



**UNIVERSIDAD DE
MANIZALES**

**ESTUDIO DE ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA EL TRATAMIENTO
BÁSICO DEL AGUA LLUVIA DE USO DOMÉSTICO EN EL CONSEJO
COMUNITARIO DE LA COMUNIDAD NEGRA DE LOS LAGOS,
BUENAVENTURA**

NIXON ARBOLEDA MONTAÑO

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS CONTABLES ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS
MAESTRÍA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE
MANIZALES, COLOMBIA**

AÑO 2014

**ESTUDIO DE ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA EL TRATAMIENTO
BÁSICO DEL AGUA LLUVIA DE USO DOMÉSTICO EN EL CONSEJO
COMUNITARIO DE LA COMUNIDAD NEGRA DE LOS LAGOS,
BUENAVENTURA**

NIXON ARBOLEDA MONTAÑO

**Trabajo de investigación presentado como requisito para optar al título de
Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente**

**Director:
Ph.D. JUAN CARLOS MONTOYA SALAZAR**

**Línea de Investigación:
Biosistemas integrados**

**UNIVERSIDAD DE MANIZALES
FACULTAD DE CIENCIAS CONTABLES ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS
MAESTRÍA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE
MANIZALES, COLOMBIA**

AÑO 2014

“A esas comunidades rurales del pacífico colombiano que han sobrevivido merced al aprovechamiento del agua lluvia”

AGRADECIMIENTOS

- ❖ *A todas las personas del Consejo Comunitario de la Comunidad Negra de Los Lagos.*
- ❖ *Al profesor Juan Carlos Montoya Salazar por su inmensa paciencia y colaboración en la realización de mi trabajo de grado.*
- ❖ *A la Universidad de Manizales por la formación brindada.*

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO.....	11
INTRODUCCIÓN.....	12
1. PROBLEMA.....	14
1.1 Definición del problema.....	14
1.2. Pregunta de investigación.....	14
2. JUSTIFICACIÓN.....	15
3. OBJETIVOS.....	16
3.1. Objetivo general.....	16
3.2. Objetivos específicos.....	16
4. MARCO REFERENCIA.....	17
4.1. Marco geográfico.....	17
4.1.1. <i>Localización de la Comunidad Negra de los Lagos</i>	18
4.2. Marco teórico.....	19
4.2.1. <i>Fuentes de abastecimiento de aguas naturales y sus usos</i>	19
4.2.2. <i>Contaminación hídrica</i>	22
4.2.3. <i>Características del agua</i>	24
4.2.3.1. <i>Índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano (IRCA)</i>	26
4.2.4. <i>Ventajas y desventajas de la captación de agua de lluvia</i>	40
4.2.5. <i>Captación de agua lluvia</i>	42
4.2.5.1. <i>Factor Técnico</i>	43
4.2.5.2. <i>Factor Económico</i>	43
4.2.5.3. <i>Factor Social</i>	43
4.2.5.4. <i>Componentes de la captación de agua lluvia</i>	44
4.2.5.4.1. <i>Área de captación</i>	44
4.2.5.4.2. <i>Recolección y Conducción</i>	47
4.2.5.4.3. <i>Interceptor</i>	48
4.2.5.4.4. <i>Almacenamiento</i>	49
4.2.6. <i>Tratamientos básicos del agua lluvia</i>	54
4.2.6.1. <i>Filtros de mesa</i>	55
4.2.6.2. <i>Microfiltración</i>	59
4.2.6.3. <i>Purificador de agua microbiológico instantáneo LifeStraw Family</i>	62
4.2.6.4. <i>Filtro lento de arena (a nivel domiciliario)</i>	65
4.2.6.5. <i>Filtro casero de CARPOM</i>	67
4.2.6.6. <i>FILTRON: Filtro de cerámica para agua potable</i>	69
4.2.6.7. <i>SODIS</i>	71
4.2.6.8. <i>Filtro de plástico con elementos de disco</i>	74
4.2.6.9. <i>Filtro de plástico con malla</i>	76
4.2.6.10. <i>Métodos artesanales y alternativos</i>	77
4.3. Marco legal.....	81
5. METODOLOGÍA.....	82
5.1 Método de estudio.....	82
5.2 Tipo de estudio.....	82
5.3 Materiales y métodos.....	82

5.3.1. Fase I. Determinación de la situación actual de aprovechamiento de uso doméstico del agua lluvia.....	82
5.3.1.1. <i>Recorridos de campo, encuestas y entrevistas</i>	82
5.3.1.2. <i>Determinación del potencial de aprovechamiento de agua lluvia</i>	82
5.3.2. Fase 2. <i>Análisis de la calidad del agua lluvia captada (objetivo 2)</i>	83
5.3.2.1. <i>Análisis de la calidad del agua lluvia captada sin ningún tratamiento (periodo 1)</i>	84
5.3.2.2. <i>Análisis de la calidad del agua lluvia captada con tratamiento (periodo 2)</i>	86
5.3.2.3. <i>Análisis estadístico parámetros físico-químicos</i>	87
5.3.2.4. <i>Índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano</i>	88
5.3.3. Fase 3. <i>Clasificación de las debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas de uso doméstico del agua lluvia (Objetivo 3)</i>	89
5.3.4. Fase 4. <i>Comparar alternativas tecnológicas de aprovechamiento del agua lluvia orientada al uso doméstico, y determinar cuál es la más apropiada para la zona de estudio</i>	90
6. RESULTADOS.....	91
6.1. Descripción general del área de estudio.....	91
6.2. Aprovechamiento de uso doméstico del agua lluvia.....	91
6.2.1. <i>Captación del agua lluvia</i>	92
6.2.2. <i>Recolección y conducción del agua lluvia</i>	94
6.2.3. <i>Almacenamiento del agua lluvia</i>	96
6.3. Potencial de aprovechamiento de agua lluvia.....	98
6.4. Calidad del agua lluvia captada.....	102
6.4.1. <i>Parámetros microbiológicos</i>	102
6.4.1.1. <i>Parámetros microbiológicos sin aplicación de alternativas tecnológicas</i>	102
6.4.1.2. <i>Parámetros microbiológicos con aplicación de alternativas tecnológicas</i>	104
6.4.2. <i>Parámetros fisicoquímicos</i>	105
6.4.2.1. <i>Parámetros fisicoquímicos sin aplicación de alternativas tecnológicas</i>	105
6.4.2.2. <i>Parámetros fisicoquímicos con aplicación de alternativas tecnológicas</i>	109
6.4.2.2.1. <i>Análisis de varianza parámetros físico-químicos</i>	111
6.4.3. <i>Índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano</i>	112
6.4.3.1. <i>Índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano sin aplicación de alternativas tecnológicas</i>	112
6.4.3.2. <i>Índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano con aplicación de alternativas tecnológicas</i>	113
6.5. <i>Análisis DOFA</i>	114
6.6. <i>Evaluación de alternativas de manejo</i>	121
7. CONCLUSIONES.....	125
8. RECOMENDACIONES.....	125
BIBLIOGRAFIA.....	127

FIGURAS

Figura 1. Localización y extensión del distrito de Buenaventura en el departamento del Valle del Cauca.....	17
Figura 2. Localización del Consejo Comunitario de la Comunidad Negra de los Lagos en el Distrito de Buenaventura.....	19
Figura 3. Composición química del agua.....	20
Figura 4. Sistema de captación de agua de lluvia en techos.....	44
Figura 5. Ladera recubierta con concreto en forma de abanico.....	46
Figura 6. Formas de canaletas de construcción sencilla.....	47
Figura 7. Canaletas con malla para evitar la contaminación por hojas.....	48
Figura 8. Tanques o cisternas de ferrocemento.....	50
Figura 9. Cisternas revestidas con geomembrana y polietileno.....	52
Figura 10. Cisternas de metal para aprovechamiento de agua lluvia.....	52
Figura 11. Tanque de polietileno para almacenar agua lluvia.....	53
Figura 12. Cisterna de madera de pino con tensores para almacenar 5 m ³	54
Figura 13. Filtro de velas filtrantes.....	56
Figura 14. Filtro de velas cerámicas con prefiltro de arena.....	57
Figura 15. Características del Filtro de arena.....	58
Figura 16. Adición de alumbre al agua.....	60
Figura 17. Formación y sedimentación de partículas.....	60
Figura 18. Filtración de agua clarificada.....	60
Figura 19. Principales elementos de la microfiltración con alumbre.....	61
Figura 20. Purificador de agua microbiológico instantáneo LifeStraw Family.....	63
Figura 21. Filtro lento de arena.....	66
Figura 22. Filtro casero de CARPOM.....	68
Figura 23. Filtro de cerámica para agua potable.....	69
Figura 24. Tratamiento del agua mediante la tecnología SODIS.....	72
Figura 25. Procedimiento para el tratamiento del agua mediante la tecnología SEDIS.....	73
Figura 26. El Filtro de plástico con elementos de disco.....	74
Figura 27. Parte interna del filtro de plástico con elementos de disco.....	75
Figura 28. Filtro de plástico con malla.....	76
Figura 29. Parte interna del filtro de plástico con malla.....	76
Figura 30. Metodología para el análisis de la calidad de las aguas lluvias en el CCCN Los Lagos.....	83
Figura 31. Rango de personas que habitan las viviendas.....	92
Figura 32. Materiales que se utilizan en los techos de las viviendas.....	93
Figura 33. Techo en zinc utilizado en las viviendas.....	93
Figura 34. Techo en asbesto utilizado en las viviendas.....	94
Figura 35. Canaletas en zinc para conducir el agua en las viviendas.....	95
Figura 36. Canaletas en asbesto para conducir el agua en las viviendas.....	95
Figura 37. Diferentes recipientes plásticos para el almacenamiento del agua lluvia.....	96

Figura 38. Diferentes recipientes plásticos y de cemento para el almacenamiento del agua lluvia.....	96
Figura 39. Pila y recipiente metálico para el almacenamiento del agua lluvia.....	97
Figura 40. Días lluviosos por meses del año.....	101

TABLAS

Tabla 1. Estándares fisicoquímicos de la calidad del agua en Colombia.....	25
Tabla 2. Estándares microbiológicos de calidad del agua en Colombia.....	26
Tabla 3. Clasificación del nivel de riesgo en salud según el IRCA.....	26
Tabla 4. Ventajas y desventajas de los filtros de mesa.....	59
Tabla 5. Ventajas y desventajas de la microfiltración con alumbre.....	62
Tabla 6. Ventajas y desventajas del purificador de agua microbiológico instantáneo LifeStraw Family.....	65
Tabla 7. Ventajas y desventajas del filtro lento de arena.....	67
Tabla 8. Ventajas y desventajas filtro casero de CARPOM.....	69
Tabla 9. Ventajas y desventajas del FILTRON.....	71
Tabla 10. Ventajas y desventajas de la tecnología de la desinfección solar.....	74
Tabla 11. Ventajas y desventajas del filtro de plástico con elementos de disco....	75
Tabla 12. Ventajas y desventajas del filtro de plástico con malla.....	77
Tabla 13. Normativa ambiental relacionada con el recurso hídrico.....	81
Tabla 14. Parámetros a evaluar en el análisis microbiológico de la calidad del agua lluvia.....	84
Tabla 15. Parámetros a evaluar en el análisis físico-químico de la calidad del agua lluvia.....	85
Tabla 16. Clasificación adaptada del nivel de riesgo en salud según el IRCA.....	89
Tabla 17. Distribución de la población en el Consejo Comunitario de la Comunidad Negra Los Lagos.....	91
Tabla 18. Capacidad de almacenamiento de agua en las viviendas.....	97
Tabla 19. Cálculo de la capacidad mensual de captación de agua lluvia por vivienda.....	99
Tabla 20. Cálculo de disponibilidad de agua por persona.....	100
Tabla 21. Comportamiento de parámetros microbiológicos sin la aplicación de las alternativas tecnológicas.....	102
Tabla 22. Comportamiento de parámetros microbiológicos con la aplicación de las alternativas tecnológicas.....	104
Tabla 23. Estadísticas descriptivas parámetros físico-químicos (periodo: julio-septiembre).....	105
Tabla 24. Análisis de varianza (Anova) para probar la hipótesis de que no hay diferencias significativas entre los tipos de techo para cada uno de los factores físico-químicos evaluados en el agua lluvia captada.....	106
Tabla 25. Prueba de homogeneidad de varianzas.....	108

Tabla 26. Promedios parámetros físico-químicos agua captada según tipo de techo y tratamiento Utilizado.....	109
Tabla 27. Resultados análisis de varianza (contrastes multivariados).....	111
Tabla 28. IRCA para techos de zinc y asbesto sin aplicación de alternativas tecnológicas.....	112
Tabla 29. IRCA para los techos de zinc y asbesto.....	113
Tabla 30. Hoja de trabajo DOFA.....	115
Tabla 31. Matriz de impactos DOFA – Ponderado.....	117
Tabla 32. Análisis DOFA.....	119
Tabla 33. Valoración para calificar los sub-factor.....	121
Tabla 34. Alternativas tecnológicas a evaluar.....	121
Tabla 35. Evaluación del factor ambiental.....	122
Tabla 36. Evaluación del factor sociocultural.....	122
Tabla 37. Evaluación del factor económico.....	123
Tabla 38. Evaluación del factor técnico y operativo.....	123
Tabla 39. Evaluación del factor normativo.....	124
Tabla 40. Valoración final de las alternativas.....	124

ANEXOS

Anexo 1: Encuesta caracterización viviendas, diagnostico situacional captación y usos del agua lluvia.....	132
Anexo 2. Registro fotograficos de toma de muestras microbiológicas y fisicoquímicas.....	134
Anexo 3. Equipos utilizados para el tratamientos de las aguas lluvias.....	136
Anexo 4. Precipitaciones diarias en la estación meteorológica del aeropuerto de Buenaventura.....	138
Anexo 5. Resultados de análisis físico-químico.....	143
Anexo 6: Pruebas de los efectos inter-sujetos parámetros fisicoquímicos evaluados.....	154
Anexo 7. Pruebas post anova de tukey, parametros turbiedad y color.....	157

RESUMEN EJECUTIVO

La presente investigación de tipo exploratorio y descriptivo se desarrolló en cuatro fases puntuales. En la fase inicial, se llevó a cabo un análisis situacional de las condiciones en las cuales se realiza la captación del agua lluvia en el Consejo Comunitario de la Comunidad Negra Los Lagos, siendo fundamental para ello las visitas al lugar, así como también la realización de encuestas y entrevistas (anexo 1).

En una segunda fase, se realizó análisis fisicoquímicos y microbiológicos al agua lluvia recolectada sin y con tratamientos, permitiendo conocer con ello el cumplimiento o no de la normativa ambiental; además, se aplicaron análisis estadísticos para determinar correlaciones y varianzas en los resultados.

En lo que respecta a la tercera fase, teniendo como base la información recolectada anteriormente, se determinaron las debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas de la captación del agua lluvia en el Consejo Comunitario de la Comunidad Negra Los Lagos, para luego presentar estrategias conducentes a prevenir y/o mitigar las debilidades y garantizar el sostenimiento las fortalezas que se tienen respecto al aprovechamiento del agua lluvia.

En la última fase, se evaluaron cuatro alternativas tecnológicas (filtro de plástico con elementos de disco, filtro de plástico con malla, purificador de agua microbiológico instantáneo LifeStraw Family y hervido del agua). Para realizar la evaluación se tuvieron en cuenta los factores ambiental, sociocultural, económico, técnico - operativo y normativo.

Al final se pudo determinar que la alternativa tecnológica que presenta las mejores condiciones para ser implementada en el tratamiento del agua lluvia en el Consejo Comunitario de la Comunidad Negra de Los Lagos es purificador de agua microbiológico instantáneo LifeStraw Family, y como segunda opción o alternativa complementaría se recomendó la cocción o hervido del agua.

Finalmente, la relativa buena calidad del agua lluvia que precipita en las viviendas de la zona de estudio, hace que no se requieran tratamientos complejos y se puedan implementar alternativas tecnológicas sencillas para el tratamiento del agua lluvia captada.

Palabras clave: almacenamiento de agua, tratamiento del agua, calidad del agua, captación de agua lluvia.

INTRODUCCIÓN

Vida y agua son sinónimos, el 70% del cuerpo humano está conformado por agua, el 70 % del planeta está ocupado por ella. La siembra, el ganado, las aves, el náufrago, los camellos, todos los que pretendan habitar estas tierras requirieren de agua dulce. El origen y el sustento de la vida se encuentran en el agua. Se podría convivir con las peores de las injusticias, inaceptable por cierto, pero no se puede sobrevivir sin agua (Duran, 2010).

De este inmenso caudal líquido que da forma a nuestro globo, sólo el 3% es agua dulce y se encuentra en sus polos en forma de hielo, solamente disponemos de menos del 1% para uso humano, que se encuentra en ríos, lagos y en forma subterránea en los acuíferos, expuestas todas al despilfarro y la contaminación (Duran, Op Cit).

Actualmente alrededor de 1.100 millones de personas no tiene acceso al agua tratada y más de 2.600 millones de personas carecen de servicios de saneamiento básico. La insuficiencia de agua afecta a cerca de 2.000 millones de personas en el mundo (Guhl, 2007). Si no se toman medidas para revertir la tendencia, una de cada tres personas estará viviendo en un país con escasez de agua potable. Del mismo modo, si bien el problema afecta a todos los países, los más perjudicados son los de las economías más pobres, donde nace el 95% de las 80 millones de personas que cada año incrementan la población del planeta (Duran, Op Cit).

Se prevé que en los próximos veinte años el promedio mundial de abastecimiento de agua por habitante disminuirá en un tercio a causa del crecimiento de la población, de la contaminación y del cambio climático. A mediados de este siglo habrá 2000 millones de personas en 48 países que sufrirán de escasez de agua; el peor de los escenarios muestra a 7000 millones de personas en 60 países con ese problema (Duran, Op Cit).

Por su parte en Colombia, de acuerdo con el DANE (2013), el abastecimiento de agua presentó una cobertura de acueducto total (rural y urbano), en el año 2012 del 75,15%. En el caso del sector urbano para este mismo año tuvo una cobertura del 97% y el rural 53,3%. Lo anterior representa buenos niveles de cobertura de acueducto en las viviendas urbanas; no obstante, solo alrededor de la mitad de las viviendas del sector rural de Colombia presentan cobertura de acueducto, evidenciando una alta disparidad en la cobertura de agua potable entre las cabeceras y las zonas rurales.

Los bajos niveles de cobertura de agua potable en las zonas rurales de Colombia son mayores en la región pacífica, siendo posible encontrar que en muchos municipios no existe corregimiento o vereda alguna con un sistema de acueducto, o a la sumo se encuentran en muy baja cantidad, alcanzando porcentajes muy por debajo de los promedios nacionales. Esta situación conduce a que las personas presenten inadecuadas condiciones de vida, sobre todo en el campo de la salud,

pues la falta de saneamiento en el agua es escasa, lo que da paso al desarrollo de virus y bacterias incrementando la morbilidad y mortalidad en la población.

Ante esta situación de las zonas rurales de la región pacífica, el agua lluvia ha sido para muchas de las comunidades que allí habitan la principal fuente de abastecimiento de agua, dado los altos índices de precipitación, convirtiéndola en la región más lluviosa de Colombia y una de las más lluviosas en el mundo¹.

De esta forma, las aguas lluvias representan un recurso importante para las comunidades de la zona rural en la región pacífica de Colombia, recurso del cual pueden disponer sin la necesidad de recorrer grandes distancias, merced a los sistemas tradicionales de abastecimiento que actualmente se tienen.

Pese a la captación de las aguas lluvias, en muchas viviendas no cuentan con un sistema de tratamiento, sino que por el contrario solamente se tiene área de recolección (techo), conducción y almacenamiento lo que conlleva a que la calidad de agua no sea la adecuada para el consumo humano directo, haciéndose necesario la implementación de algún sistema de tratamiento que permita potabilizar el agua o hacerla más segura de tal forma que minimice el riesgo de contraer enfermedades asociadas al consumo de este vital recurso.

Ante esta situación, la presente investigación que consiste en evaluar alternativas tecnológicas para mejorar la captación del agua lluvia para uso doméstico en el Consejo Comunitario de la Comunidad Negra de Los Lagos permitirá que con la implementación de las alternativas tecnológicas seleccionadas² pueda darle tratamiento adecuado a las aguas lluvias captadas mejorando significativamente la calidad de esta agua, y por ende, evitando los problemas y/o enfermedades asociados al consumo de agua de baja calidad.

¹ Guhl (2007) destaca que la precipitación media anual del planeta es de 900 mm, en Sur América de 1.600 mm y en Colombia es del orden de 3.000 mm, lo que hace que nuestro país tenga casi el triple de la precipitación promedio del mundo. A pesar de que Colombia es un país con un alto promedio de lluvia, en la región pacífica llueve por lo menos el doble de esa precipitación.

² También se pueden implementar sistemas de tratamiento de aguas individuales en las comunidades urbanas que cuenten con altos niveles de precipitación y tengan problemas de abastecimiento de agua por tubería.

1. PROBLEMA

1.1 Definición del problema

Históricamente en Colombia las comunidades rurales han sido las carentes de muchos servicios públicos fundamentales para su supervivencia, tales como la energía eléctrica, el servicio de aseo, alcantarillado y agua potable.

En el caso de la región pacífica colombiana se ha padecido de la carencia de acueductos que provean de agua potable tanto a los habitantes de las zonas urbanas como rurales, aunque en esta última ha sido más grave la situación, por lo que se ha recurrido a diversas fuentes de abastecimiento, tanto de aguas superficiales, como de aguas lluvias, siendo esta última en muchos casos la de mayor importancia.

