0,39 ± 0,15)	(1,35 ± 0,15)	
Manganeso (mg/L) *	(0,16 ± 0,01)	(0,17 ± 0,01)	
-----Ultima línea-----			

Los análisis fueron realizados de acuerdo con los métodos descritos en el Manual de Procedimientos Técnicos de Química (PT-QUI) todos basados en la 22th edición del Standard Methods for the Examination of water and Wastewater. 2012.

(*) Ensayo acreditado ante el Ente Costarricense de Acreditación según la Norma INTE/ISO/IEC 17025:2005. Ver alcance de la acreditación en la página (www.eca.or.cr).

(**) ensayo no acreditado

TIPO DE MUESTREO: Realizado por el Cliente

OBSERVACIONES:

Muestra 01: Muestra B Pozo 8. Monterrey Cariari

Muestra 02: Muestra A Pozo 8. Monterrey Cariari

ND: No detectable

Permiso Sanitario de funcionamiento del CEQIATEC: No. 2962-2013

(±) La incertidumbre que se reporta, es una incertidumbre expandida, calculada usando un factor de cobertura (k) de 2, lo cual da un nivel de confianza de aproximadamente el 95%.