De esta forma en el Consejo Comunitario de la Comunidad Negra Los Lagos tienen el agua lluvia como su principal fuente abastecedora del recurso hídrico; sin embargo, esta captación no se realiza de forma adecuada dado que la mayoría de las viviendas tiene un sistema muy básico para recolectar, transportar y almacenar el agua lluvia; este sistema fundamentalmente está compuesto por el techo de la vivienda (en su mayoría zinc), canoera o canal de conducción y el recipiente de almacenamiento, el cual puede ser una pequeña pila hecha en cemento o tanques plásticos.

La anterior situación se agrava al no aplicar un sistema de desinfección del agua captada y con la carencia de prácticas preventivas como la limpieza y revisión frecuente de los elementos utilizados en la captación del agua lluvia.

Es así como las anteriores situaciones están confluyendo en hacer que la calidad del agua lluvia para consumo humano sea baja y no cumpla con los parámetros que legalmente se exigen para este uso del agua, representando así un riesgo para la salud de las personas, lo que redundará a afectar significativamente la calidad de vida.

1.2. Pregunta de investigación

¿Cuáles son las alternativas tecnológicas más apropiadas para mejorar la captación para uso doméstico del agua lluvia en el consejo comunitario de la comunidad Negra de Los Lagos?

2. JUSTIFICACIÓN

Sabemos que es de gran importancia para cualquier ser humano disponer de fuentes de agua para satisfacer sus necesidades tanto de consumo humano como sus actividades productivas; es por ello que se recurre a las fuentes de agua superficiales, subterráneas o lluvias según la facilidad que se tenga para acceder a una de ellas.

Es así, como históricamente el agua lluvia ha sido la principal fuente de abastecimiento en muchas comunidades rurales en Colombia y en particular en la región pacífica³.

Diferentes autores sustentan lo anterior; siendo así, como el Ministerio del Medio Ambiente (2000), considera que “el pacífico colombiano es una de las regiones del mundo con mayor riqueza de recursos naturales, cuenta con altos índices de biodiversidad y, según estudios realizados, sus niveles de precipitación media anual pueden ser los más elevados de todas las zonas tropicales del planeta. Allí se registran índices de precipitación anual entre 3500 y 12000 milímetros de precipitación anual, con sitios excepcionalmente lluviosos, que registran volúmenes superiores a los 13000 milímetros”.

Para el caso específico de Buenaventura, los días lluviosos del año fluctúan entre un mínimo de 192 y un máximo promedio de 294. En las épocas más secas, los días con lluvia son 113, con un promedio de 8 a 16 días con lluvia al mes. En términos generales, la precipitación se caracteriza por presentar las cantidades más bajas en el periodo diurno -en promedio 32%- y las más altas en el periodo nocturno -en promedio 68%-. (Fondo Fen, 1993). En los años más recientes estos promedios de lluvias han aumentado, superando en todo caso los 300 días lluviosos (IDEAM, 2014)⁴.

De esta forma, se escogió el Consejo Comunitario de la Comunidad Negra de Los Lagos como caso de estudio por considerarse un territorio muy representativo de las comunidades rurales del pacífico, además por su relativa cercanía a la zona urbana de Buenaventura se considera que los resultados de calidad del agua lluvia pueden ser un referente muy importante respecto a otras zonas rurales de la región.

Además de lo anterior, la cantidad y continuidad de la precipitación, fortalecen el argumento de mejorar el sistema de captación del agua lluvia en el Consejo Comunitario de la Comunidad Negra de los Lagos; máxime si se tiene en cuenta

³ También es importante destacar que en la zona urbana de algunos municipios de la región pacífica de Colombia el agua lluvia también es la principal fuente para abastecerse de agua dado que no se tienen acueductos convencionales o son muy deficientes.

⁴ De acuerdo con registros de precipitaciones del IDEAM, entre los años 2009 – 2013 el promedio de días con lluvia fue de 322.

que ésta ha sido y es la principal fuente de abastecimiento de agua, ya que las fuentes superficiales están distantes y presentan un alto grado de contaminación, y nunca se ha explorado la posibilidad de captación de agua subterránea.

Es así, como con la presente investigación que fundamentalmente consiste en evaluar las alternativas tecnológicas más adecuadas para mejorar la captación de uso doméstico del agua lluvia el Consejo Comunitario de la Comunidad Negra de Los Lagos, se aporta a la solución de un problema histórico que ha tenido esta comunidad rural del pacífico colombiano como es el hecho de no disponer de agua potable o al menos segura para consumo humano.

Finalmente, el mejoramiento en la calidad del agua lluvia que abastece esta comunidad, redundará en bienestar y aumento de la condiciones de vida de la población objetivo de estudio.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

- Estudiar alternativas tecnológicas para el tratamiento básico del agua lluvia de uso doméstico en el Consejo Comunitario de la Comunidad Negra de los Lagos, Buenaventura

3.2. Objetivos específicos

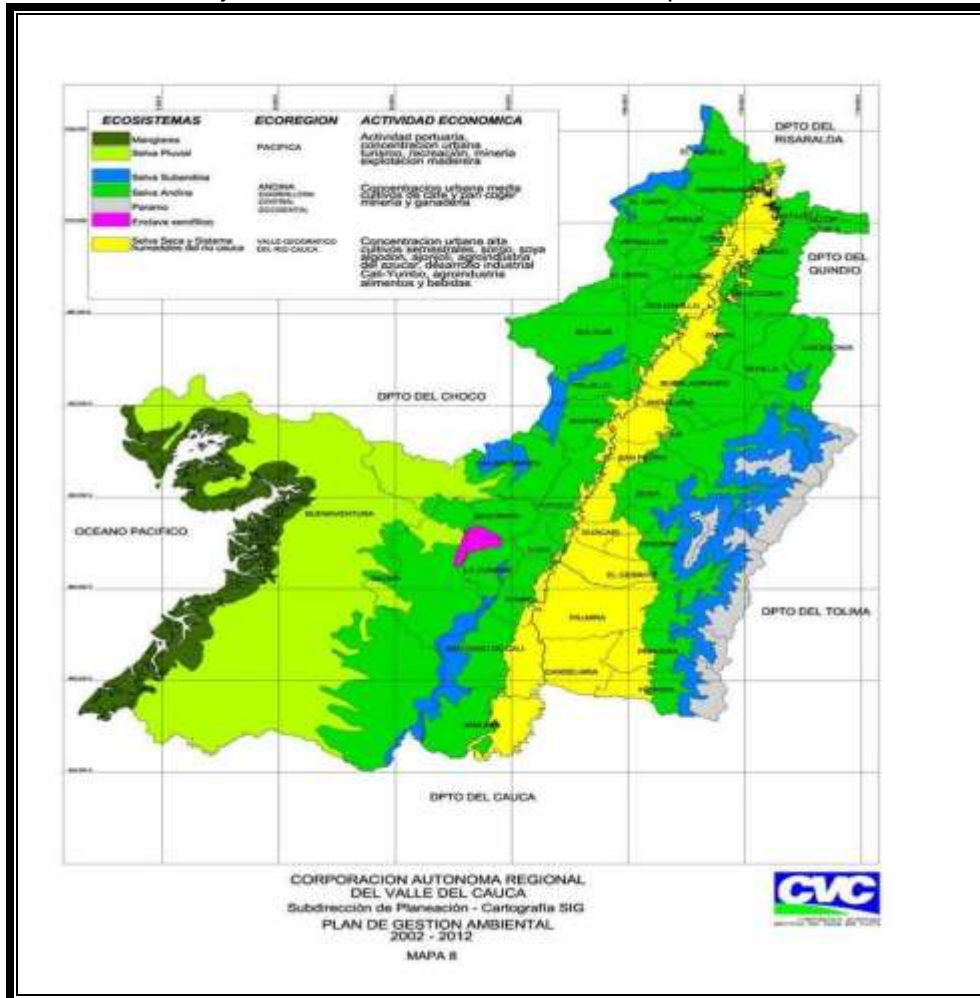
- Determinar la situación actual de captación del agua lluvia para uso doméstico.
- Evaluar la calidad del agua lluvia captada realizando análisis microbiológico y físico-químico.
- Clasificar las debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas de uso doméstico del agua lluvia
- Comparar alternativas tecnológicas de aprovechamiento del agua lluvia orientada al uso doméstico.

4. MARCO DE REFERENCIA

4.1. Marco geográfico

El Distrito Portuario, Biodiverso, Industrial y Ecoturístico de Buenaventura es un puerto de rada abierta, con protección natural dentro de una bahía interior abrigada. El territorio municipal es el de mayor extensión en el Departamento de Valle del Cauca y está comprendido desde las orillas del Océano Pacífico, hasta las cumbres de la Cordillera Occidental, en el sector de los Farallones de Cali, que le sirven de límite con los municipios de Jamundí y Cali. Limita por el norte con el Departamento del Chocó; por el oriente con los municipios de Jamundí, Cali, Dagua y Calima Darién, por el sur con el Departamento del Cauca y por el occidente con el Océano Pacífico. Sus tierras se distribuyen así: Piso térmico cálido; 5.300 Km²; medio: 640 Km²; frío: 58 Km² y Páramo: 30 Km² (Corporación Autónoma Ambiental del Valle del Cauca, 2007).

Figura 1. Localización y extensión de Buenaventura en el departamento del Valle del Cauca



Fuente Plan de Gestión Ambiental de la CVC, 2002-2012.

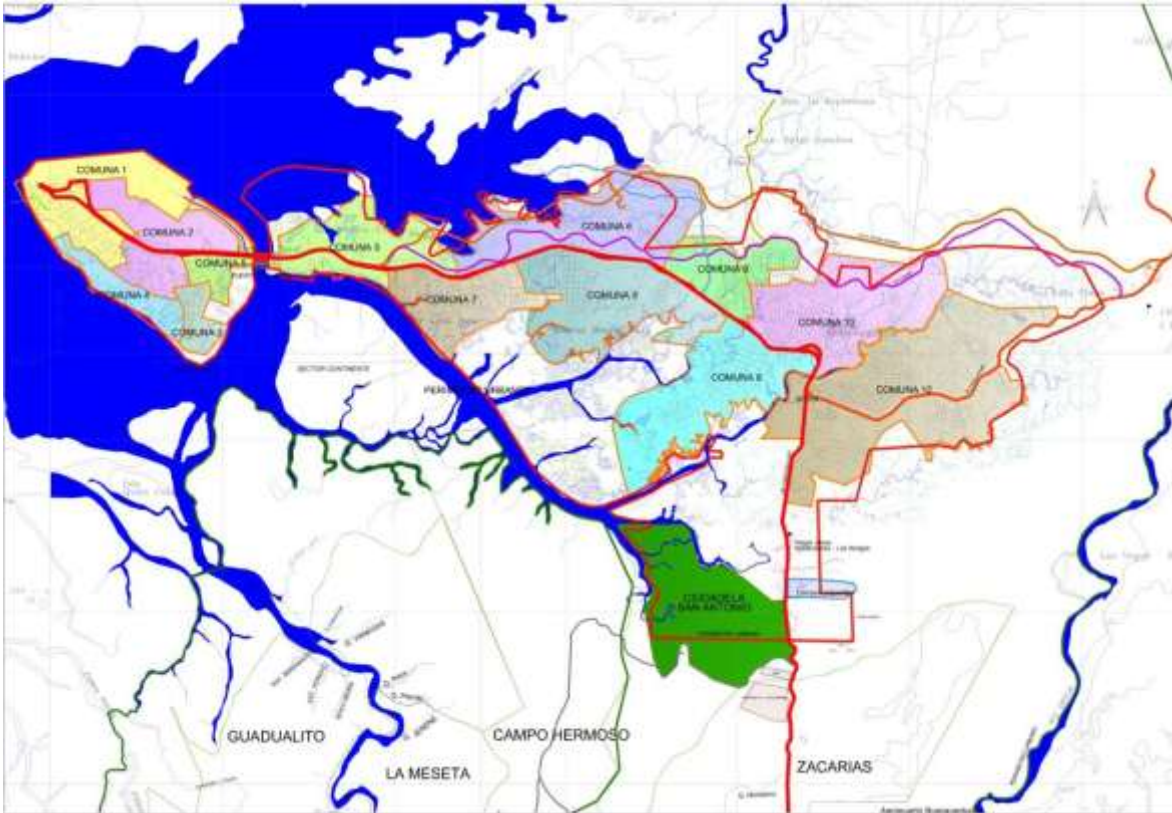
El distrito de Buenaventura goza de todos los climas, que van desde la selva húmeda tropical hasta el bosque de niebla. En el municipio alcanzan altitudes desde 0 m.s.n.m. en el litoral hasta 4.200 metros sobre el nivel del mar en la zona de los Farallones de Cali. Esto le permite tener diversidad de ecosistemas, variando la temperatura desde los 28°C en partes bajas hasta 0°C en las cimas de la cordillera, la precipitación es continua todo el año logrando promedios de 8.000 mm anuales. La zona costera está casi totalmente cubierta de mangle y presenta dos notables bahías, la de Málaga o Magdalena y la de Buenaventura donde se encuentra la ciudad. (Corporación Autónoma Ambiental del Valle del Cauca, 2007).

4.1.1. Localización de la Comunidad Negra de los Lagos

El nombre de Consejo Comunitario de la Comunidad Negra de los Lagos se presenta en virtud de la ley 70 de 1993, la cual otorga el derecho al territorio a las comunidades negras que han ocupado las áreas rurales de la región pacífica, por lo que en esta región difícilmente se hace mención a términos como Vereda o Corregimiento sino que por el contrario se habla de Consejo Comunitario, puesto que gran parte del territorio ancestralmente y legalmente pertenece a las comunidades negras.

El Consejo Comunitario de la Comunidad Negra de los Lagos está localizado en la zona continental del Distrito de Buenaventura, cuenca baja del río Dagua, sobre la vía Simón Bolívar hacia el aeropuerto, a la altura del kilómetro quince (15). Al norte limita con los Consejos Comunitarios de las Comunidades Negras de Zacarías y Calle Larga; al oriente con los Consejos Comunitarios de las Comunidades Negras de Campo Hermoso, La Meseta y Guadualito; al occidente con el Consejo Comunitario de la Comunidad Negra La Gloria y al sur con el barrio La Unión. (AG Consultares Ambientales Ltda., 2012).

Figura 2. Localización del Consejo Comunitario de la Comunidad Negra de los Lagos en el Distrito de Buenaventura.



Fuente: AG Consultares Ambientales Ltda. (2012).

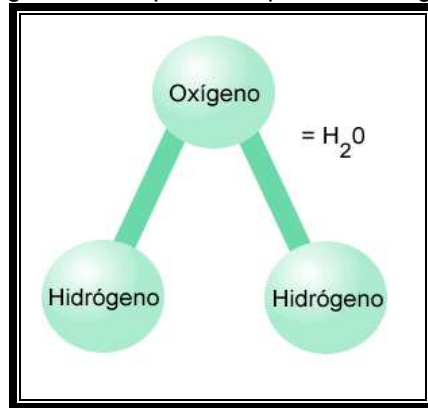
Respecto a la disponibilidad de agua, al Consejo Comunitario lo irrigan varias quebradas, tales como la Cuerere, Bombay, Los Lagos, Mondomo, además se encuentra ubicado en estero San Antonio.

4.2. Marco teórico

4.2.1. Fuentes de abastecimiento de aguas naturales y sus usos

De acuerdo con Fraume (2007) podemos entender que el agua es un cuerpo formado por la combinación de un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno, dispuestos en un ángulo de 105° , con el oxígeno en el vértice, de fórmula H_2O . Es un líquido inodoro e insípido, en pequeña cantidad es incoloro, y verdoso o azul en grandes masas; que refracta la luz, disuelve muchas sustancias, se solidifica por el frío, siendo el único elemento en la tierra que, tanto al congelarse o al calentarse se dilata; se evapora por el calor y, más o menos puro, forma la lluvia, los manantiales, los ríos y los mares. Es el elemento vital más importante de la tierra, 1360 millones de kilómetros cúbicos.

Figura 3. Composición química del agua



Fraume, 2007.

El abastecimiento de agua es de gran importancia al ser considerado una necesidad básica, y en efecto un derecho fundamental para todas las personas.

Las principales fuentes de abastecimiento de agua a las que recurre la población para suplir sus necesidades son:

Las **aguas lluvias**, se entiende como el agua que se precipita de forma líquida o sólida en el ciclo hidrológico, y puede contener contaminación y representar riesgo por presencia de agentes patógenos según la calidad ambiental de la atmosfera. La lluvia, en su caída, se distribuye de forma irregular: una parte será aprovechada para las plantas, otra parte hará que los caudales de los ríos se incrementen por medio de los barrancos y escorrentías que, a su vez aumentarán las reservas de pantanos y de embalses y otra parte se infiltrará a través del suelo, y discurriendo por zonas de texturas más o menos porosas formará corrientes subterráneas que irán a parar o bien a depósitos naturales con paredes y fondos arcillosos y que constituirán los llamados yacimientos o pozos naturales (algunas veces formando depósitos o acuíferos fósiles, cuando se trata de agua acumulada durante períodos geológicos con un clima más lluvioso), o acabarán desembocando en el mar. La última parte se evaporará antes de llegar a la superficie por acción del calor. (Fraume Op. Cit).

Las **aguas superficiales**, son aquellas que se encuentran en estado de reposo o circulando sobre la superficie de la tierra. Proviene de precipitaciones, manantiales y nacimientos, y se escurren formando ríos, lagos, lagunas, humedales, arroyos, entre otros. (Fraume Op. Cit).

Las **aguas subterráneas**, se depositan en los acuíferos bajo la superficie terrestre, tienden a ser dulces y potables gracias a la depuración de partículas por la circulación subterránea. Se distinguen según sea el origen en (a) infiltradas en el subsuelo tras las precipitaciones atmosféricas denominadas aguas vadasas y; (b) las formadas por condensación del vapor acuoso contenido en el subsuelo que constituyen las aguas jóvenes. Por su disposición respecto a estratos de roca

impermeables, las aguas subterráneas se dividen en (a) libres, si sólo están limitadas por un estrato impermeable por su parte inferior, y (b) artesanas impermeables, las cuales abastecen a pozos y manantiales. (Fraume Op. Cit).

La calidad y la cantidad de agua procedente de fuentes de aguas superficiales y subterráneas se ven influenciadas por la geografía, el clima y las actividades humanas. Las aguas subterráneas normalmente se pueden utilizar con poco o ningún tratamiento. El agua superficial, por otra parte, suele necesitar tratamientos extensos, en especial si está contaminada (Fraume Op. Cit).

Por su parte, de acuerdo con el decreto 3930 de 2010, entre los usos genéricos del agua podemos encontrar consumo humano y doméstico; preservación de flora y fauna; agrícola; pecuario; recreativo; industrial; estético; pesca; maricultura y acuicultura; y navegación y transporte acuático.

Se entiende por uso del agua para consumo humano y doméstico su utilización en actividades tales como:

1. Bebida directa y preparación de alimentos para consumo inmediato.
2. Satisfacción de necesidades domésticas, individuales o colectivas, tales como higiene personal y limpieza de elementos, materiales o utensilios.
3. Preparación de alimentos en general y en especial los destinados a su comercialización o distribución, que no requieran elaboración.

Se entiende por uso del agua para preservación de flora y fauna, su utilización en actividades destinadas a mantener la vida natural de los ecosistemas acuáticos y terrestres y de sus ecosistemas asociados, sin causar alteraciones sensibles en ellos.

Se entiende por uso para pesca, maricultura y acuicultura su utilización en actividades de reproducción, supervivencia, crecimiento, extracción y aprovechamiento de especies hidrobiológicas en cualquiera de sus formas, sin causar alteraciones en los ecosistemas en los que se desarrollan estas actividades.

Se entiende por uso agrícola del agua, su utilización para irrigación de cultivos y otras actividades conexas o complementarias.

Se entiende por uso pecuario del agua, su utilización para el consumo del ganado en sus diferentes especies y demás animales, así como para otras actividades conexas y complementarias.

Se entiende por uso del agua para fines recreativos, su utilización, cuando se produce:

1. Contacto primario, como en la natación, buceo y baños medicinales.

2. Contacto secundario, como en los deportes náuticos y la pesca.

Se entiende por uso industrial del agua, su utilización en actividades tales como:

1. Procesos manufactureros de transformación o explotación, así como aquellos conexos y complementarios.
2. Generación de energía.
3. Minería.
4. Hidrocarburos.
5. Fabricación o procesamiento de drogas, medicamentos, cosméticos, aditivos y productos similares.
6. Elaboración de alimentos en general y en especial los destinados a su comercialización o distribución.

Se entiende por uso del agua para transporte su utilización para la navegación de cualquier tipo de embarcación o para la movilización de materiales por contacto directo.

Finalmente, se entiende por uso estético el uso del agua para la armonización y embellecimiento del paisaje.

4.2.2. Contaminación hídrica

La calidad del agua tanto de fuentes superficiales como subterráneas, se ha visto deteriorada en los últimos años por el crecimiento de población y la actividad industrial que trae consigo grandes fuentes de contaminación. Los efectos a corto y largo plazo se ven enmarcados en daños a los ecosistemas por la falta de oxígeno disuelto en el agua, lo que posteriormente se convierte en un problema social por ausencia de agua potable para abastecer a las comunidades. (Arango & Flórez, 2012).

En Colombia la contaminación de las fuentes hídricas se debe principalmente a actividades industriales, domésticas y agropecuarias, así como también a actividades mineras. La presencia de hospitales y fábricas farmacéuticas y químicas en los centros urbanos, trae consigo un mayor deterioro de la calidad del recurso hídrico debido a descargas de residuos tóxicos, materia orgánica, y desechos con presencia de microorganismos patógenos. (Arango & Flórez, Op. Cit).

De acuerdo con Hazmine (2001; 2009), el agua puede ser contaminada tanto de fuentes naturales como de actividades humanas, siendo esta última la que más repercusión tiene.

Respecto a las fuentes naturales de contaminación, el mercurio es un elemento que se encuentra en la corteza terrestre y los océanos, este se caracteriza por ser un gran contaminante de fuentes hídricas. De igual modo otros productos naturales como los hidrocarburos pueden afectar la calidad del recurso Hazmine (2001).

Por su parte, Arango & Flórez, (Op. Cit) considera que entre las principales actividades humanas que contaminan el agua se encuentran:

- Industria: la contaminación hídrica que genera la actividad industrial es de gran relevancia. Dependiendo del tipo de industria se producen diversos residuos que van a parar a importantes fuentes de abastecimiento. Entre las principales sustancias contaminantes se encuentran: sólidos en suspensión, metales pesados, materia orgánica, cianuros, hidrocarburos, productos químicos, grasas, disolventes orgánicos, aceites lubricantes, pinturas, fluoruros, amoníaco, nitritos, ácido sulfhídrico, compuestos cancerígenos, nitratos y fosfatos.

- Vertimientos urbanos: las aguas residuales que se originan en la actividad doméstica, llevan consigo sustancias como nitratos, virus, bacterias y materia orgánica disuelta. Por otro lado, el sistema de alcantarillado arrastra sales, ácidos, y emisiones de los automóviles.

- Agricultura y ganadería: de las actividades agrícolas se obtienen fertilizantes y plaguicidas que pueden resultar tóxicos para las personas y la actividad ganadera también aporta gran cantidad de residuos y sustancias como fosfatos, cloruros y metales pesados que afectan la calidad del agua.

- Navegación: en la navegación se vierten accidentalmente grandes cantidades de petróleo que producen importantes daños a los ecosistemas acuáticos.

Así mismo, el autor anterior, establece que entre las sustancias contaminantes de las fuentes de agua encontramos las siguientes:

- Microorganismos patógenos: Grupos de bacterias protozoos y virus presentes en materias fecales, que causan enfermedades de mayor morbilidad a nivel infantil como el cólera, la gastroenteritis, la hepatitis, entre otras.

- Desechos orgánicos: son residuos que son descompuestos por bacterias aeróbicas, las cuales agotan el oxígeno presente en el agua causando la muerte de peces y otros seres vivos.

- Sustancias químicas inorgánicas: sustancias como sales, ácidos y metales tóxicos, son causantes de grandes daños a los seres vivos y a los equipos de trabajo si se encuentran en concentraciones altas.

- Sustancias radiactivas: el agua puede contaminarse de material radioactivo que al irse acumulando puede ocasionar graves problemas en la salud humana.
- Sedimentos y materiales suspendidos: el agua suele arrastrar ciertas partículas que generan turbiedad, lo que reduce en gran medida la calidad del agua y ocasiona la muerte de organismos presentes en esta.

De igual forma, en los hogares el agua recolectada puede contaminarse fácilmente sino se manejan aspectos de saneamiento e higiene adecuados, entre estos se encuentran transportar el agua en recipientes sucios, almacenarla en recipientes o contenedores abiertos, manipular el agua con las manos o utensilios sucios.

4.2.3. Características del agua

Respecto a las características del agua potable, este contiene gran variedad de sustancias químicas, físicas y microbiológicas, muchas de las cuales pueden ser perjudiciales para la salud o simplemente causan que esta adquiera características desagradables a los sentidos como lo son el color, el olor y sabor. Dependiendo del uso que se le dará, el agua debe recibir un tratamiento que conduzca al cumplimiento de los estándares de calidad requeridos. Estos requisitos están establecidos por normas nacionales e internacionales que miden el grado en el cual se deben ajustar dichas sustancias.

Según la Organización Mundial de la Salud (2006), las características del agua son las siguientes:

➤ **Física**

El agua potable debe estar ausente de ciertas características como lo son sabores, olores, color y turbiedad, ya que estos son poco aceptados por las personas y en ciertos casos perjudiciales.

Olor y sabor: son producidos por la presencia de materia orgánica en descomposición y de sustancias químicas volátiles.

Color: se debe a la presencia de ciertos minerales como el hierro y el manganeso y de igual forma a la materia orgánica en descomposición.

Turbiedad: es consecuencia de la presencia de partículas de arcilla en suspensión, que pueden tener adheridos gran cantidad de agentes patógenos.

➤ **Química**

El agua contiene una gran cantidad de compuestos químicos disueltos, sin embargo unos pocos pueden resultar nocivos para la salud cuando su concentración es elevada como es el caso del flúor de origen natural, que puede generar manchas en los dientes, o el arsénico, que tras una exposición excesiva produce riesgo de cáncer o lesiones cutáneas con el paso del tiempo.

Estándares fisicoquímicos de calidad de agua potable dados por la normativa ambiental nacional se expresan en la siguiente tabla:

Tabla 1. Estándares fisicoquímicos de la calidad del agua para consumo humano en Colombia.

ANÁLISIS FISICOQUÍMICO		
Parámetros medidos	Unidad de medida	Valor referente
Sustancias flotantes		Ausencia
Olor		Aceptable
Sabor		Aceptable
Turbiedad	U.N.T.	<=2.0 U.N.T
Color	PL Co	<= 150 PL Co
pH	UN pH	>=6.5<= 9.0 UNI
Alcalinidad total	mg/L Ca Co3	<= 200 mg/L
Conductividad	ms/cm	<=1500 ms/cm
Acidez	mg/L Ca Co3	<= 50 mg/L
Dureza total	mg/L Ca Co3	<= 300 mg/L
Sulfatos	mg/L So4	<= 250 mg/L
Cloruros	mg/L Cl	<= 250 mg/L
Nitritos	mg/L NHNO2	<= 0.1 mg/L
Nitratos	mg/L NHNO3	<= 10 mg/L
Hierro total	mg/L F6 3+	<= 0.3 mg/L
Aluminio residual	mg/L Al	<= 0.2 mg/L
Cloro residual libre	mg/L Cl2	>=0.3<= 2.0

Fuente: propia con base en decreto 1575 de 2007 y resolución 2115 de 2007

➤ **Microbiológicas**

Los microorganismos presentes en el agua, son los causantes del mayor número de enfermedades por el uso y consumo. La presencia de materia fecal contiene gérmenes patógenos como bacterias, virus, protozoos y helmintos. Las concentraciones de estos microorganismos en el agua es muy variada y su crecimiento es exponencial, lo que se traduce en mayores riesgos para la salud. Estándares microbiológicos de calidad de agua potable dados por la normativa ambiental nacional se expresan en la siguiente tabla:

Tabla 2. Estándares microbiológicos de calidad del agua para consumo humano en Colombia

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO	
Parámetros	Valor de referencia
Coliformes totales	0 microorganismos/100
Escherichia Coli	0 microorganismos/100

Fuente: propia con base en decreto 1575 de 2007 y resolución 2115 de 2007

4.2.3.1. Índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano (IRCA)

De acuerdo con la normativa ambiental en Colombia, existen diferentes niveles de riesgo asociados al consumo de agua, tales como se presenta en la tabla a continuación:

Tabla 3. Clasificación del nivel de riesgo en salud según el IRCA

Clasificación IRCA (%)	Nivel de Riesgo	IRCA por muestra (Notificaciones que adelantará la autoridad sanitaria de manera inmediata)	IRCA mensual (Acciones)
80.1 - 100	INVIABLE SANITARIAMENTE	Informar a la persona prestadora, al COVE, Alcalde, Gobernador, SSPD, MPS, INS, MAVDT, Contraloría General y Procuraduría General.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia de la persona prestadora, alcaldes, gobernadores y entidades del orden nacional.
35.1 - 80	ALTO	Informar a la persona prestadora, COVE, Alcalde, Gobernador y a la SSPD.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de acuerdo a su competencia de la persona prestadora y de los alcaldes y gobernadores respectivos.
14.1 - 35	MEDIO	Informar a la persona prestadora, COVE, Alcalde y Gobernador.	Agua no apta para consumo humano, gestión directa de la persona prestadora
5.1 - 14	BAJO	Informar a la persona prestadora y al COVE.	Agua no apta para consumo humano, susceptible de mejoramiento.
0 - 5	SIN RIESGO	Continuar el control y la vigilancia.	Agua apta para consumo humano. Continuar la vigilancia.

Fuente: resolución 2115 de 2007.

Los parámetros establecidos en la resolución 2115 de 2007 para calcular el IRCA son los siguientes: Turbiedad (15), Color (6), pH (1.5), Alcalinidad Total (1), Dureza Total (1), Sulfatos (1), Cloruros (1), Nitritos (3), Nitratos (1), Hierro Total (1.5), Aluminio Residual (3), Cloro Residual Libre (15), Coliformes Totales (15), Escherichia Coli (25), Calcio (1), Fosfatos (1), Manganeseo (1), Molibdeno (1), Magnesio (1), Zinc (1), Fluoruros (1) y COT (3)⁵. A continuación se explican algunos de los parámetros más importantes para el cálculo del IRCA.

➤ **Color**

El objetivo es determinar el color verdadero o aparente de una muestra de agua. El color en el agua resulta de la presencia en solución de diferentes sustancias como iones metálicos naturales, humus y materia orgánica disuelta. La expresión color se debe considerar que define el concepto de “color verdadero”, esto es, el color del agua de la cual se ha eliminado la turbiedad. El término “color aparente” engloba no sólo el color debido a sustancias disueltas sino también a las materias en suspensión y se determina en la muestra original sin filtrarla o centrifugarla. Esta contribución puede resultar importante en algunas aguas residuales industriales, casos en que ambos colores deben ser determinados. El color puede determinarse por espectrofotometría o por comparación visual. Este último resulta más sencillo y consiste en la comparación de la muestra con soluciones coloreadas de concentraciones conocidas. El método estandarizado utiliza patrones de platino cobalto y la unidad de color (UC) es la producida por 1 mg/L de platino en la forma de ion cloroplatinato. El método es aplicable a prácticamente todos los tipos de aguas. Para las potables se facilita su determinación por la habitual baja turbiedad que presentan (Severiche; Castillo & Acevedo, 2013).

➤ **Turbiedad**

La turbiedad de las aguas se debe a la presencia de material suspendido y coloidal como arcilla, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, plancton y otros organismos microscópicos. La turbiedad es una expresión de la propiedad óptica que hace que los rayos luminosos se dispersen y se absorban, en lugar de que se transmitan sin alteración a través de una muestra. No debe relacionarse la turbiedad con la concentración en peso de los sólidos en suspensión, pues el tamaño, la forma y el índice de refracción de las partículas, son factores que también afectan la dispersión de la luz. El método nefelométrico se basa en la comparación de la intensidad de la luz dispersada por la muestra en condiciones definidas, con la intensidad de la luz dispersada por una solución patrón de referencia en idénticas condiciones. Cuanto mayor es la intensidad de la

⁵ Cada uno de los parámetros presenta al frente la respectiva calificación establecida en la resolución 2115 de 2007.

luz dispersada, más intensa es la turbiedad. El equipo empleado es un turbidímetro (nefelómetro), el cual ofrece la lectura directa de turbiedad en unidades nefelométricas de turbiedad (UNT). El método es aplicable a prácticamente todos los tipos de aguas: crudas, de proceso, tratadas, residuales y naturales, incluyendo la de mar, siempre que estén libres de residuos y sedimentos gruesos que sedimenten rápidamente (Severiche; Castillo & Acevedo, 2013).

➤ **Potencial de Hidrogeno pH**

El pH es un parámetro que mide la concentración de iones hidronio presentes en el agua. El pHmetro consta de un electrodo de vidrio que genera una corriente eléctrica proporcional a la concentración de protones de la solución y que se mide en un galvanómetro. La corriente puede transformarse fácilmente en unidades de pH o mV por diferentes procedimientos de calibrado. El valor del pH depende de la temperatura. El pHmetro se calibra potenciométricamente, con un electrodo indicador de vidrio y uno de referencia, (que pueden presentarse combinados en uno solo), utilizando patrones trazables. El método es aplicable a todo tipo de aguas: crudas, de proceso y tratadas, aguas residuales y naturales, incluidas las marinas. Entre sus objetivos está verificar el cumplimiento de la legislación vigente para aguas destinadas a diferentes propósitos (potable, consumo humano y doméstico previo tratamiento, recreativo) o para vertimientos a cuerpos de agua o alcantarillados (Severiche; Castillo & Acevedo, 2013).

➤ **Cloro residual libre**

De acuerdo con Salas (2005), la coloración consiste en la adición de cloro al agua con la finalidad de:

- Desinfectar el agua
- Controlar olores y sabores
- Prevenir el crecimiento de algas y microorganismos responsables de la difusión de enfermedades originadas por el agua (gastroenteritis, tifoidea, disentería, hepatitis infecciosa)

Salas (Op. Cit) considera que la destrucción de microorganismos está directamente relacionada con los siguientes factores:

1. Tiempo de contacto y cantidad o concentración de cloro añadida. A medida que el tiempo de contacto se incrementa, se necesita cada vez menos cloro para lograr el mismo efecto.
2. La temperatura: a mayor temperatura, más rápida es la mortandad.
3. El pH: a mayor pH (≈ 10.7) se necesitan tiempos de contacto mayores.

4. Tipo de residual: debido a las impurezas que normalmente se encuentran en el agua natural, es necesario añadir suficiente cloro al agua para que reaccione con ellas y permitan la formación de cloro libre residual, el cual es un poderoso desinfectante.

El cloro residual libre es 25 veces (o más) efectivo que en su forma combinada y está libre de olor y sabor. Como su formación se inicia en el punto de quiebre, se le denomina también coloración al punto de quiebre Salas (Op. Cit).

(Díaz, 2002) establece que entre los métodos que se tienen para determinar la presencia de cloro libre residual tenemos los siguientes:

Los métodos yodométricos son buenos para medir cloro residual en concentraciones mayores a 1 mg/l, pero no sirven cuando se tienen interferencias a bajas concentraciones.

El método de titulación amperométrica es un método estándar de comparación para la determinación del cloro libre o combinado. No se afecta por interferencias pero es un poco más complicado de realizar que los otros, por lo que es necesaria mayor experiencia en el tema.

El método de titulación DFD ferrosa provee un procedimiento de titulación para la determinación del cloro libre y para la estimación de las fracciones presentes de cloro libre y combinado.

La técnica yodometrica del electrodo proporciona valores sobre cloro residual libre total y cloro combinado, no se afecta por el incremento de algunas interferencias como el aumento de las monocloraminas pero si por su combinación con nitritos y manganeso. Los anteriores métodos aplican para las aguas naturales y tratadas. (Díaz, Op. Cit).

➤ **Alcalinidad**

Se busca determinar a una muestra de agua los distintos tipos de alcalinidad: total, a la fenolftaleína, de hidróxidos, de carbonatos y de bicarbonatos. La alcalinidad de un agua es su capacidad para neutralizar ácidos y es la suma de todas las bases titulables. Por lo general se debe fundamentalmente a su contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos aunque otras sales o bases también contribuyen a la alcalinidad. Su valor puede variar significativamente con el pH del punto final. La muestra se valora con una solución de ácido mineral fuerte hasta pH 8.3 y 4-5. Estos puntos finales determinados visualmente mediante indicadores adecuados, son los puntos de equivalencia seleccionados para la determinación de los tres componentes fundamentales. Con el indicador de fenolftaleína, el pH 8.3 está próximo al punto de equivalencia para las concentraciones de carbonato y dióxido de carbono y representa la valoración de todo el hidróxido y la mitad del

carbonato, mientras que el pH inferior (4-5) está próximo al punto de equivalencia para el ión hidrógeno y el bicarbonato y permite determinar la alcalinidad total. El método es aplicable a todo tipo de aguas (Severiche; Castillo & Acevedo, 2013).

➤ **Calcio**

Normalmente el calcio forma sales generalmente solubles, con aniones como hidrogenocarbonato, sulfato, cloruro y fluoruro. En general, suele ser el catión mayoritario en las aguas. El calcio pasa al agua por disolución cuando proviene de sulfatos (especialmente yesos, muy solubles) y silicatos, o por la acción del CO₂ disuelto en el agua cuando se trata de Ca presente en calizas, margas y dolomitas. El aporte del metal al agua es muy notable en terrenos yesíferos, pudiendo también acceder a las aguas dulces mediante fenómenos de intrusión salina que también incrementaría la concentración de Mg en las aguas afectadas (Salas, 2005).

El calcio junto al magnesio forma la "dureza" del agua. Las concentraciones de calcio en aguas varían mucho, pero en general suelen ir asociadas al nivel de mineralización; por esta misma razón, las aguas subterráneas habitualmente presentan contenido mayores a las superficiales correspondientes. Las aguas residuales de diversas industrias generan un incremento del metal en el medio, debido a actividades tales como los prefabricados de la construcción (terrazo, fibrocemento, corte de piedras y canterías), industrias alimentarias (azúcar, ácido tartárico) y papeleras (cuando interviene el sulfato cálcico como carga). La presencia de Ca en agua potable la dota de "sabor" que dependerá del anión mayoritario presente. Al mismo tiempo intervendrá en fenómenos de incrustación/agresión en tuberías y depósitos de almacenamiento de agua potable y en aguas destinadas a calderas industriales de particular importancia (Salas, 2005).

La dureza de agua, cantidad total de calcio y magnesio en una muestra de agua, puede ser determinada mediante una titulación de complejación usando ácido tetracético de etilendiamina (EDTA, también conocido como Y) como agente titulante. Desde el punto de vista cuantitativo se puede expresar dureza mediante el valor de mg/L (ppm) de CaCO₃ en la muestra. El intercambio iónico es otra manera de cuantificar iones de calcio y magnesio en una muestra, pero es un poco más complicado y requiere de mayor tiempo de preparación de equipo. Además, para cada determinación o corrida de muestra se tiene que regenerar la columna en el caso de intercambio iónico. Sin embargo, a diferencia de intercambio iónico, una titulación de complejación requiere mucha menor cantidad de tiempo ya que solo se requiere preparar las soluciones (Salas, 2005).

➤ **Fosfatos**

Su objetivo es determinar la concentración de fosfatos de una muestra de agua. En las aguas naturales y residuales, el fósforo se presenta mayoritariamente en forma de fosfatos. Estos son clasificados en ortofosfatos, fosfatos condensados (piro, meta y otros polifosfatos) y fosfatos enlazados orgánicamente. Se encuentran en solución, en partículas o detritus o en cuerpos de organismos acuáticos y pueden provenir de diversas fuentes (Severiche; Castillo & Acevedo, 2013).

El análisis de fósforo implica dos etapas básicas:

- La conversión de la forma de fósforo que interesa determinar, a ortofosfato disuelto. Esto se logra mediante una hidrólisis o digestión oxidante (IE 24). Cuando se quiere distinguir entre la forma disuelta y la suspendida, se realiza una filtración por membrana.
- La determinación colorimétrica de ortofosfatos. De los tres métodos existentes: ácido vanadomolibdofosfórico, cloruro de estaño II y ácido ascórbico, se ha seleccionado este último por su sensibilidad y simplicidad (Severiche; Castillo & Acevedo, 2013).

En este método, en medio ácido el molibdato de amonio y el tartrato doble de antimonio y potasio reaccionan con ortofosfato con formación de un heteropoliácido fosfomolibdico, el cual es reducido por el ácido ascórbico a azul de molibdeno, complejo azul intensamente coloreado. La absorbancia del complejo medida a una longitud de onda de 880 nm, resulta proporcional a la concentración de ortofosfatos en la muestra (Severiche; Castillo & Acevedo, 2013).

Los fosfatos que responden a la determinación colorimétrica sin recurrir a la etapa 1, se consideran “fósforo reactivo”, el cual da una medida fundamentalmente del ortofosfato, sin excluir una pequeña fracción de fosfato condensado que puede hidrolizarse durante el análisis (Severiche; Castillo & Acevedo, 2013).

El método es aplicable a todo tipo de aguas, incluyendo las marinas, ya que la influencia de la salinidad es despreciable en la intensidad del color. Está dirigido fundamentalmente a verificar el cumplimiento de la legislación para aguas (Severiche; Castillo & Acevedo, 2013).

➤ **Manganeso**

Se busca determinar la concentración de manganeso disuelto en una muestra de agua. La presencia de manganeso en aguas naturales bien oxigenadas no es

importante. En general sus concentraciones medias oscilan entre pocos mg/l y 0,5 mg/l.

Únicamente se alcanzan concentraciones significativas de Mn en aguas subterráneas cuando, ante la carencia de O₂, se da la disolución del metal (sobretudo, en presencia de materia orgánica) y cuando las aguas superficiales se encuentran desprovistas de oxígeno, como ocurre en embalses y lagos estratificados térmicamente, donde pueden rebasarse ampliamente los 2 - 3 mg/L, esto se explica teniendo en cuenta la dinámica de óxido-reducción que experimenta el metal.

El manganeso produce mancha en la ropa lavada, en la porcelana y por lo tanto en los accesorios de las instalaciones sanitarias. El manganeso junto con el hierro, puede originar problemas en las canalizaciones de agua debido a que se desarrollan microorganismos localizados en éstas que originan depósitos de óxido férrico. En la red de distribución de agua potable, pequeñas cantidades de Manganeseo propician la proliferación de bacterias manganésicas en la red de aguas, lo que puede dar lugar a aparición de color y turbidez en el agua consumida, e incluso malos sabores para concentraciones superiores a 0,1 - 0,2 mg/L (Salas, 2005).

➤ **Molibdeno**

El molibdeno se encuentra de forma natural en el suelo y se utiliza en la fabricación de aceros especiales y en la producción de tungsteno y de pigmentos; ciertos compuestos de molibdeno se utilizan como aditivos lubricantes y en la agricultura, para prevenir la carencia de molibdeno en los cultivos. Las concentraciones en el agua de consumo generalmente son menores que 0,01 mg/l, aunque se han descrito concentraciones de hasta 200 µg/l en zonas cercanas a explotaciones mineras. Además, el molibdeno puede ser liberado al ambiente por la combustión de fósil, aguas desechos industriales, el transporte de minerales y de la distribución de agua residuales (Salas, 2005).

Compuestos de molibdeno que se disuelve en agua (hidrosoluble), se puede absorber fácilmente por los pulmones y el tracto gastrointestinal; pero los compuestos que no se disuelve en agua (insoluble) no lo son. Después de la absorción, el molibdeno es esparcido a través del cuerpo con los niveles más altos generalmente encontrado en el hígado, los riñones, el bazo y en el hueso. Las personas con la función pulmonaria dañada, especialmente esos con enfermedades de obstrucción en la vía respiratoria, al respirar los compuestos insolubles de molibdeno pueden empeorar los síntomas debido a sus propiedades irritantes. El molibdeno no se elimina del agua de consumo por lo que su presencia es cantidades que superen lo normal representa un alto riesgo para el ser humano (Salas, 2005).

➤ **Magnesio**

El magnesio está presente en el agua de mar en concentraciones de 1300 ppm. Después del sodio, el magnesio es el catión que se encuentra en mayores proporciones en el océano. Los ríos contienen aproximadamente 4 ppm de magnesio, las algas marinas contienen 6.000-20.000 ppm, y las ostras alrededor de 1.200 ppm. El magnesio y otros metales alcalinotérreos son responsables de la dureza del agua. El agua que contiene grandes cantidades de iones alcalinotérreos se denomina agua dura, y el agua que contiene bajas concentraciones de estos iones se conoce como agua blanda (Salas, 2005).

Un gran número de minerales contienen magnesio, por ejemplo la dolomita (carbonato de calcio y magnesio, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) y la magnesita (carbonato de magnesio MgCO_3). El magnesio se desprende de las rocas y va a parar al agua. Los problemas ambientales provocados directamente por la presencia de magnesio en agua, hacen necesaria la utilización de ablandadores. Como se citó anteriormente, la dureza es causada, en parte, por el magnesio. Los iones de calcio y magnesio (especialmente de calcio) influyen negativamente la capacidad de limpieza de los detergentes, ya que en el agua que contiene altas concentraciones de iones calcio y magnesio en disolución, cuando éstos se ponen en contacto con el jabón se forman precipitados en forma de sales insolubles, esto hace que el jabón no se disuelva totalmente en el agua, y por lo tanto se pierde cierta capacidad de limpieza. Debido a esta razón, se añade alrededor de un 40% de ablandador al jabón. Estos jabones solían ser fosfatos, pero se descubrió que estos compuestos eran difícilmente biodegradables, y causaban eutrofización. Los derivados del magnesio son generalmente eliminados del agua debido a la importante contribución del Mg a la dureza. Esto se consigue mediante técnicas de ablandamiento del agua. El hidróxido de magnesio se aplica como un floculante en el tratamiento del agua (Salas, 2005).

➤ **Zinc**

El Zinc es el primer elemento del grupo doce del Sistema Periódico y, a diferencia del cobre, no se encuentra libre en la naturaleza debido a su elevada reactividad. El metal es de color blanco azulado, encontrándose en suelos, agua, aire, y en la mayoría de los alimentos. Forma una gran cantidad de compuestos estables, entre los que destacan los cloruros, los óxidos y los sulfatos. Su comportamiento anfótero le permite mostrar una fuerte tendencia a reaccionar tanto con compuestos ácidos como básicos. Es uno de los elementos más comunes en la corteza terrestre. En aguas naturales (ríos y lagos) su concentración oscila entre 0,86 y 200 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ y entre 0,01 y 0,62 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ para agua de mar, mientras que oscila entre 0,1 y 1,7 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ en partículas aéreas (Vega & Vélez, 2011).

Igual que el cobre, el zinc se considera un elemento esencial, ya que participa en un gran número de enzimas presentes en el organismo, encontrándose en todos

los tejidos y fluidos biológicos. También se encuentra de manera natural en la dieta, tanto en alimentos como el agua, estimándose un consumo medio de unos 5 mg de zinc al día para mantener su concentración en los niveles apropiados en el cuerpo humano. No obstante, una ingesta excesiva puede provocar efectos adversos sobre la salud (Vega & Vélez, 2011).

Como se ha mencionado anteriormente, dado que el zinc se encuentra en todos los compartimentos ambientales, su acumulación a través de la cadena alimentaria vendrá provocada tanto por factores naturales como antropogénicos. Entre los primeros pueden citarse los incendios forestales (no provocados), las erupciones volcánicas, los aerosoles marinos, la lixiviación de suelos y rocas, etc. Entre los factores antropogénicos, los más importantes, destacan la producción de aceros, las aguas residuales industriales y urbanas, los fertilizantes, insecticidas, fungicidas, cosméticos, pinturas, etc. (Vega & Vélez, 2011).

Puesto que el contenido de zinc en aguas naturales se encuentra generalmente en niveles de concentración de ppb, ha sido necesario desarrollar métodos analíticos con precisión y exactitud que fueran lo suficientemente sensibles como para permitir su análisis a dichas concentraciones. Entre los métodos más utilizados para la determinación de zinc se encuentran la espectroscopia de absorción atómica de flama y la espectroscopia de absorción atómica con atomización electrotérmica. Esta última además de ser necesario más tiempo para el análisis de cada elemento, tiene un límite de detección muy bajo, y la normatividad para agua permite valores relativamente altos para zinc (Vega & Vélez, 2011).

➤ **Durezas**

Determinar por titulometría con EDTA, las durezas total, de calcio y/o de magnesio, y la concentración de calcio y/o magnesio en una muestra de agua. En la práctica se define la dureza total del agua como la suma de las concentraciones de iones calcio y magnesio expresado como carbonato de calcio en mg/L. El método titulométrico se basa en la capacidad que tiene la sal sódica del ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) para formar complejos de quelato solubles al añadirse a soluciones de algunos cationes metálicos. Al determinar la Dureza Total, el pH de la solución debe estar alrededor de 10, para lo cual se adiciona la solución tampón de dureza y como indicador el Negro de Eriocromo T, que causa una coloración rojo vino. La adición de EDTA como titulante acompleja los iones calcio y magnesio y en el punto final de la titulación, la solución vira a color azul. Para asegurar un satisfactorio punto final, tiene que existir Mg, el cual se introduce en el tampón. Aunque la agudeza del punto final se incrementa con el pH, éste no puede incrementarse indefinidamente pues precipitaría carbonato de calcio o hidróxido de magnesio. Para la Dureza de Calcio se utiliza como alcalinizante el hidróxido de sodio para llevar el pH a un alto nivel con el fin de precipitar el magnesio y poder determinar el calcio, utilizando Murexida como indicador, que forma con el EDTA un punto final de color violeta definido. La Dureza de Magnesio

se determina por diferencia entre la Dureza Total y la de Calcio. El Calcio y el Magnesio se determinan por cálculos provenientes de las Durezas de Calcio y Magnesio, respectivamente. El método es aplicable a todo tipo de aguas, siempre que no sean altamente coloreadas, salinas o con altos contenidos de metales. Las aguas residuales o contaminadas deben someterse previamente a una digestión ácida (Severiche; Castillo & Acevedo, 2013).

➤ **Sulfato**

El objetivo es determinar la concentración de sulfatos de una muestra de agua. Los sulfatos se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza y son relativamente abundantes en las aguas duras. El ion sulfato precipita en medio ácido con cloruro de bario formando cristales de sulfato de bario de tamaño uniforme. La cantidad de cristales es proporcional a la concentración de sulfatos en la muestra y la absorbancia luminosa de la suspensión, se puede medir espectrofotométricamente a 420 nm, siendo la concentración de SO_4^{2-} determinada respecto a una curva de calibración. Este método permite determinar hasta 40 mg/L de sulfatos. Si la muestra presenta una concentración mayor se debe realizar una dilución. El método es aplicable a aguas naturales, tratadas y aguas de proceso (Severiche; Castillo & Acevedo, 2013).

➤ **Hierro**

El comportamiento del hierro es similar al del manganeso, pues se trata de dos metales que frecuentemente se hallan asociados. Las aguas subterráneas suelen presentar concentraciones de hierro algo superiores a las de las superficiales y casi siempre en forma de hierro (II), teniendo en cuenta que la materia orgánica presente en los suelos, por su alta capacidad reductora, absorbe el oxígeno disuelto del agua. Cuando las aguas subterráneas reciben una carga orgánica excesiva, suelen paralelamente, incrementar su contenido en hierro (Salas, 2005). La presencia de hierro es un problema de calidad del agua muy común, especialmente en aguas de pozos profundos. El agua que contiene pequeña cantidad de hierro, puede parecer clara cuando es extraída, pero podrá rápidamente tornarse roja, después de su exposición al aire. Este proceso es denominado oxidación, y envuelve la conversión de hierro disuelto (ferroso), que es altamente soluble, en hierro precipitado (férrico), que es muy insoluble (Ruiz, 2003 citado por Sanchez, 2011).

El método para medir el hierro se basa en la reacción de la fenantrolina con el ion hierro para formar un complejo de color anaranjado rojizo que presenta su absorbancia máxima de luz a una longitud de onda de 510 nm. La absorbancia de la solución colorida es proporcional a la concentración de hierro y la intensidad del color es independiente del pH en el rango de 3 a 9. Un pH entre 2.9 y 3.5 asegura un rápido desarrollo de color en presencia de un exceso de fenantrolina. Entre los

equipos colorimétricos se puede utilizar espectrofotómetro, fotómetro con filtro y tubos de Nessler (Sanchez, 2011).

➤ **Cloruros**

El ion cloruro es uno de los principales aniones de las aguas, incluidas las aguas negras. En concentraciones altas, el cloruro puede impartir al agua un sabor salino. Existen varios métodos para su determinación y de ellos, el argentométrico es aconsejado para aguas relativamente claras con concentraciones de Cl^- de 5 mg/L o mayores y donde 0.15 a 10 mg del anión estén presentes en la porción valorada. En una solución neutra o ligeramente alcalina, el cromato de potasio puede indicar el punto final de la valoración de cloruros con nitrato de plata. Se produce la precipitación cuantitativa de cloruro de plata y posteriormente, la de cromato de plata de color rojo ladrillo. El método es aplicable a todo tipo de aguas (Severiche; Castillo & Acevedo, 2013).

➤ **Nitrato**

Determinar el contenido de nitrato en muestras de agua. Los nitratos son medidos por ultravioleta a una longitud de onda de 220 nm, pero a esta misma longitud de onda, la materia orgánica presente en las muestras, también puede absorber, por lo que se mide a una longitud de onda de 275 nm para corregir el valor de nitrato. Sin embargo, esta corrección es empírica, dado que las concentraciones de materia orgánica pueden variar de un agua a otra. El método es aplicable a aguas de bajo contenido de materia orgánica, especialmente agua potable y naturales no contaminadas. Está dirigido fundamentalmente a verificar el cumplimiento de la legislación vigente para agua para consumo humano (Severiche; Castillo & Acevedo, 2013).

➤ **Nitrito**

Determinar la concentración de nitritos de una muestra de agua. Este método llamado de Zambelli, se basa en la reacción del ácido sulfanílico, en medio clorhídrico y en presencia de ion amonio y fenol, con el grupo NO_2^- , lo que da lugar a la aparición de un compuesto de color amarillo-pardo. Este puede ser medido espectrofotométricamente a una longitud de onda de 425 nm y la absorbancia es proporcional a la concentración de nitritos en la muestra. El método es aplicable a aguas crudas, de proceso, aguas naturales, y aguas tratadas. No obstante, está dirigido fundamentalmente a verificar el cumplimiento de la legislación vigente para aguas potables o para las aguas destinadas a consumo humano y doméstico previo tratamiento (Severiche; Castillo & Acevedo, 2013).

➤ **Aluminio**

Se busca determinar la concentración de aluminio disuelto en una muestra de agua. El aluminio es un elemento muy abundante en la corteza terrestre y se encuentra en minerales, rocas y arcillas. Esta amplia distribución explica su presencia en prácticamente todas las aguas naturales, bajo la forma de sales solubles, coloidales o insolubles. El sulfato de aluminio y potasio (alumbre) se usa en los procesos de floculación en los sistemas de tratamiento de aguas por lo que el aluminio se puede encontrar en las aguas tratadas como un residuo. Su ocurrencia en aguas es controlada por el pH: Al^{3+} predomina a $pH < 4$ mientras que en medio básico, la forma disuelta predominante es $Al(OH)_4^-$. Para su cuantificación, los métodos de espectroscopia atómica, son preferidos por presentar menos interferencias aunque el método colorimétrico con Eriocromocianina R es muy utilizado por su simplicidad, en especial, la instrumentación. Las soluciones diluidas de aluminio tamponadas a pH 6 producen con eriocromocianina R, un complejo de color rojo a rosado que presenta un máximo de absorción a 535 nm. La intensidad del color depende de la concentración de aluminio, el pH, el tiempo de reacción, la temperatura y la concentración de otros iones en la muestra. El método es aplicable a aguas crudas naturales con bajo color y turbiedad, aguas de proceso, aguas residuales incoloras y aguas tratadas. No obstante, está dirigido fundamentalmente a verificar el cumplimiento de la legislación vigente para aguas potables (Severiche; Castillo & Acevedo, 2013).

➤ **Fluoruros**

El flúor es un elemento traza considerado potencialmente tóxico, con algunas funciones bioquímicas indispensables, ya que interviene en la formación ósea. Se encuentra en forma natural en los suelos y rocas, en forma de apatita, criolita y fluorita. La principal fuente de flúor es el agua de bebida y teniendo en cuenta que el agua es la base de muchos preparados alimenticios, la exposición de los consumidores se torna mayor. Hoy en día se lo considera un tóxico ambiental, debido a que se sabe que cuando estos fluoruros se encuentran por encima de 1,2 mg/l en agua de bebida, provocan fluorosis dental, patología que debilita las piezas dentarias haciéndolas susceptibles a caries y causando la pérdida dentaria con el correr de los años. Cuando las concentraciones de fluoruros superan los 4 mg/l, provocan daños a nivel del sistema óseo, fluorosis esquelética, convirtiendo los huesos en piezas rígidas propensas a fracturas, siendo las más comunes, las de caderas. Pero aún a bajas concentraciones provoca efectos subclínicos que predisponen al individuo a un daño mayor. A concentraciones elevadas provoca deformaciones óseas y otras patologías, entre las que se encuentran deficiencia renal y hepática, osteoporosis, anorexia, abortos y malformaciones (Avila, 2008). Sin embargo, el mayor aporte de fluoruros al organismo procede del agua potable y se ha demostrado que el consumo prolongado de agua con fluoruros disueltos en concentraciones superiores a 1,5 mg/l es la principal causa de los trastornos

mencionados anteriormente. Entre los métodos existentes para determinar fluoruros en agua, se destaca la cromatografía iónica con supresión iónica – HPLC. (Avila, et al, 2008).

➤ **COT**

Carbono orgánico total es la cantidad de carbono unido a un compuesto orgánico y se usa frecuentemente como un indicador no específico de calidad del agua o del grado de limpieza de los equipos de fabricación de medicamentos. Se mide por la cantidad de dióxido de carbono que se genera al oxidar la materia orgánica en condiciones especiales. El COT en las fuentes de agua procede de la materia orgánica natural en descomposición y de compuestos químicos sintéticos. Ácido húmico, ácido fúlvico, aminas, y urea son algunos tipos de materia orgánica natural, MON (o bien NOM en inglés). Detergentes, pesticidas, fertilizantes, herbicidas, compuestos químicos industriales, y compuestos orgánicos clorados son ejemplos de fuentes sintéticas. Antes de que el agua de manantial sea tratada mediante desinfección, el COT proporciona un papel importante en la cuantificación de la cantidad de materia orgánica natural en el agua de manantial. En las instalaciones de tratamiento de aguas, el agua sin tratar está expuesta a reacciones con desinfectantes que contienen cloruros. Cuando el agua sin tratar está clorada, los compuestos de cloro activo (Cl_2 , HOCl , ClO^-) reaccionan con la materia orgánica natural para producir subproductos clorados de la desinfección (DBPs en inglés). Muchos investigadores han determinado que niveles más altos de MON en el agua a tratar en el proceso de desinfección incrementará la cantidad de carcinógenos en el agua de bebida procesada (Rosero; et al, 2010).

La técnica utilizada es la combustión total de la materia orgánica a CO_2 y detección de este producto con detector infrarrojo no dispersivo. La muestra se prepara por acidificación y aireación para remover el carbono inorgánico, luego se inyecta la muestra tratada en un horno donde se evapora el agua y el carbono orgánico hace combustión catalítica a CO_2 , el cual es transportado por una corriente de aire UP hasta el detector, cuya señal es una variación de voltaje proporcional a la concentración de carbono orgánico total (COT). El interés en el análisis y cuantificación del COT, radica en que este parámetro se utiliza comúnmente como indicador de la calidad del agua cruda destinada al tratamiento de potabilización y como indicador de la materia orgánica que permanece remanente después de los procesos destinados a su eliminación durante el proceso de potabilización y se constituye como precursora en la formación de subproductos de desinfección (SPDs) al entrar en contacto con el cloro aplicado como desinfectante (Rosero; et al, 2010).

➤ **Coliformes totales**

El grupo coliforme se define como todas las bacterias Gram negativas en forma bacilar que fermentan la lactosa a temperatura de 35 a 37°C, produciendo ácido y gas (CO₂) en 24 horas, aerobias y anaerobias facultativas, son oxidasa negativa, no forman esporas y presentan actividad enzimática de la B-galactosidasa (Ministerio de salud, 1998 citado por Carrillo & Lozano 2008). Entre ellos se encuentran los diferentes *Escherichia coli*, *Citrobacter*, *Enterobacter* y *Klebsiella* (OPS, 1987 citado por Carrillo & Lozano 2008).

La prueba más relevante utilizada para la identificación del grupo Coliformes, es la hidrólisis de la lactosa. El rompimiento de ese disacárido es catalizado por la enzima B- D- Galactosidasa. Ambos monosacáridos (la galactosa después es transformada en glucosa por reacciones bioquímicas) posteriormente son metabolizados a través del ciclo glicolítico y ciclo del citrato. Los productos metabólicos de estos ciclos son ácidos y/o CO₂. Para la determinación de la B – Galactosidasa se utilizan los medios cromógenos tales como chromocult (MANAFI, 1998 citado por Carrillo & Lozano 2008).

➤ **coliformes fecales**

Los coliformes fecales también denominados coliformes termotolerantes, llamados así porque soportan temperaturas hasta de 45°C, comprenden un grupo muy reducido de microorganismos los cuales son indicadores de calidad, ya que son de origen fecal. En su mayoría están representados por el microorganismo *E. coli* pero se pueden encontrar, entre otros menos frecuentes *Citrobacter freundii* y *Klebsiella pneumoniae* estos últimos hacen parte de los coliformes termotolerantes, pero su origen se asocia normalmente con la vegetación y solo ocasionalmente aparecen en el intestino (Hayes, 1993 citado por Carrillo & Lozano 2008).

Los coliformes fecales integran el grupo de los coliformes totales, pero se diferencia de los demás microorganismos que hacen parte de este grupo, en que son indol positivo, y son mejores indicadores de higiene en alimentos y en aguas, la presencia de estos indica presencia de contaminación fecal de origen humano o animal, ya que las heces contienen dichos microorganismo, presentes en la flora intestinal y de ellos entre un 90% y un 100% son *E. coli* mientras que en las aguas residuales y muestras de aguas contaminadas este porcentaje disminuye hasta un 59% (Gomes, 1999 citado por Carrillo & Lozano 2008).

E. coli es la única especie dentro de las Enterobacterias que presentan enzimas B- D- Galactosidasa, que degrada el sustrato 4-metilumbeliferil-β-D-glucorónico (MUG), formando 4-metilumbeliferona, este producto tiene la propiedad de emitir fluorescencia azul/verde cuando se ilumina con luz ultravioleta (Manafi, 1998 citado por Carrillo & Lozano 2008).

E. coli presenta características bioquímicas importantes que permiten la diferenciación con otros coliformes, como ser positivo para la prueba indol. El indol es uno de los productos de degradación metabólica del aminoácido triptófano. Las bacterias que poseen la triptofanasa son capaces de hidrolizar y desaminar el triptófano con producción de indol, ácido pirúvico y amoníaco. La prueba de indol está basada en la formación de un complejo rojo cuando el indol reacciona con el grupo aldehído del p-dimetilaminobenzaldehído. Este es el principio activo del reactivo de Kovac's. El medio de cultivo utilizado debe ser rico en triptófano.

Para determinar coliformes totales y fecales, la filtración por membrana es una técnica muy recomendada. Esta técnica utiliza un mecanismo mediante el cual se atrapan en la superficie de una membrana microorganismos cuyo tamaño es mayor que el tamaño del poro (0.45 μm); esto gracias a una bomba eléctrica que ejerce una presión diferencial sobre la muestra de agua haciendo que se filtre. Los microorganismos de tamaño menor que el específico del poro pasan la membrana o quedan retenidos en su interior, las bacterias quedan en la superficie de la membrana y luego esta es llevada a un medio enriquecido, selectivo o diferencial, quien a través de intercambio metabólico y la incubación, evidencian el crecimiento de microorganismos y Unidades Formadoras de Colonia. Entre sus objetivos está verificar el cumplimiento de la legislación vigente para aguas destinadas a diferentes usos, o para vertimientos a cuerpos de agua o alcantarillados. (Hopkins K, L & Hilton A, C, 2000 citado por Carrillo & Lozano 2008).

4.2.4. Ventajas y desventajas de la captación de agua de lluvia

El problema no es sólo la calidad del agua; también es importante que la población tenga acceso a una cantidad mínima de agua potable al día. En promedio una persona debe consumir entre 1,5 y 2 litros de líquido al día dependiendo del peso, de lo contrario se pueden presentar algunos problemas de salud (Arango & Flórez, Op. Cit). Por esto es importante que el servicio de acueducto no sólo tenga una cobertura universal, sino que sea continuo.

Respecto al agua lluvia, el CEPIS o Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (2001) considera que existen cinco etapas por las cuales debe pasar el agua lluvia para ser apta al consumo humano, tales como a) captación; b) recolección y conducción; c) interceptor; d) almacenamiento y e) tratamiento. Existen algunas ventajas y desventajas, entre las que se incluye el factor, técnico, económico y social.

La captación de agua de lluvia es una opción fácil de obtener agua para consumo humano y/o uso agrícola. En muchos lugares del mundo con alta o media precipitación y en donde no se dispone de agua en cantidad y calidad necesaria para consumo humano, se recurre al agua de lluvia como fuente de

abastecimiento (Arroyave et al, 2012). Al efecto, el agua de lluvia es interceptada, colectada y almacenada en depósitos para su posterior uso. En la captación del agua de lluvia con fines domésticos se acostumbra a utilizar la superficie del techo como captación, conociéndose a este modelo como SCAPT (sistema de captación de agua pluvial en techos). (CEPIS, 2001).

Según Palacio (2010), la captación de agua de lluvia para consumo humano presenta las siguientes ventajas:

- Alta calidad físico química del agua de lluvia,
- Sistema independiente y por lo tanto ideal para comunidades dispersas y alejadas,
- Empleo de mano de obra y/o materiales locales,
- No requiere energía para la operación del sistema,
- Fácil de mantener,
- Comodidad y ahorro de tiempo en la recolección del agua de lluvia,
- El agua lluvia es gratis; los únicos costos son los de recolección, almacenamiento y distribución,
- El uso final del agua recolectada está situado cerca de la fuente, eliminando la necesidad de sistemas de distribución complejos y costosos,
- El agua lluvia no entra en contacto con el suelo y las rocas donde se disuelven las sales y los minerales; por lo tanto es suave y puede reducir significativamente la cantidad de jabones y detergentes para la limpieza,
- El agua lluvia reduce en cierta medida las inundaciones y la erosión,
- El agua lluvia es ideal para la irrigación de los jardines y cultivos,
- Al recolectar el agua lluvia, se reduce el caudal del alcantarillado pluvial, evitando así el ingreso de altos volúmenes a los sistemas de tratamiento de aguas residuales,
- La recolección y utilización del agua lluvia reduce los costos pagados a las empresas prestadoras del servicio debido a la disminución de los consumos de agua potable,
- Es una tecnología que se está utilizando por ser económica, social y ambientalmente aceptable.

A su vez Palacio (Op Cit) arguye que las desventajas de este método de abastecimiento de agua son las siguientes:

- Alto costo inicial que puede impedir su implementación por parte de las familias de bajos recursos económicos,
- La cantidad de agua captada depende de la precipitación del lugar y del área de captación.

A las anteriores desventajas, también se le puede agregar el bajo conocimiento de las comunidades para realizar un aprovechamiento adecuado del agua lluvia, convirtiéndose ello en una seria dificultad en el proceso de aprovechamiento de este vital líquido.

4.2.5. Captación de agua lluvia

De acuerdo con CEPIS (2003), la captación de agua de lluvia es un medio fácil de obtener agua para consumo humano en aquellas zonas de alta o media precipitación pluvial. El agua de lluvia es interceptada, recolectada y almacenada para su uso posterior.

Según el CENTRO INTERNACIONAL DE DEMOSTRACIÓN Y CAPACITACIÓN EN APROVECHAMIENTO DEL AGUA DE LLUVIA (CIDECALLI-CP, 2007) la captación del agua de lluvia se ha practicado desde hace más de cinco mil años; desde siempre, el ser humano ha aprovechado el agua superficial como primera fuente de abastecimiento, consumo y vía de transporte. Cuando las civilizaciones crecieron demográficamente, algunos pueblos ocuparon zonas áridas, semiáridas y húmedas del planeta y comenzó el desarrollo de los sistemas de captación del agua de lluvia, como una opción para el riego de cultivos y el uso doméstico.

El sistema de captación de agua lluvia fue usado por los mesopotámicos y generalizado por los griegos y romanos en toda la región. Los árabes los siguieron utilizando. De hecho a ellos les debemos el nombre de aljibe (depósito para almacenamiento de agua lluvia) que deriva del árabe al-yibab. (Asesorías y Proyectos Factibles S.A.S, 2011).

En América los mayas empleaban los denominados "Chultunes" para disponer de agua en la estación seca. (Asesorías y Proyectos Factibles S.A.S, 2011).

En numerosos países del mundo como Tailandia, Japón, Taiwán, Corea, India, Colombia, Costa Rica, Haití, la recolección de agua lluvia es considerada como una fuente alternativa de suministro de agua. (ASESORIAS Y PROYECTOS FACTIBLES S.A.S, 2011).

Aproximadamente la mitad del agua potable para el consumo puede ser reemplazada fácilmente aprovechando el agua lluvia en los diferentes usos del agua. Es así como por ejemplo, en el caso del consumo humano se puede usar para el uso personal, ya sea en el lavado, ducha o tina de baño, para lavar los utensilios de cocina, descarga del inodoro, suministro a la lavadora, el riego del jardín, limpieza de autos, interiores y exteriores de las viviendas. (Asesorías y proyectos factibles S.A.S, 2011). Además de lo anterior, si practicamos un tratamiento adecuado del agua lluvia también la podemos utilizar para beber y preparar alimentos.

Es así, como los sistemas de captación del agua de lluvia (SCALL) se han utilizado tradicionalmente a través de la historia de las civilizaciones; sin embargo, siglos después el uso de los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias decreció debido a la imposición de métodos y obras para la utilización del agua superficial y subterránea (presas, acueductos, pozos de extracción y sistemas de irrigación). (Ballén, 2006).

En el diseño de un sistema de captación de agua de lluvia es necesario considerar los factores técnicos, económicos y sociales.

4.2.5.1. Factor Técnico

Los factores técnicos a tener presente son la producción u oferta y la demanda de agua:

a. Producción u “oferta” de agua: está relacionada directamente con la precipitación durante el año y con las variaciones estacionales de la misma. Por ello, en el diseño de sistemas de captación de agua de lluvia es altamente recomendable trabajar con datos suministrados por la autoridad competente y normalmente representada por la oficina meteorológica del país o de la región donde se pretende ejecutar el proyecto.

b. Demanda de agua: la demanda depende de las necesidades del interesado y que puede estar representada por solamente el agua para consumo humano, hasta llegar a disponer de agua para todas sus necesidades básicas como son preparación de alimentos, higiene de personal, lavado de vajillas y de ropa e inclusive riego de jardines. (CEPIS, 2001).

4.2.5.2. Factor Económico

Al existir una relación directa entre la oferta y la demanda de agua, las cuales inciden en el área de captación y el volumen de almacenamiento, se encuentra que ambas consideraciones están íntimamente ligadas con el aspecto económico, lo que habitualmente resulta una restricción para la mayor parte de los interesados, lo que imposibilita acceder a un sistema de abastecimiento de esta naturaleza. En la evaluación económica es necesario tener presente que en ningún caso la dotación de agua debe ser menor a 20 litros de agua por familia y por día, la misma que permite satisfacer sus necesidades básicas elementales, debiendo atenderse los aspectos de higiene personal y lavado de ropa por otras fuentes de agua. Así mismo, los costos del sistema propuesto deben ser comparados con los costos de otras alternativas destinadas al mejoramiento del abastecimiento de agua, teniendo presente el impacto que representa la cantidad de agua en la salud de las personas beneficiadas por el servicio de agua (CEPIS, 2001).

4.2.5.3. Factor Social

En la evaluación de las obras de ingeniería a nivel comunitario, siempre se debe tener presente los factores sociales, representados por los hábitos y costumbres que puedan afectar la sostenibilidad de la intervención. Al efecto, el profesional

responsable del estudio debe discutir con la comunidad las ventajas y desventajas de la manera tradicional de abastecimiento de agua y de la tecnología propuesta, buscando que la propia comunidad seleccione lo que más le conviene emplear. Este análisis debe considerar la conveniencia de adoptar soluciones individuales y colectivas, el tipo de material empleado en la fabricación de sus techos, la existencia de materiales alternativos en el lugar o sus alrededores y el grado de participación de la comunidad en la implementación del proyecto. (CEPIS, 2001).

4.2.5.4. Componentes de la captación de agua lluvia

El sistema de captación de agua de lluvia en techos está compuesto de los siguientes elementos: a) área de captación; b) recolección y conducción; c) interceptor; y d) almacenamiento. Figura 4.



Fuente: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2001

4.2.5.4.1. Área de captación

El área de captación es la superficie sobre la cual cae la lluvia. La captación está conformada por el techo de la edificación, el mismo que debe tener la superficie y pendiente adecuadas para que facilite el escurrimiento del agua de lluvia hacia el sistema de recolección. En el cálculo se debe considerar solamente la proyección horizontal del techo.

De acuerdo con el CIDECALLI-CP ó Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento del Agua de Lluvia (2007), y la Organización

Panamericana de la Salud (OPS, 2004) los materiales empleados en la construcción de techos para la captación de agua de lluvia son la plancha metálica ondulada, tejas de arcilla, paja, concreto, láminas de asbesto, entre otros.

- La plancha metálica es liviana, fácil de instalar y necesita pocos cuidados, pero puede resultar costosa y difícil de encontrar en algunos lugares donde se intente proyectar este sistema. Las tejas de arcilla tienen buena superficie y suelen ser más baratas, pero son pesadas, y para instalarlas se necesita de una buena estructura, además que para su elaboración se necesita de una buena fuente de arcilla y combustible para su cocción.
- La paja, por ser de origen vegetal, tiene la desventaja que libera lignina y taninos, lo que le da un color amarillento al agua, pero que no tiene mayor impacto en la salud de los consumidores siempre que la intensidad sea baja. En todo caso puede ser destinada para otros fines diferentes al de consumo, como riego, bebida de ganado, lavado de ropa, higiene personal, limpieza de servicios sanitarios, etc.
- El concreto es una superficie que tiene la ventaja de captar toda el agua que cae en su área; sin embargo, por ser plana dificulta la caída del agua hacia los canales de recolección y está expuesta a la caída de hojas, polvo y heces de aves y demás partículas de la zona. Por su parte, las láminas de asbesto presenta las desventajas de ser pesadas y dificultar las escorrentías, además de desprender partículas del material contaminando así el agua.
- Además de los techos mencionados, también se pueden utilizar las superficies impermeables (canchas, patios, estacionamientos), que no desprendan residuos o contaminantes al contacto con el agua e incrementen el costo del tratamiento para obtener un producto de calidad. En el caso de materiales de concreto se deben limpiar antes de impermeabilizar; si son de lámina galvanizada o asbesto se recomienda revisar si tienen algún deterioro y en su caso sustituirlas por otros, antes de su impermeabilización. Además, se requiere asegurar y verificar que sus estructuras soporten el peso de las canaletas más el agua de lluvia.

De igual forma, también se pueden utilizar las superficies impermeables (canchas, patios, estacionamientos), que no desprendan residuos o contaminantes al contacto con el agua e incrementen el costo del tratamiento para obtener un producto de calidad.

De otra parte, el CIDECALLI-CP considera que la superficie de los suelos también puede ser utilizada para la captación de aguas lluvias, siendo de forma natural como es el caso de las laderas, o construido como lo son los rellenos o la compactación.

- Las Laderas se pueden utilizar cuando el área de captación de los techos es insuficiente. En todo caso, se deben seleccionar laderas que requieran mínimas actividades de movimiento de tierras (relleno, nivelación y compactación), posteriormente se recubre toda la superficie con algún material impermeable como: plástico de invernadero, geomembrana, “CONSOLID” y concreto (Figura 5).

Figura 5. Ladera recubierta con concreto en forma de abanico



Fuente: Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento del Agua de Lluvia, 2007.

Para realizar las actividades anteriormente citadas, se deben obtener características y condiciones del sitio tales como: topografía, geología, flora, historial del sitio y curvas de nivel esto con la finalidad de determinar los volúmenes de excavación, relleno y compactación.

- El relleno se realiza en capas horizontales de espesor no mayor de 20 centímetros en toda la superficie y en longitudes adecuadas. Si el material no fuese uniforme, se debe mezclar hasta obtener la debida uniformidad y controlarse el tamaño máximo de los elementos que integren dicho material.
- La compactación consisten en aplicar presión al suelo suelto para reducir espacios vacíos, aumentando su densidad y en consecuencia, su capacidad de soporte y estabilidad. Es importante controlar previamente el contenido de humedad del suelo, que debe corresponder a la humedad óptima que se determina en laboratorio. En la mayor parte de los casos, es necesario el empleo de maquinaria especializada como rodillo pata de cabra y rodillo con ruedas neumáticas que ejercen presiones superiores a 9 kg/cm².

4.2.5.4.2. *Recolección y Conducción*

Para la Organización Panamericana de la Salud (2004), este componente es una parte esencial de los SCAPT ya que conducirá el agua recolectada por el techo directamente hasta el tanque de almacenamiento. Está conformado por las canaletas que van adosadas en los bordes más bajos del techo, en donde el agua tiende a acumularse antes de caer al suelo.

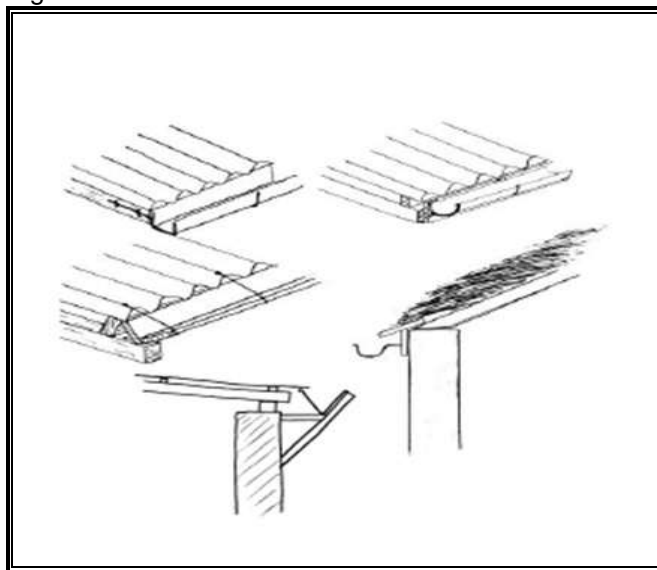
El material de las canaletas debe ser liviano, resistente al agua y fácil de unir entre sí, a fin de reducir las fugas de agua. Al efecto se puede emplear materiales, como el bambú, madera, metal o PVC.

Las canaletas de metal son las que más duran y menos mantenimiento necesitan, sin embargo son costosas. Las canaletas confeccionadas a base de bambú y madera son fáciles de construir pero se deterioran rápidamente. Las canaletas de PVC son más fáciles de obtener, durables y no son muy costosas.

Las canaletas se fijan al techo con a) alambre; b) madera; y c) clavos.

Por otra parte, es muy importante que el material utilizado en la unión de los tramos de la canaleta no contamine el agua con compuestos orgánicos o inorgánicos. En el caso de que la canaleta llegue a captar materiales indeseables, tales como hojas, excremento de aves, etc. el sistema debe tener mallas que retengan estos objetos para evitar que obturen la tubería montante o el dispositivo de descarga de las primeras aguas. Figura 6.

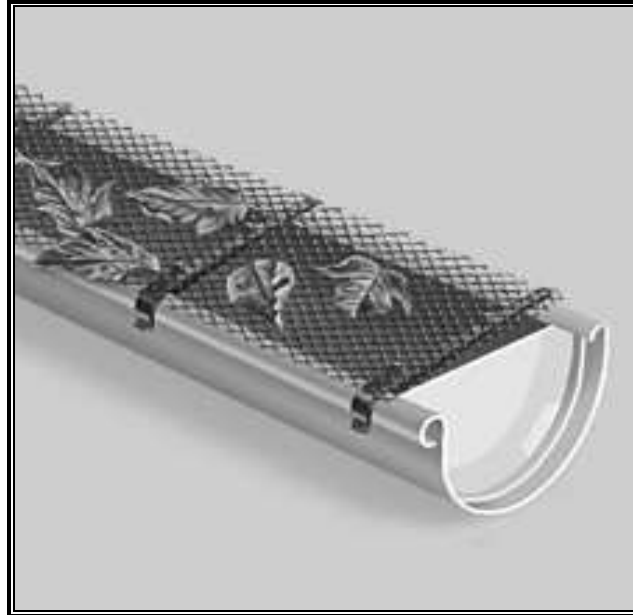
Figura 6. Formas de canaletas de construcción sencilla.



Fuente: Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento del Agua de Lluvia, 2007.

Lo más adecuado es que las canaletas estén cubiertas con mallas (figura 7) que detengan basura, sólidos y hojas, para evitar la obstrucción del flujo en la tubería de conducción; así mismo, realizar en los techos labores de limpieza al inicio de la época de lluvias.

Figura 7. Canaletas con malla para evitar la contaminación por hojas.



Fuente: Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento del Agua de Lluvia, 2007.

4.2.5.4.3. Interceptor

Conocido también como dispositivo de descarga de las primeras aguas provenientes del lavado del techo y que contiene todos los materiales que en él se encuentren en el momento del inicio de la lluvia. Este dispositivo impide que el material indeseable ingrese al tanque de almacenamiento y de este modo minimizar la contaminación del agua almacenada y de la que vaya a almacenarse posteriormente.

En el diseño del dispositivo se debe tener en cuenta el volumen de agua requerido para lavar el techo y que se estima en 1 litro por m² de techo.

El volumen de agua resultante del lavado del techo debe ser recolectado en un tanque de plástico. Este tanque debe diseñarse en función del área del techo para lo cual se podrán emplear recipientes de 40, 60, 80 ó 120 litros, y para áreas mayores de techo se utilizarían combinaciones de estos tanques para captar dicho volumen.

4.2.5.4.4. Almacenamiento

Es la obra destinada a almacenar el volumen de agua de lluvia necesaria para el consumo diario de las personas beneficiadas con este sistema, en especial durante el período de sequía.

De acuerdo Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (2003), La unidad de almacenamiento debe ser duradera y al efecto debe cumplir con las especificaciones siguientes:

- Impermeable para evitar la pérdida de agua por goteo o transpiración,
- De no más de 2 metros de altura para minimizar las sobre presiones,
- Dotado de tapa para impedir el ingreso de polvo, insectos y de la luz solar,
- Disponer de una escotilla con tapa sanitaria lo suficientemente grande como para que permita el ingreso de una persona para la limpieza y reparaciones necesarias,
- La entrada y el rebose deben contar con mallas para evitar el ingreso de insectos y animales.
- Dotado de dispositivos para el retiro de agua y el drenaje. Esto último para los casos de limpieza o reparación del tanque de almacenamiento. En el caso de tanques enterrados, deberán ser dotados de bombas de mano.

Los materiales más utilizados para la construcción de las cisternas o tanques de almacenamiento son los siguientes:

Plásticos: Fibra de vidrio, polietileno y PVC

Metales: Barril de acero, tanque de acero galvanizado.

Concreto: Ferrocemento, piedra y bloque de concreto.

Madera: Madera roja, abeto, ciprés (es eficiente pero costosa).

A continuación se describen varios tipos de cisternas construidas con diferentes materiales:

➤ ***Tanques o cisternas de ferrocemento***

Estas cisternas son rápidas de construir, igualmente los materiales se consiguen fácilmente para que los mismos usuarios las construyan. Fundamentalmente se requiere varillas de hierro, arena y cemento (Figura 8).

Figura 8. Tanques o cisternas de ferrocemento



Fuente: Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento del Agua de Lluvia, 2007.

Ventajas

Bajo costo, uso reducido de materiales, no se necesita molde, puede ser fabricado por personas de la localidad en poco tiempo, fácil de reparar y es aceptada por la comunidad.

Desventajas

El agua se calienta con facilidad, por lo que la cisterna siempre tiene que ser pintada de blanco, la obra no puede ser interrumpida pues las capas subsecuentes del aplanado no se adhieren suficientemente entre sí, lo cual puede ocasionar pérdidas de agua por filtración, estas cisternas no son recomendadas en zonas sísmicas, ya que pueden fracturarse, sobre todo cuando se secan.

➤ *Cisternas revestidas con cubierta flotante de geomembrana de PVC, polietileno de alta densidad o polipropileno reforzado*

Dentro de las nuevas tecnologías de productos geosintéticos se encuentran las geomembranas, que son impermeables a fluidos y partículas, evitan filtraciones, fugas y contaminación del agua almacenada. La geomembrana de PVC, el polietileno de alta densidad y alto peso molecular y el polipropileno reforzado ofrecen muchas ventajas: facilidad de instalación, elasticidad, resistencia a punzonamiento, de fácil colocación por ser termofusionable (cisternas, canales y otros depósitos); algunas de sus propiedades son: 25 años de vida y elongación del 200 % sin perder su estructura molecular. La impermeabilización obtenida con 1 mm de espesor de geomembrana de PVC equivale a la impermeabilidad de 1 m de arcilla compactada. Una cisterna de concreto resulta de cuatro a cinco veces más costosa que una recubierta con estos productos geosintéticos.

Para la instalación de las geomembranas se requiere hacer lo siguiente:

- Eliminar raíces y otros objetos punzantes que puedan dañar la geomembrana.
- Verificar que la tierra excavada sea apta para terraplenes y compactación.
- Verificar la superficie sobre la cual se colocará la geomembrana.
- Definir qué tipo de geomembrana se va a utilizar (PVC, polietileno, poliuretano); así como el color y espesor.
- Determinación del ancho y largo de las porciones de geomembrana.
- Ensamblaje o soldadura térmica con equipo y personal especializado, calificado y certificado.
- El perímetro superior de la geomembrana debe anclarse alrededor de la cisterna, construyendo una cepa perimetral de 50x50x40 cm para cubrirse con tierra.
- Proteger los taludes exteriores con pasto o con algún geo-textil.
- Instalar un vertedor de demasías para prevenir los desbordamientos.

Ventajas

- Es de tres a cuatro veces más económica que una cisterna de ferrocemento.
- La geomembrana tiene una garantía de 10 años y una durabilidad de 25 años.
- La cisterna con cubierta flotante evita la contaminación del agua de lluvia por polvo y previene la proliferación de microbios.
- Las reparaciones se realizan fácilmente y en corto tiempo.
- Se necesita una compactación mínima.
- En zonas sísmicas no ocurren desplazamientos ya que la geomembrana es flexible.

Desventajas

En terrenos arenosos se dificulta la compactación de las paredes de la cisterna, por lo cual es necesario considerar los taludes lo que aumenta la superficie a revestir con geomembrana y por consiguiente los costos de las cisternas.

En la figura 9 se presentan varios tipos de cisternas revestidas y techadas con cubierta flotante de PVC.

Figura 9. Cisternas revestidas con geomembrana y polietileno



Fuente: Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento del Agua de Lluvia, 2007.

➤ **Cisternas de metal**

CIDECALLI-CP (2007) considera que el acero es el material más utilizado en la construcción de cisternas y tanques que almacenan agua de lluvia. El acero galvanizado no es resistente a la corrosión, pero es frecuentemente más resistente a la oxidación. En los tanques nuevos podría existir un exceso de zinc, el cual puede afectar el sabor del agua de lluvia almacenada. Estos tanques deben lavarse con agua antes de usarse (Figura10).

Figura 10. Cisternas de metal para aprovechamiento de agua lluvia



Fuente: Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento del Agua de Lluvia, 2007.

Los tanques de acero inoxidable proporcionan una variedad de ventajas, incluyendo la resistencia, la estabilidad, la durabilidad y la limpieza. Éstos se consideran más portátiles, con menor mantenimiento y más fáciles de instalar que otros tipos de tanques. También se considera que son el tipo de tanque más saludable, no sólo debido al tipo de material de que están hechos, sino también porque pueden ser limpiados más a fondo. Entre las desventajas se tiene que los tanques de metal, como el acero inoxidable, son más costosos que otros materiales, aunque se están convirtiendo en los favoritos para el almacenamiento de agua en todo el mundo.

➤ **Tanque de polietileno**

Es ampliamente utilizado para el almacenamiento de agua, varía en forma, tamaño y color, puede ser usado superficialmente o enterrado, fácil de transportar e instalar, durable, flexible, con acabados sanitarios para agua potable (Figura 11). Existen presentaciones de 0.5 a 25 m³ de capacidad.

Figura 11. Tanque de polietileno para almacenar agua lluvia



Fuente: Propia

Entre las ventajas que presentan los tanques de polietileno, se tiene el hecho de que son algunas de las opciones menos costosas para la recogida y almacenamiento de agua, son resistentes a la oxidación, la corrosión y tienen una larga duración. Sin embargo, entre las desventajas se tiene el hecho de que están hechos de petróleo, con el cual algunas personas tienen problemas, incluyendo la

extracción de crudo y el uso de varios productos químicos para completar el proceso de fabricación, además los tanques también toman mucho tiempo para degradarse en un vertedero.

➤ **Cisterna de madera**

Las civilizaciones humanas han utilizado estas cisternas, construidas con Secoya, u otra madera para almacenar agua para diversos usos y para consumo humano. Actualmente este tipo de cisternas tienen una gran presentación estética, a veces resulta una opción deseable ya que son construidos de pino, cedro y ciprés, envuelto con cables de acero de alta tensión (Figura 12).

Figura 12. Cisterna de madera de pino con tensores para almacenar 5 m³.



Fuente: Centro Internacional de Demostración y Capacitación en Aprovechamiento del Agua de Lluvia, 2007.

La ventaja es que mantiene el agua a una temperatura agradable en verano, la protege de la congelación en invierno; es desmontable y móvil.

La desventaja es que debe instalarse a una altura determinada sobre el suelo para su mayor duración, debe ser construida por técnicos expertos; además es costosa.

4.2.6. Tratamientos básicos del agua lluvia

Es necesario que el agua retirada y destinada al consumo directo de las personas sea tratada antes de su ingesta. El tratamiento debe estar dirigido a la remoción

de las partículas que no fueron retenidas por el dispositivo de intercepción de las primeras aguas, y en segundo lugar al acondicionamiento bacteriológico. El tratamiento puede efectuarse por medio de un filtro adecuado de acuerdo a las condiciones del lugar u otro mecanismo que sea eficiente.

De acuerdo con lo anterior, el uso de algunas opciones tecnológicas no son consideradas como factibles para cualquier población, por lo que es relevante considerar aquellas que por condiciones de tipo social y económico puedan ser implementadas en cada comunidad particular; de esta manera, de acuerdo con Rojas & Guevara (2000), la Organización Panamericana de la Salud (2005), la Organización Mundial de la Salud (2006) y el Centre for Affordable Water and Sanitation Technology ó CAWST (2008) a continuación se presentan las tecnologías que en su mayoría son utilizadas para tratar el agua de consumo directo a nivel familiar:

4.2.6.1. Filtros de mesa

Rojas & Guevara (2000) y OPS (2005) establecen que los filtros de mesa fueron una de las tecnologías empleadas en los sistemas locales de desinfección de agua y alimentos a nivel domiciliario. Los primeros filtros estaban equipados con elementos filtrantes de cerámica, conocidos como velas filtrantes, las cuales sufrieron una rápida obturación y desgaste por los frecuentes lavados. Luego se experimentó con un prefiltro de arena seleccionada que cubría la vela filtrante, lo que aumentó sustancialmente la vida útil de estos elementos.

Finalmente, se usaron filtros totalmente de arena sin elementos filtrantes de cerámica y se obtuvo una alta remoción de turbiedad y una mayor vida útil.

Generalmente, las aguas naturales contienen numerosos gérmenes, algunos de los cuales pueden ser patógenos. De este modo, el agua se convierte en un vehículo de transmisión de enfermedades. Sin embargo, estas enfermedades pueden prevenirse por medio de la desinfección u otras técnicas que mejoran la calidad bacteriológica del agua de consumo humano, como es la filtración.

El objetivo de la filtración y específicamente de la micro-filtración mediante elementos de cerámica, es separar las partículas en suspensión y los microorganismos perjudiciales presentes en el agua destinada al consumo humano. Los filtros de arena o de velas filtrantes pueden remover las partículas de tamaño mayor y menor que el poro del medio filtrante. Las partículas mayores son retenidas por el simple efecto físico de cernido y las pequeñas por adherencia a la superficie de las capas superficiales del elemento filtrante. Esta adherencia forma una película cuya resistencia al esfuerzo cortante del arrastre del flujo depende de la magnitud de la fuerza que la mantiene unida. Este último mecanismo disminuye la tasa de filtración y la cantidad de agua filtrada.

Por otro lado, debido a la poca carga de agua sobre el medio filtrante y la baja velocidad de filtración, el esfuerzo cortante es mínimo, lo que aunado a la baja porosidad del medio filtrante permite obtener agua con muy baja turbiedad así como una alta eficiencia en la remoción de bacterias.

A continuación se describen más detalladamente los diferentes filtros de mesas:

➤ **Filtro de velas filtrantes**

El filtro se compone de dos baldes de polietileno de 20 litros y son dispuestos uno encima del otro; el que va en la parte superior es el que alberga a las velas cerámicas. Con este propósito en la base del balde superior y la tapa del balde inferior se perforan dos orificios coincidentes donde irán insertadas las espigas de las velas filtrantes. Entre la base del balde y la tapa inferior se colocan anillos coincidentes con las espigas de las velas a fin de darle mayor rigidez a la unión cuando se aseguren los elementos filtrantes de esta manera se evitará posibles fugas de agua. Este conjunto a su vez es colocado encima del segundo balde en el cual se perfora un orificio en la parte superior para la ventilación este debe ser de unos 3 mm de diámetro para facilitar la filtración del agua. (OPS, 2005).

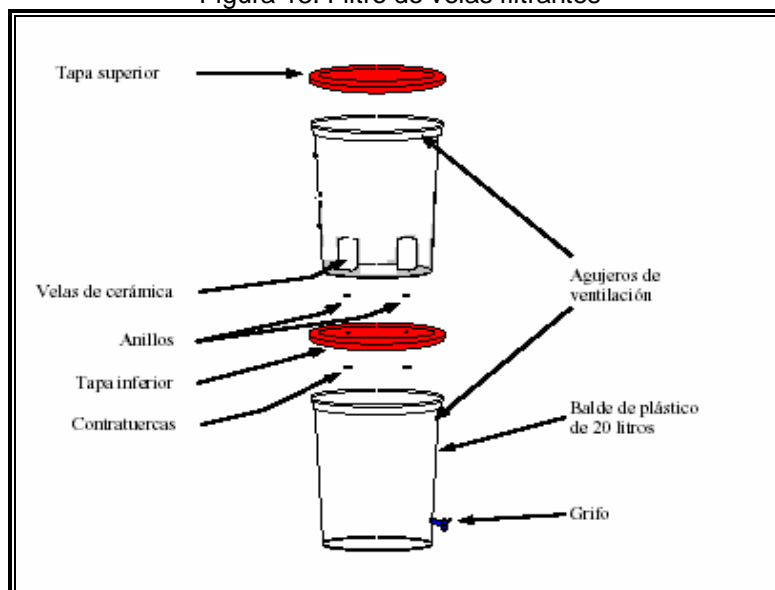
Las velas cerámicas pueden tener un baño interior de plata coloidal que complementa la desinfección del agua filtrada, en este caso tienen las siguientes características:

-Material: cerámica
-longitud: 9.5 cm.

-color: crema
-diámetro: 5.5cm

-forma: cilíndrica
-espesor de pared: 4.5mm

Figura 13. Filtro de velas filtrantes

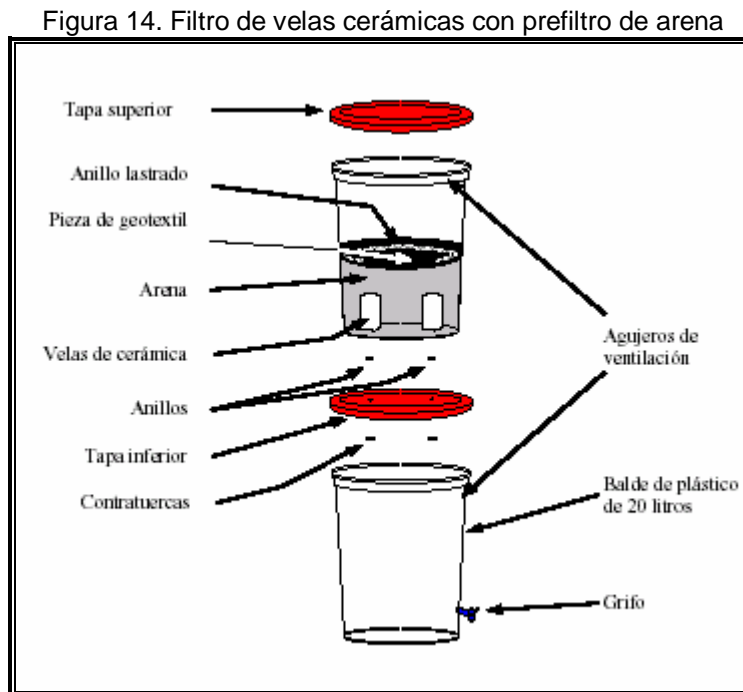


Fuente: Organización Panamericana de la Salud (2005).

➤ **Filtro de velas cerámicas con prefiltro de arena**

Este filtro de mesa permite obtener, en promedio, 15 litros de agua por hora. La pieza de geotextil y la arena, cada una en grado diferente, se encargan de remover la turbiedad, de este modo dan una protección a la vela de cerámica aumentando la vida útil de este dispositivo. En la figura 14 se muestra los componentes del filtro.

La disposición y estructura de los baldes es similar al anterior con modificaciones que se observan en la figura siguiente:



Fuente: Organización Panamericana de la Salud (2005).

La pieza de geotextil debe cumplir con las siguientes características:

- Material no tejido de polipropileno y resistente a la radiación UV:

Espesor de la pieza: 2,0 - 2,5 mm

Permeabilidad: 0,40 - 0,60 cm/s

Permitividad: 2,10 - 2,28 s⁻¹

Tamaño aparente de abertura: 100 – 70

Malla (Standard U. S.) en milímetros: 0,15 - 0,20

- La arena debe tener como características:

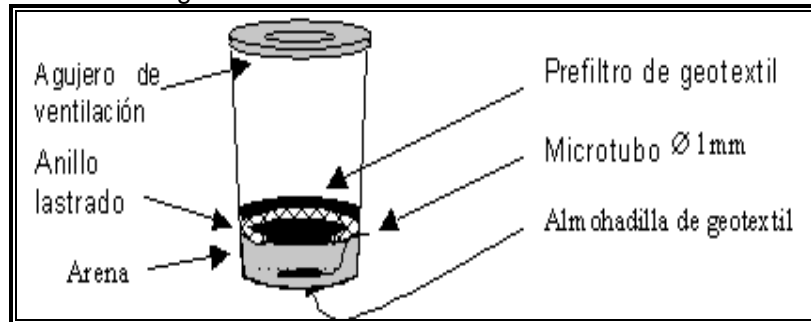
Tamaño efectivo: 0,3mm
 Coeficiente de uniformidad: 2,0
 Tamaño mínimo: 0,25mm
 Tamaño máximo: 0,84mm

➤ **Filtro de arena**

Este filtro usa arena seleccionada de 0,3 mm de tamaño efectivo y 2,0 de coeficiente de uniformidad. La tasa de filtración se controla mediante un reductor de caudal confeccionado con un micro tubo de un milímetro de diámetro interior y 20 centímetros de longitud. La tasa de filtración mínima que se puede obtener con un volumen de agua de ocho litros es de 0,68 m³/(m² x día) equivalente a 1,7 litros de agua por hora o un volumen de 40 litros por día de agua filtrada. A fin de evitar el ingreso de arena al interior del micro tubo que pudiera perjudicar su funcionamiento, se coloca en un extremo del micro tubo una almohadilla de geotextil que actúa como drenaje. (OPS, 2005).

La instalación del reductor de caudal se realiza cubriendo totalmente con arena uno de los extremos que lleva la almohadilla, mientras que el otro extremo sale al exterior a través de un orificio hecho en el balde a la altura del nivel superior de la capa de arena, como se muestra en la siguiente figura.

Figura 15. Características del Filtro de arena



Fuente: Organización Panamericana de la Salud (2005).

Para no perturbar la superficie de arena por el llenado de agua de la unidad de filtración, se coloca una pieza de geotextil sujeta con un anillo hecho de manguera plástica y relleno con arena para darle mayor peso y evitar que flote.

Ventajas y desventajas

Las ventajas y desventajas de los filtros de mesa se presentan en la tabla a continuación:

Tabla 5. Ventajas y desventajas de los filtros de mesa

Ventajas	Desventajas
• La calidad física y bacteriológica del agua es mejorada.	• Solo para consumo directo o ingesta.
• Es muy apropiada para el sector rural disperso.	• Trata poca cantidad.
• Fácil mantenimiento y operación por el beneficiario.	• Solo para turbiedades menores a 5NTU para los que son sólo de velas cerámicas.

Fuente: Propia con base en la Organización Panamericana de la Salud (OPS)

4.2.6.2. Microfiltración

La OPS (2005) Establece que entre los sistemas de microfiltración se diferencian dos tecnologías a saber: microfiltración con alumbre y purificador de agua microbiológico instantáneo. Seguidamente se describen estas tecnologías:

➤ **Microfiltración con alumbre**

Es un sistema de tratamiento de aguas superficiales a nivel domiciliario que cuenta con dos unidades de proceso:

- Unidad de recolección y mejoramiento fisicoquímico.
- Unidad de filtración y almacenamiento.

El sistema funciona mediante un sencillo proceso de clarificación con alumbre que fue complementado con un bidón con filtro mediante una manga de celulosa. Las mangas por el tamaño de sus poros permiten la eliminación de microorganismos patógenos que no son posibles eliminar con otros procesos físicos.

El proceso de tratamiento es el siguiente:

- Se pone en contacto alumbre con el agua, agitando por un minuto.

Figura 16. Adición de alumbre al agua.



Fuente: Organización Panamericana de la Salud (2005).

- El alumbre permite la formación de partículas de mayor tamaño que sedimentan.

Figura 17. Formación y sedimentación de partículas.



Fuente: Organización Panamericana de la Salud (2005).

- El agua clarificada se filtra en el bidón especial a través de la manga de celulosa.

Figura 18. Filtración de agua clarificada.



Fuente: Organización Panamericana de la Salud (2005).

Las características de este sistema son las siguientes:

Unidad de recolección y mejoramiento fisicoquímico: es un recipiente de polietileno de alta densidad de 20 litros de capacidad, que además de utilizarse en la recolección del agua cruda, servirá para realizar el mejoramiento fisicoquímico, mediante los procesos combinados de: coagulación, floculación y decantación.

Coagulante: el sistema propone el uso del alumbre, de fácil adquisición en el mercado local, como coagulante para desestabilizar las partículas que origina la turbiedad del agua y facilitar su posterior sedimentación.

Unidad de filtración, desinfección y almacenamiento: constituida por un recipiente de polietileno de alta densidad de 35 lts de capacidad, que cuenta con un grifo en su parte inferior externa para el uso de agua tratada. El agua decantada o sedimentada es sometida a micro filtración, proceso que permite separar del agua las partículas en suspensión más pequeñas y organismos parásitos que no son posibles de eliminar en la decantación.

Material filtrante: para la filtración se usa una manga de polipropileno de 1 μm de porosidad, la cual se inserta dentro del recipiente de 35 lts. Este material permite eliminar el proceso de desinfección química al retener micro-organismos mayores a 1 μm .

El sistema completo es obligatorio para aguas superficiales turbias; para turbiedades menores a 10 UNT se puede prescindir del alumbre y pasar directamente a la filtración. El mantenimiento individual es muy importante, luego de terminado el proceso se deberán lavar los implementos y mantenerlos en buen estado.

En la siguiente figura se observa los principales elementos del sistema descrito.

Figura 19. Principales elementos de la microfiltración con alumbre



Fuente: Organización Panamericana de la Salud (2005).

Ventajas y desventajas

Las ventajas y desventajas de la microfiltración con alumbre se presentan en la tabla a continuación:

Tabla 5. Ventajas y desventajas de la microfiltración con alumbre

Ventajas	Desventajas
Mejora la calidad del agua cruda	Se produce muy pequeñas cantidades de agua.
Es muy adecuado para poblaciones dispersas	

Fuente: Propia con base en OPS, 2005.

4.2.6.3. Purificador de agua microbiológico instantáneo LifeStraw Family

Iwuana green (2013) considera que el purificador de agua microbiológico instantáneo LifeStraw Family es un sistema de tratamiento de agua en el punto de uso para ser utilizado diariamente en entornos de bajos recursos

Filtra hasta 18,000 litros* de agua, lo suficiente para proporcionar a una familia de cinco integrantes agua microbiológicamente pura durante tres años, además de eliminar la necesidad de tener que repetir la intervención

Garantiza un alto caudal de flujo y un alto volumen de agua purificada.

Cumple con la Guía Estándar y Protocolo para Analizar Purificadores Microbiológicos de Agua de 1987 de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos:

- Elimina un mínimo de 99.9999% de bacterias (reducción >Log 6)
- Elimina un mínimo de 99,99% de virus (reducción >Log 4)
- Elimina un mínimo de 99,9% de parásitos protozoarios (reducción >Log 3)
- Elimina la turbidez

No requiere electricidad, baterías o reemplazo de partes.

No requiere un suministro de agua corriente o de agua de red.

Posee un prefiltro y un cartucho de purificación fáciles de limpiar.

Figura 20. Purificador de agua microbiológico instantáneo LifeStraw Family



Fuente: AGUAYUDA, 2014.

1. Balde de alimentación de agua con prefiltro: recipiente de 2L de capacidad para ser llenado con agua no purificada.
2. Prefiltro: el prefiltro de 80 micras elimina la turbidez más gruesa y es fácil de limpiar.
3. Cámara de halógenos: libera bajos niveles de cloro para evitar que la membrana se ensucie.
4. Manguera de plástico (un metro de longitud): la fuerza de gravedad produce la presión suficiente en el cartucho de la membrana para lograr un alto caudal de flujo.
5. Cartucho de la membrana: la ultrafiltración se realiza en el cartucho de la membrana – un tamaño de poro de 20 nanómetros retiene bacterias, virus, parásitos y partículas de polvo fino.
6. Llave azul: salida de agua purificada.
7. Bombilla de limpieza: el retrolavado de las membranas se realiza apretando la bombilla tres veces.
8. Válvula de salida: desecha la suciedad e impurezas.

Al utilizar por primera vez, se abre la válvula de salida para eliminar todo el aire dentro de la membrana de fibras huecas y para humedecer la superficie de la membrana, permitiendo así una filtración óptima del agua no tratada. La válvula de salida debe cerrarse a los 3 segundos.

Al verter el agua no tratada por el balde de alimentación de agua, el prefiltro elimina las partículas gruesas mayores a $80\mu\text{m}$. La fuerza de gravedad empuja el agua con las partículas menores a $80\mu\text{m}$ a través de la manguera de plástico hacia el cartucho de purificación. El cartucho de purificación, que contiene una membrana (de fibras huecas) de ultrafiltración con una porosidad de 20nm , detiene todas las partículas mayores a 20nm (incluso todos los microbios: parásitos protozoarios, bacterias y virus). Las partículas de turbidez también son detenidas por la membrana en función de su tamaño. El agua no tratada es empujada a través de la membrana (de fibras huecas) de ultrafiltración por la fuerza de gravedad, es decir, por la presión aplicada a través de la manguera de plástico de 1m, que equivale a una presión de 0.1 bares. Esta presión de 0.1 bares fuerza al agua a pasar por los poros de la membrana de fibras huecas; las partículas y microbios mayores a 20nm se quedan del lado sucio de la membrana y el agua pura/purificada pasa a través de la membrana. El agua purificada se puede obtener a través de la llave azul. Al apretar la bombilla de limpieza, las partículas de suciedad del lado sucio de la membrana se levantan por efecto de la contrapresión y luego se eliminan por la llave de salida.

Debido a que la membrana de 20nm detiene a todos los microbios, el agua purificada cumple con los requisitos de la USEPA sobre la reducción LOG 6/4/3 de las concentraciones de microbios para purificadores de agua. La presión de 0.1 bares que posibilita el proceso de purificación también produce un caudal de flujo de 12-15L/hora de agua purificada.

El Purificador LifeStraw Family también posee una cámara de cloro ubicada debajo del recipiente superior. Esta cámara elude pequeñas cantidades de cloro activo, que evitan que la membrana de ultrafiltración se ensucie (pequeñas cantidades de cloro activo disminuyen la formación de biofilm en la membrana de fibras huecas). Las pequeñas cantidades de cloro activo protegen el cartucho de ultrafiltración y de esa manera prolongan el periodo de vida del purificador.

Ventajas y desventajas

Las ventajas y desventajas del purificador de agua microbiológico instantáneo LifeStraw Family se presenta en la tabla a continuación:

Tabla 6. Ventajas y desventajas del purificador de agua microbiológico instantáneo LifeStraw Family

Ventajas	Desventajas
Potabiliza el agua cruda	Su costo es mayor que otros filtros domiciliarios
Es muy adecuado para poblaciones dispersas	
Facilidad de instalación, operación mantenimiento	
Larga vida útil	

Fuente: propia

4.2.6.4. Filtro lento de arena (a nivel domiciliario)

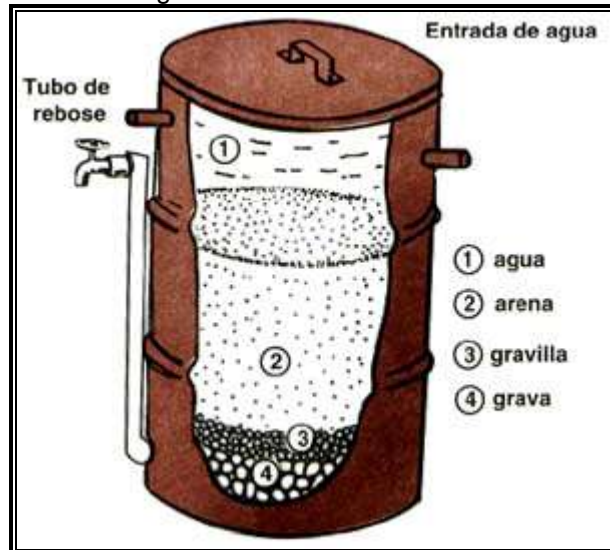
De acuerdo con CEPIS (2000) y OPS (2005) la filtración es el método más usado por el hombre para la purificación del agua, este proceso físico asegura la remoción de sólidos presentes en el agua a tratarse así como parásitos y algunos microorganismos patógenos si bien es cierto no asegura una remoción al 100% la eficiencia de este método alcanza niveles superiores al 90% de efectividad en la remoción de bacterias patógenas.

El método del filtro lento de arena si es bien utilizado, alcanza eficiencias de hasta el 99,9% de remoción de microorganismos y parásitos dañinos para la salud; esto se da siempre que se aseguren algunas condiciones, como por ejemplo la de mantener un flujo constante esto ayudara a mantener la capa biológica que se forma en la parte superior y que contiene una colonia de microorganismos que ayudan a eliminar a los patógenos.

El filtro está compuesto por un recipiente de plástico, ferrocemento, concreto o tanques metálicos galvanizados con tapa hermética; también con tubos de entrada y de rebose, así como las capas de arena, gravilla y grava dispuestas en ese orden de arriba hacia abajo. Presenta las siguientes características:

- Arena fina o de río de 0,15 a 0,35 mm de diámetro.
- Gravilla, cascajo o piedra china delgada con un tamaño aproximado de 2 a 3 cm.
- La grava y gravilla, cascajo o piedra china delgada o gruesa se extrae de las riberas de los ríos.

Figura 21. Filtro lento de arena



Fuente: Organización Panamericana de la Salud (2005).

Las características más importantes del filtro de arena a nivel domiciliario son las siguientes:

- Los recipientes a ser usados deben ser de fácil ubicación o fabricación al alcance de los pobladores.
- El filtro necesita de un tiempo previo de 2 a 3 semanas para la formación de la capa biológica que se encargará de eliminar a las bacterias y virus que puedan encontrarse en el agua a tratar.

El filtro no se usa para fines de almacenamiento.

- Las medidas a considerar para la distribución de los componentes del material filtrante son: alrededor del tubo de drenaje en el fondo del recipiente se colocan 7,5 cm de grava, sobre la grava se colocan 5 cm de arena gruesa y sobre ésta la arena fina.
- El material filtrante deberá mantenerse en todo momento húmedo para ello y también por cuestiones de comodidad se debe colocar el grifo por lo menos a 5 cm por encima del nivel superior de la arena.
- El agua filtrada puede ser tratada adicionalmente con cloro.
- El mantenimiento es muy importante y se deberá realizar al observar señales de disminución de la velocidad de salida del flujo esto indicará que el filtro está colmatado y es tiempo de su mantenimiento.

- El mantenimiento se realiza por separado y con agua limpia o alguna solución de cloro.

Los Insumos para un filtro lento de arena familiar fundamnetalmente son los siguientes: tanque, arena lavada de río, grava, gravilla, unión ½” galvanizada, codo PVC ½”, adaptador macho, PVC ½”, adaptador hembra PVC, 1/2”, tubo PVC ½”, llave terminal ½” y universal PVC ½”.

Ventajas y desventajas

Las ventajas y desventajas del filtro lento de arena se presentan en la tabla a continuación:

Tabla 7. Ventajas y desventajas del filtro lento de arena

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Su eficiencia está comprobada para la remoción de turbidez, color y algunos elementos patógenos quiste y huevos de parásitos 100%, virus y material orgánico 98%. 	<ul style="list-style-type: none"> • Su utilidad sólo para situaciones intrafamiliares.
<ul style="list-style-type: none"> • Los materiales a ser usados pueden ser obtenidos de la misma zona. 	<ul style="list-style-type: none"> • No mantiene un régimen continuo de flujo.
<ul style="list-style-type: none"> • Es una opción sencilla y práctica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Largos tiempos para mantenimiento, arranque y vuelta a operación.
<ul style="list-style-type: none"> • El presupuesto de adquisición y operación es bajo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere de desinfección para asegurar la calidad del agua.
<ul style="list-style-type: none"> • La operación 	

Fuente: propia con base en OPS.

4.2.6.5. Filtro casero de CARPOM

La OPS (2005) establece que el filtro casero de CARPOM es un filtro sencillo fabricado con materiales fácilmente localizables en zonas rurales. La experiencia desarrollada ha demostrado que la fabricación de este sistema con la utilización de tubería de PVC como recipiente, grava, arena, carbón vegetal y piedra pómez como materiales filtrantes es muy factible. Esta técnica para la depuración de agua se ha desarrollado con unidades demostrativas instaladas en casas de familias de zona rural dispersa ubicadas en las riberas de ríos y riachuelos.

Figura 22. Filtro casero de CARPOM



Fuente: Organización Panamericana de la Salud (2005).

Las características más relevantes de este filtro son las siguientes:

- Se construye con un pedazo de tubería de PVC de 45 cm. de largo, de 15 ó 20 cm de diámetro.
- El material filtrante está compuesto por grava, arena de grano uniforme (tamizada), trozos de carbón vegetal y pedazos de piedra pómez.
- Como elemento para la salida del líquido filtrado se pueden utilizar boquillas plásticas (fabricadas comercialmente para esa función) o tubería de PVC, de 25 ó 50 cm de diámetro, uniformemente perforada o ranurada.
- La base del sistema se cierra con una pieza de madera. Se deja la abertura apropiada para la colocación de la manguera a utilizar para la obtención del agua filtrada.
- Al agua filtrada deberá agregársele un desinfectante. Hipoclorito de calcio (HTH) o cloro líquido comercial, en las dosis apropiadas a los volúmenes a tratar.

Ventajas y desventajas

Las ventajas y desventajas del Filtro casero de CARPOM se presentan en la tabla a continuación:

Tabla 8. Ventajas y desventajas filtro casero de CARPOM

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Su eficiencia en la remoción de la turbiedad y algunos patógenos esta probada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Su utilidad se limita sólo para casos intrafamiliares.
<ul style="list-style-type: none"> • Se presenta como una buena opción para reducir la turbiedad antes de la desinfección. 	<ul style="list-style-type: none"> • Los periodos de parada por mantenimiento son largos.
<ul style="list-style-type: none"> • Es bastante adecuada para las poblaciones dispersas. 	<ul style="list-style-type: none"> • No pueden ser usados para almacenamiento.
<ul style="list-style-type: none"> • Es una opción sencilla y práctica. 	
<ul style="list-style-type: none"> • De fabricación fácil y bajo costo. 	
<ul style="list-style-type: none"> • Operación y mantenimiento sencillos 	

Fuente: propia con base en OPS

4.2.6.6. FILTRON: Filtro de cerámica para agua potable

Lerma (2010) y OPS (2005) define que el Filtrón es un filtro bajo costo para uso intradomiciliario que trata el agua contaminada para el consumo directo es decir como bebida básicamente consiste en un elemento de filtración hecho de una mezcla de arcilla y aserrín, este último elemento es el que le da porosidad al producto final, luego el filtro es embadurnado con la solución de plata coloidal, para después ser colocado dentro de un recipiente como se indica en la figura 23.

Figura 23. Filtro de cerámica para agua potable



Fuente: Organización Panamericana de la Salud (2005).

Este filtro puede ser hecho por alfareros locales usando materiales propios de la zona, sin ninguna necesidad de electricidad o tecnología avanzada. FILTRÓN es un sistema innovador que asegura el agua potable a bajo precio para las familias.

Además, esta es una tecnología que puede ser aplicada por todos los miembros de la familia y que genera oportunidades de trabajo para artesanos locales.

Las características más sobresalientes de este filtro son:

- La arcilla de fábrica debe ser similar a la que se usa para elaborar objetos de cerámica.
- Para la fabricación de la vasija filtrante, la proporción en volumen de la mezcla es 1 de arcilla a 1,5 de aserrín. La proporción en peso es 1 de arcilla a 3 de aserrín (como cada arcilla es diferente deberá ser probada en una mezcla de 50/50 desde allí se determinarán los cambios en la fabricación).
- Su forma es similar a un pequeño balde que irá dentro del recipiente donde se verterá el agua a tratar, esto es sólo una referencia ya que la arcilla se puede moldear según sea la necesidad y gusto del usuario.
- En la parte interior así como también en la exterior se embadurnará con una solución coloidal de plata, la que se aplicará con un cepillo negro y limpio; la proporción de la solución debe ser de 300 cc de agua con 1 cc de plata coloidal al 3,2%.
- Los recipiente a utilizarse pueden ser sencillos de plástico y con tapa hermética además que se puede almacenar agua, aunque esto último no es recomendable.
- Su bajo costo y su tasa de filtración que comparada con los otros métodos es más rápida.
- El dispositivo se ha probado 98 a 100 por ciento de eficiencia en la eliminación de bacterias y de indicadores bacterianos, aunque la educación sanitaria y el uso apropiado son vitales para obtener buenos resultados en su uso.
- Una de las características más importantes es su hermeticidad para asegurar la calidad del agua tratada en la casa con un adecuado almacenamiento y que cuente con un grifo de salida para evitar su contaminación en la manipulación.

Ventajas y desventajas

Las ventajas y desventajas del **FILTRON** se presentan en la tabla a continuación:

Tabla 9. Ventajas y desventajas del *FILTRON*

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Elimina las bacterias y parásitos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Es bastante frágil; por ello requiere de maniobrarlo con cuidado.
<ul style="list-style-type: none"> • Es fácil de usar, operar y dar mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere de mantenimiento regular.
<ul style="list-style-type: none"> • No afecta el gusto del agua. 	<ul style="list-style-type: none"> • Combustible requerido para producción.
<ul style="list-style-type: none"> • Tiene buena aceptación por las comunidades debido a que la arcilla es bastante común para ellas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo caudal solo para consumo directo.
<ul style="list-style-type: none"> • Mantiene el agua fresca y agradable. 	
<ul style="list-style-type: none"> • Remueve la turbiedad y puede ser usado en conjunto con otros métodos. 	
<ul style="list-style-type: none"> • Puede ser elaborado localmente. 	
<ul style="list-style-type: none"> • Precio bajo: US\$10 (0,03 Centavos día o 0,001 centavos un litro). 	

Fuente: propia con base en OPS.

4.2.6.7. SODIS

La OPS (2005) considera que la tecnología de la desinfección solar o también llamada SODIS consiste en un método sencillo y de fácil aplicación que utiliza la radiación solar (temperatura y rayos UV) para mejorar la calidad bacteriológica del agua. Este método es ideal para poblaciones pequeñas y de bajos recursos.

Este método de desinfección consiste en llenar botellas transparentes con agua, agitarlas manualmente, taparlas y posteriormente colocarlas en un lugar donde reciban los rayos solares (de preferencia sobre una superficie reflectante, tal como una lámina de zinc) durante aproximadamente seis horas. Durante el tiempo de exposición, la radiación ultravioleta (UV) emitida por el sol, sumada al incremento de la temperatura del agua, elimina las bacterias patógenas presentes en ella. La desinfección solar requiere agua relativamente clara (turbiedad menor a 30 Unidades de Turbidez Nefelométricas - NTU) y no es útil para el tratamiento de grandes cantidades de agua.

Los componentes del sistema son: las botellas y la superficie reflectora:

- **Botella para el tratamiento:** Las botellas serán de preferencia de plástico ya que éstas son menos delicadas que las de vidrio y de preferencia de polietileno ya que estas contienen menos aditivos de protección contra los rayos UV; además deberán ser bien lavadas antes de su primer uso, el volumen puede variar entre 1 ó 2 litros pero sin que la profundidad al ser colocada horizontalmente exceda los 10 cm.

Figura 24. Tratamiento del agua mediante la tecnología SODIS



Fuente: Organización Panamericana de la Salud (2005).

- Superficie reflectora: La utilización de superficies que retengan calor debajo de las botellas que contienen el agua por desinfectar mejora significativamente la eficiencia del sistema. Con este propósito, pueden utilizarse láminas corrugadas de zinc o simplemente una superficie oscura.

Otras características importantes son los factores del sistema: el clima, el oxígeno, la turbidez, efecto UV y temperatura.

- El clima: El clima es un factor de suma importancia, ya que de ella depende la intensidad de la radiación solar sobre la que se sostiene todo el sistema; es importante tener en cuenta entonces la variabilidad que existe tanto geográfica como estacional y diaria.
- El oxígeno: El oxígeno es otro factor importante ya que en suficiente cantidad es capaz formar compuestos altamente reactivos como radicales libres y peróxidos que destruyen la estructura celular de los patógenos, la aeración se puede lograr agitando la botella en sus tres cuartas partes 20 veces antes de llenarla por completo.
- La turbidez: Las partículas suspendidas en el agua reducen la penetración de la radiación solar en el agua e impiden que los microorganismos sean irradiados. Por lo tanto, la eficacia de desinfección de SODIS se ve reducida en agua turbia. Si la turbiedad del agua es mayor a 30 UNT, es necesario pretratar el agua antes de exponerla a la luz solar. Los sólidos y partículas más grandes se pueden eliminar almacenando el agua cruda durante un día y dejando que las partículas se asienten en el fondo y luego, se decanta el agua.

Se puede separar la materia sólida mediante filtración, usando una capa de arena o un paño. También se puede reducir la turbiedad mediante floculación/sedimentación, usando sulfato de aluminio o semillas trituradas de

Moringa oleífera. De no ser posible reducir la turbiedad mediante diferentes mecanismos de pretratamiento, es posible inactivar los microorganismos mediante la temperatura en lugar de la radiación UV-A (mediante pasteurización solar o hirviendo el agua).

- Efecto UV y Temperatura: En si este efecto es el llamado proceso SODIS que consiste en un sinergismo de los dos factores; como se sabe ambos en cierto grado son capaces de eliminar a los microorganismos patógenos; sin embargo, en este caso el grado en que trabaja cada uno es menos intenso es por ello que se requiere de la combinación de ambos para lograr el efecto desactivador sobre los microorganismos.

Figura 25. Procedimiento para el tratamiento del agua mediante la tecnología SEDIS



Fuente: Organización Panamericana de la Salud (2005).

Ventajas y desventajas

Las ventajas y desventajas de la tecnología de la desinfección solar se presentan en la tabla a continuación:

Tabla 10. Ventajas y desventajas de la tecnología de la desinfección solar.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • SODIS mejora la calidad microbiológica del agua para consumo humano. 	<ul style="list-style-type: none"> • SODIS requiere suficiente radiación solar; por lo tanto, depende de las condiciones climáticas.
<ul style="list-style-type: none"> • SODIS mejora la salud de la familia. 	<ul style="list-style-type: none"> • SODIS requiere que el agua no esté turbia.
<ul style="list-style-type: none"> • SODIS brinda a los usuarios individuales un método simple que se puede aplicar a nivel del hogar bajo su propio control y responsabilidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • SODIS no cambia la calidad química del agua.
<ul style="list-style-type: none"> • SODIS está al alcance de todos, pues los únicos recursos necesarios son la luz solar, que es gratis y botellas de plástico. 	<ul style="list-style-type: none"> • SODIS no es útil para tratar grandes volúmenes de agua.
<ul style="list-style-type: none"> • SODIS reduce la necesidad de fuentes tradicionales de energía, como la leña, el kerosene y el gas. 	<ul style="list-style-type: none"> • SODIS puede contaminar el agua con elementos cancerígenos que libera el plástico a temperaturas muy altas.

Fuente: propia con base en OPS (2005).

4.2.6.8. Filtro de plástico con elementos de disco

Para Azud (2013) el Filtro de plástico con elementos de disco consiste en el cuerpo, tapa y discos ranurados cilindros, apilados en una columna de plástico, formando un elemento de filtro cilíndrico. Los discos se comprimen juntos dentro de la carcasa del filtro por un resorte situado en la parte inferior de la cubierta del filtro a partir de un grado de filtración de dimensiones (figura 26):

Figura 26. El Filtro de plástico con elementos de disco



Fuente: propia.

Figura 27. Parte interna del filtro de plástico con elementos de disco



Fuente: propia.

Los sedimentos se acumulan en la cara exterior de los discos apilados, permitiendo que el agua limpia fluya a través de los discos apilados y fuera del medio de filtro.

Los elementos de disco proporcionan la filtración en profundidad para retener la materia orgánica.

Durante el funcionamiento de los elementos de discos a una fuerte compresión en conjunto por la presión y el resorte que proporciona una alta eficiencia de filtración.

Los discos tienen una excelente resistencia a la mayoría de los productos químicos comunes, además presentan facilidad de mantenimiento, y los discos se pueden extraer para su limpieza.

Este filtro está construido de material plástico resistente a los rayos UV para soportar las condiciones más adversas.

Ventajas y desventajas

Las ventajas y desventajas del filtro de plástico con elementos de disco se presentan en la tabla a continuación:

Tabla 11. Ventajas y desventajas del filtro de plástico con elementos de disco

Ventajas	Desventajas
Buena resistencia a productos químicos comunes	Difícil instalación
Resistencia a los rayos UV	No realiza tratamiento completo del agua
Facilidad de mantenimiento	

Fuente: propia con base en Azud, 2013.

4.2.6.9. Filtro de plástico con malla

Para Azud (Op. Cit) el filtro de plástico con malla tiene inmerso una malla de polyester soportada por un plástico duro dentro de la carcasa del filtro, por lo que los sedimentos se acumulan en las paredes de la misma, permitiendo que el agua limpia fluya fuera del medio de filtro.

Figura 28. Filtro de plástico con malla



Fuente: propia.

Figura 29. Parte interna del filtro de plástico con malla



Fuente: propia.

La malla tiene una excelente resistencia a la mayoría de los productos químicos comunes, además presenta facilidad para la realización de mantenimiento, dado que esta se puede extraer para su limpieza.

Este filtro está construido de material plástico resistente a los rayos UV para soportar las condiciones más adversas.

Ventajas y desventajas

Las ventajas y desventajas del filtro de plástico con malla se presentan en la tabla a continuación:

Tabla 12. Ventajas y desventajas del filtro de plástico con malla

Ventajas	Desventajas
Buena resistencia a productos químicos comunes	Difícil instalación
Resistencia a los rayos UV	No realiza tratamiento completo del agua
Facilidad de mantenimiento	

Fuente: propia con base en Azud, 2013.

4.2.6.10. Métodos artesanales y alternativos

Los métodos de esta índole necesitan siempre de un proceso de desinfección para asegurar que el agua sea potable, están regidos por principios básicos como la sedimentación, filtración o tamizado y clarificación con coagulantes y floculantes químicos o naturales que en la mayoría de casos remueven ya sea en mayor o menor grado la turbidez que arrastra consigo, un porcentaje importante de bacterias y parásitos; claro que esto no asegura que el agua sea potable, es por ello que necesita desinfectarse antes de su consumo (OPS, 2005).

Almacenamiento y sedimentación (tres ollas)

Al almacenar el agua en condiciones no contaminantes por un día se puede conseguir la eliminación de más del 50% de la mayoría de las bacterias. Los períodos más largos de almacenamiento conducirán a reducciones aún mayores. Durante el almacenamiento, los sólidos en suspensión y algunos de los patógenos se depositarán en el fondo del recipiente. El agua sacada de la parte superior del recipiente será relativamente clara (a menos que los sólidos sean muy pequeños, tales como partículas de arcilla) y tendrá menos patógenos. El sistema de tratamiento de tres ollas en las que se echa agua sin tratar a la primera olla, donde se decanta en la segunda olla después de 24 horas y se echa en la tercera olla después de 24 horas adicionales, aprovecha los beneficios del almacenamiento y la sedimentación (OPS, 2005).

Tamizado

Echar el agua a través de un paño de algodón limpio eliminará una cierta cantidad de sólidos en suspensión o turbidez. Se han construido telas de filtro de

monofilamento especial para uso en las zonas en las que prevalece la enfermedad del nematodo de Guinea. Las telas filtran los copépodos que son los huéspedes intermedios de las larvas del nematodo de Guinea (OPS, 2005).

Coagulación y floculación

Si el agua contiene sólidos en suspensión, la coagulación y la floculación pueden utilizarse para eliminar gran parte del material. En la coagulación, se agrega una sustancia al agua para cambiar el comportamiento de las partículas en suspensión. Hace que las partículas, que anteriormente tendían a repelerse unas de otras, sean atraídas las unas a las otras o hacia el material agregado. La coagulación ocurre durante una mezcla rápida o el proceso de agitación que inmediatamente sigue a la adición del coagulante (OPS, 2005).

El proceso de floculación que sigue a la coagulación, consiste de ordinario en una agitación suave y lenta. Durante la floculación, las partículas entran más en contacto recíproco, se unen unas a otras para formar partículas mayores que pueden separarse por sedimentación o filtración. El alumbre (sulfato de aluminio) es un coagulante que se utiliza tanto al nivel de familia como en las plantas de tratamiento del agua. Los coagulantes naturales incluyen semillas en polvo del árbol *Moringa olifeira* y tipos de arcilla tales como la bentonita. (OPS, 2005).

Este método es de uso regular y hasta común en las comunidades del interior del país donde se utilizan coagulantes naturales como el polvo de pepas de durazno, las habas, penca de tuna y una de las más antiguas es la fariña obtenida de la planta conocida como mandioca o yuca. Este método es actualmente usado por las comunidades alrededor del río Ucayali en la selva peruana, constituyendo un alto riesgo ya que no es complementada con desinfección.

A continuación les describimos algunos de los coagulantes mencionados:

➤ *Mandioca o yuca (fariña)*

La mandioca o yuca es un arbusto originario de América, que abunda en la zona tropical. Mide de dos a tres metros de altura, tiene hojas palmeadas y flores en racimos. La raíz, un tubérculo blanco, grande y carnoso, contiene almidón, harina y tapioca, es la parte comestible de la planta. Existen dos clases de mandioca, una dulce y otra amarga: la primera se puede comer asada o cocida sin ningún peligro, la segunda en cambio, es venenosa, por eso para comerla es necesario primero tostarla, para que pierda sus propiedades nocivas, luego se pulveriza. Así se obtiene la harina que se conoce con el nombre de fariña y que constituye un alimento muy apreciado y de mucho consumo en la amazonía peruana, el noreste argentino, Brasil y Paraguay. Antes se conocía a la fariña con el nombre de harina de palo. Los nativos fabricaban su vino, especie de chicha, con la mandioca, la

masticaban y luego la hacían fermentar en agua. El cultivo de la mandioca es antiquísimo, según algunos autores los nativos ya la consumían antes de la llegada de los españoles, otros en cambio aseguran que se les enseñó su cultivo y la forma de hacerla comestible e inofensiva. (OPS, 2005).

➤ **Semillas de moringa**

En procura de utilizar coagulantes naturales, disponibles en la región latinoamericana, varios investigadores han analizado plantas como la *Moringa Oleifera*. La utilización de las semillas de moringa molidas ha dado muy buenos resultados en países asiáticos y africanos para la clarificación de aguas y la remoción de bacterias. La moringa es una planta nativa del norte de India, pero crece muy bien en la América tropical. Donde es conocida, entre otros nombres, como: terebinto, arango, marango, narango, árbol de las perlas, chinto borrego, jacinto, paraíso blanco, san jacinto, perla de la India o rábano picante. Es una planta de rápido crecimiento, alcanzando hasta 4 m de altura. Se reproduce por estacas o semillas. Sus características más importantes son presentadas a continuación:

- Las bayas o vainas deben madurarse en el árbol y se recolectan cuando están secas.
- Las semillas deben abrirse, quitándoles la cáscara y dejando una pequeña "almendra" blanquecina, la que debe ser finamente molida.
- Para tratar agua de río con turbiedad moderada, se requieren de 150 a 300 mg de semilla molida por litro de agua turbia.
- Con agua limpia y semillas molidas se hace una pasta, la cual se diluye en un recipiente que pueda cerrarse. Se agita muy bien por 5 minutos. Seguidamente, se filtra para eliminar gruesos y el producto pasado, se coloca en el agua a tratar.
- Colocada la solución preparada con las semillas de moringa en el agua a tratar, se procede a agitar todo el volumen por 2 minutos y se deja en reposo por una hora. El agua clarificada puede hacerse pasar por un filtro de arena para completar el proceso de limpieza (OPS, 2005).

Hervido del agua

El hervido del agua es un método utilizado para eliminar microorganismos patógenos por medio de las altas temperaturas, garantizando así una mejor calidad del agua. Entre sus desventajas está el hecho de consumir mucha energía para cocinar o hervir el agua además de ser un proceso demorado por el tiempo de calentamiento y enfriamiento del agua; por su parte, presenta las ventajas de

además de lograr la eliminación de los prácticamente un 100% de los microorganismos patógenos presentes en el agua, y es de gran utilidad para tratar pequeñas cantidades de agua.

Cloración

En este método el cloro se usa como medio de eliminación de los microorganismos presentes en el agua, debido a su gran poder destructivo. Este se encuentra principalmente en tres presentaciones que son el hipoclorito de sodio, hipoclorito de calcio y el cloro gaseoso; por cuestiones de bajos costos, facilidades de aplicación, y efectividad, el hipoclorito de calcio es la presentación más usada.

Entre las ventajas de utilizar el cloro como desinfectante está el hecho de que destruye los organismos causantes de enfermedades, realizando esta acción a la temperatura ambiente y en un tiempo relativamente corto; es inocuo para el hombre y los animales, en las dosis utilizadas en la desinfección de las aguas; deja un efecto residual que protege al agua potable de eventuales contaminaciones posteriores; su concentración en el agua potable es determinada fácilmente; es de bajo costo, comparado con otros desinfectantes como el ozono o el dióxido de cloro; en el agua de baja turbiedad y pH menor de 8 unidades, es muy eficaz contra las bacterias relacionadas con enfermedades transmitidas por el agua.

Por su parte, entre las desventajas de utilizar el cloro como desinfectante se presenta el hecho de que cuando existe turbiedad, los microorganismos adheridos a las partículas quedan protegidos y no son afectados por la acción del cloro; es ineficaz contra los virus y los quistes de protozoos en las dosis, temperatura y tiempos de contacto normalmente usadas en la cloración del agua para fines de potabilización.

4.3. Marco legal

La normativa básica en la cual se enmarca este trabajo de investigación es la siguiente:

Tabla 13. Normativa ambiental relacionada con el recurso hídrico.

NORMA	EXPIDE	DESCRIPCION
Decreto 3930 de 2010	Presidencia de la República	Art. 9 y 10 Establecen los diferentes usos del agua
Decreto 1323 de 2007	Presidencia de la República	Sistema de información del recurso hídrico – SIRH. Los titulares de Licencia Ambiental (que usen el agua directamente de fuentes hídricas) y concesionarios deben enviar la información pertinente a la autoridad ambiental.
Decreto 1575 de 2007	Presidencia de la República	Agua Potable. Art. 10 Lavar y desinfectar tanques almacenamiento cada 6 meses.
Resolución 2115 de 2007	Ministerio de la protección social, y Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial	Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano
Decreto 1900 de 2006	Presidencia de la República	Regula inversión del 1% para conservar las fuentes hídricas
Ley 99/1993	Congreso de la República	Globalmente abarca el tema de manejo de residuos sólidos regulando las condiciones generales para el saneamiento del medio ambiente, con el fin de mitigar e impedir el impacto de actividades contaminantes al entorno natural.
Ley 373 de 1997	Congreso de la República	Programa de Ahorro y Uso Eficiente del Agua
Constitución Política de Colombia de 1991.	Asamblea Nacional Constituyente	Contempla que el estado de proteger la diversidad e integridad del ambiente y de prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, así como el derecho de toda persona a gozar de un ambiente sano.
Ley 9 de 1979	Congreso de la República	Por la cual se dictan medidas sanitarias.
Decreto 2811/1974	Presidencia de la República	Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y protección al Medio Ambiente.

Fuente: propia.

5. METODOLOGÍA

5.1 Método de estudio

Estudio exploratorio y descriptivo, ya que en Buenaventura y la zona del pacifico no se han realizado estudios de esta naturaleza. En el análisis y evaluación de alternativas de tratamiento del agua lluvia, se utilizaron técnicas de diseño experimental.

5.2 Tipo de estudio

El estudio se enmarcó de tipo cuantitativo y cualitativo.

5.3. Materiales y métodos

Para el cumplimiento de los objetivos planteados en la presente investigación, se desarrollaron las siguientes fases:

5.3.1. Fase I. Determinación de la situación actual de aprovechamiento de uso doméstico del agua lluvia (objetivo 1)

5.3.1.1. Recorridos de campo, encuestas y entrevistas

Con la finalidad de conocer algunas características esenciales de las viviendas de la zona de estudio, su composición, formas de captación y usos del agua lluvia; se realizaron recorridos de campo y aplicaron encuestas a los jefes de hogar y representantes o líderes de la comunidad.

Con esta finalidad, se realizó un censo total a las 68 viviendas que conforman la zona de estudio, aplicando la encuesta (anexo 1) a los jefes de hogar.

5.3.1.2. Determinación del potencial de aprovechamiento de agua lluvia

Para la determinación del potencial de aprovechamiento de agua lluvia se determinó la precipitación de la zona para el tiempo de estudio y el área de captación promedio de las viviendas de acuerdo con las siguientes formulas:

$$P_n = P_i * N_{captacion} \quad (\text{formula 1})$$

Dónde:

P_n = precipitación neta del día, mes o año (mm)

P_i = precipitación total del día, mes o año (mm)

$N_{captacion}$ = eficiencia de captación del agua de lluvia, 0.765.

El área de captación del agua de lluvia se obtuvo con la siguiente ecuación:

$$A = a \times b \quad (\text{formula 2})$$

Dónde:

A= Área de captación, m²

a= Ancho de la casa, m

b= Largo de la casa, m

5.3.2. Fase 2. Análisis de la calidad del agua lluvia captada (objetivo 2)

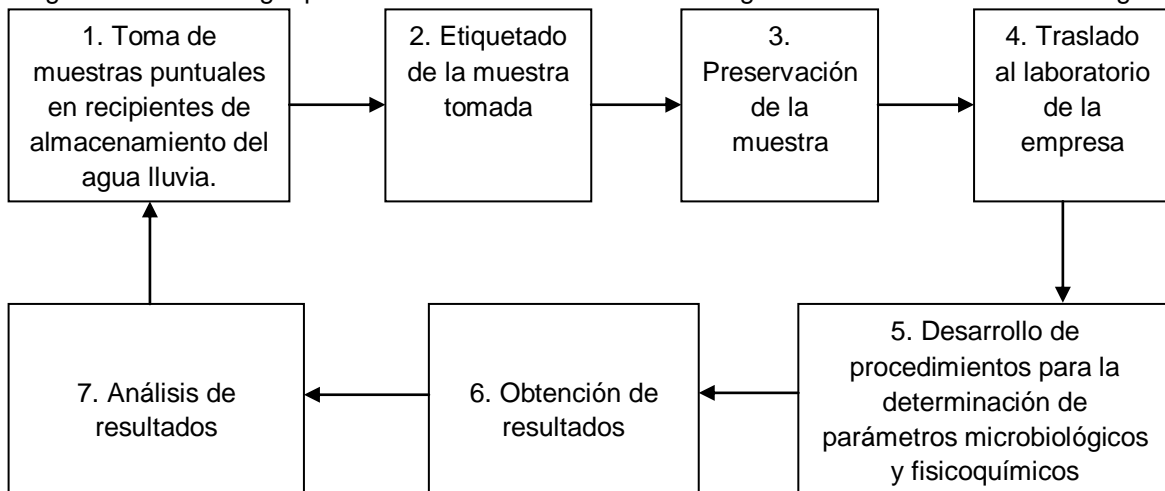
Para el análisis de la calidad del agua lluvia captada, en total se evaluaron 6 meses, comprendidos desde julio hasta diciembre del año 2013. Los 6 meses de estudio se dividieron en dos periodos:

Periodo 1: julio, agosto, septiembre

Periodo 2: octubre, noviembre, diciembre

En el periodo 1 se evaluaron las condiciones de calidad del agua captada sin ningún tratamiento. Y, en el periodo 2, se evaluaron las alternativas de tratamiento del agua o mejora para consumo humano. La metodología para el análisis de la calidad de las aguas lluvias en el CCCN Los Lagos se presenta en la figura a continuación.

Figura 30. Metodología para el análisis de la calidad de las aguas lluvias en el CCCN Los Lagos



Fuente: propia.

5.3.2.1. Análisis de la calidad del agua lluvia captada sin ningún tratamiento (periodo 1)

Para el análisis de la calidad del agua lluvia captada sin ningún tratamiento, se realizó un análisis microbiológico y un análisis físico químico.

En el caso del análisis microbiológico se evaluaron los parámetros establecidos en la tabla 14, de acuerdo como se presenta a continuación:

Tabla 14. Parámetros a evaluar en el análisis microbiológico de la calidad del agua lluvia.

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO			
PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	MÉTODO UTILIZADO	VALOR OBTENIDO
Coliformes totales	0 microorganismos/100	Filtración por membrana con chromocult	
<i>Eschericha Coli</i>	0 microorganismos/100	Filtración por membrana con chromocult	

Fuente: propia basado en el decreto 1575 de 2007 y resolución 2115 de 2007

Para la toma de muestras, se procedió de la siguiente manera:

El área de estudio cuenta con 68 viviendas, dicha área se dividió estratégicamente en 5 zonas: esquinas y centro. En cada zona se seleccionaron aleatoriamente 2 viviendas; 1 con techo de zinc y 1 con techo de asbesto, preferiblemente aquellas que presentaban mayores niveles de captación de aguas lluvias. En total se seleccionaron 10 viviendas.

De esta forma, para el análisis microbiológico, en cada una de las viviendas seleccionadas, mensualmente se recolectaron 0,2L de agua de los recipientes de almacenamiento del agua lluvia haciendo uso de un frasco de vidrio transparente, guantes y tapabocas (anexo 2), seguidamente se llevaron al laboratorio de la empresa Hidropacífico E.S.P S.A⁶, en la cual se realizaron los respectivos procedimientos con base en los métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales (APHA WWA, 1992 citado por Severiche; Castillo & Acevedo, 2013).

⁶ La empresa Hidropacífico E.S.P. S.A. es la empresa prestadora del servicio de acueducto en el distrito de Buenaventura y cuenta con un laboratorio certificado por el IDEAM.

Los resultados se promediaron, obteniéndose un registro por mes para cada uno de los parámetros evaluados.

Por su parte, en el caso del análisis físico-químico se evaluaron los parámetros establecidos en la tabla 15, de acuerdo como se presenta a continuación:

Tabla 15. Parámetros a evaluar en el Análisis físico-químico de la calidad del agua lluvia.

ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO					
PARÁMETROS MEDIDOS		EXPRESADO COMO	MÉTODO UTILIZADO	OBTENIDO	Cumple
Sustancias flotantes	Unidad medida	Ausencia	Organoléptico (visual)		
Olor		Aceptable	Organoléptico (olfato)		
Sabor		Aceptable	Organoléptico (gusto)		
Turbiedad	U.N.T.	≤ 2.0 U.N.T	Turbidímetro (marca HACH Modelo 2100P)		
Color	PL Co	≤ 150 PL Co	Espectrofotómetro (marca HACH Modelo DR 2800)		
pH	UN pH	$\geq 6.5 \leq 9.0$ UNI	Model PHC10101		
Conductividad	ms/cm	≤ 1500 ms/cm	Conductimetría (electrodo)		
Acidez	mg/L Ca Co ₃	≤ 50 mg/L	Titulación potenciométrica		
Dureza total	mg/L Ca Co ₃	≤ 300 mg/L	Titulación con EDTA		
Sulfatos	mg/L So ₄	≤ 250 mg/L	Espectrofotómetro (marca HACH Modelo DR 2800)		
Cloruros	mg/L Cl	≤ 250 mg/L	Titulométrico con nitrato mercurico		
Nitritos	mg/L NHNO ₂	≤ 0.1 mg/L	Espectrofotómetro (marca HACH Modelo DR 2800)		
Nitratos	mg/L NHNO ₃	≤ 10 mg/L	Espectrofotómetro (marca HACH Modelo DR 2800)		
Hierro total	mg/L F6 3+	≤ 0.3 mg/L	Espectrofotómetro (marca HACH Modelo DR 2800)		
Aluminio residual	mg/L Al	≤ 0.2 mg/L	Espectrofotómetro (marca HACH Modelo DR 2800)		
Cloro residual libre	mg/L Cl ₂	$\geq 0.3 \leq 2.0$	Medidor de cloro HACH POCKET II		

Fuente: propia Fuente: propia basado en el decreto 1575 de 2007 y resolución 2115 de 2007

Para el análisis físico-químico, en cada una de dichas viviendas se recolectó 1L de agua de los recipientes de almacenamiento del agua lluvia haciendo uso de un envase plástico, guantes y tapabocas (anexo 2), seguidamente se llevaron al laboratorio de la empresa Hidropacífico E.S.P S.A, en la cual se realizaron los respectivos procedimientos con base en los métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales (APHA WWA, 1992 citado por Severiche; Castillo & Acevedo, 2013).

Los resultados se promediaron, obteniéndose un registro por mes para cada uno de los parámetros evaluados.

5.3.2.2. Análisis de la calidad del agua lluvia captada con tratamiento (periodo 2)

En este periodo, se evaluaron las alternativas de tratamiento del agua o mejora para consumo humano. Los puntos de muestra, y la cantidad de muestras tomadas fueron igual que en el periodo 1.

Los tratamientos evaluados (anexo 3) fueron las siguientes:

Tratamiento 1: Filtro de plástico con elementos de disco. Mensualmente, en cada punto determinado se trataron 3L de agua, de los cuales se tomaron las muestras fisicoquímica (1L) y microbiológica (0,2L) llevar al laboratorio y aplicar los mismos procedimientos desarrollados en el periodo 1. Los resultados de laboratorio de las diferentes muestras tratadas se promediaron para obtener un valor mensual.

Tratamiento 2: filtro de plástico con malla. Mensualmente, en cada punto determinado se trataron 3L de agua, de los cuales se tomaron las muestras fisicoquímica (1L) y microbiológica (0,2L) llevar al laboratorio y aplicar los mismos procedimientos desarrollados en el periodo 1. Los resultados de laboratorio de las diferentes muestras tratadas se promediaron para obtener un valor mensual.

Tratamiento 3: purificador de agua microbiológico instantáneo Life Straw Family. Mensualmente, en cada punto determinado se trataron 3L de agua, de los cuales se tomaron las muestras fisicoquímica (1L) y microbiológica (0,2L) llevar al laboratorio y aplicar los mismos procedimientos desarrollados en el periodo 1. Los resultados de laboratorio de las diferentes muestras tratadas se promediaron para obtener un valor mensual.

Tratamiento 4: hervido del agua. Mensualmente, en cada punto determinado se trataron 3L de agua, de los cuales se tomaron las muestras fisicoquímica (1L) y microbiológica (0,2L) llevar al laboratorio y aplicar los mismos procedimientos desarrollados en el periodo 1. Los resultados de laboratorio de las diferentes muestras tratadas se promediaron para obtener un valor mensual.

Paralelo a la evaluación de las alternativas tecnológicas se registraron los datos de una muestra testigo, que era el agua lluvia que no se le aplicó ningún tratamiento.

5.3.2.3. Análisis estadístico parámetros físico-químicos

En primera medida se realizó un análisis descriptivo, verificando que se cumplan los requerimientos mínimos exigidos por la normatividad sobre agua para consumo humano.

En segunda instancia se realizó un análisis de varianza (Anova), para comprobar si hay diferencias significativas en dichos parámetros, tanto para el tipo de techo como para los tratamientos tecnológicos del agua lluvia y los tratamientos combinados entre estos dos factores. Para lo anterior, se utilizó un diseño experimental factorial completamente al azar con tres réplicas y dos factores, en donde:

Factor 1: tipo de techo:

- 1: Zinc
- 2: asbesto

Factor 2: Alternativa tecnológica de tratamiento del agua lluvia

- 1 Alternativa: Filtro de plástico con elementos de disco
- 2 Alternativa: Filtro de plástico con malla
- 3 Alternativa: Purificador de agua microbiológico instantáneo Life Straw Family
- 4 Alternativa: hervido del agua
- 5. Testigo: no se le realizó ningún tratamiento

Las réplicas correspondieron a los meses evaluados (octubre, noviembre, diciembre).

Es decir, que en total se evaluaron 10 tratamientos combinados con tres réplicas cada uno, para un total de 30 observaciones.

Las pruebas realizadas fueron las siguientes:

1. Prueba para comparar tipo de techo

H_0 : No hay diferencias significativas entre los dos tipos de techo en los parámetros físico-químicos del agua lluvia captada

H_a : Hay diferencias significativas entre los dos tipos de techo, en los parámetros físico-químicos del agua lluvia captada

2. Prueba para comparar alternativas de tratamiento tecnológico del agua lluvia

H₀: No hay diferencias significativas entre las alternativas tecnológicas, en los parámetros físico-químicos del agua lluvia captada

H_a: Hay diferencias significativas entre las alternativas tecnológicas, en los parámetros físico-químicos del agua lluvia captada

3. Prueba para comparar tratamientos combinados (tipo de techo-alternativa tecnológica)

H₀: No hay diferencias significativas entre los tratamientos combinados, en los parámetros físico-químicos del agua lluvia captada

H_a: Hay diferencias significativas entre los tratamientos combinados, en los parámetros físico-químicos del agua lluvia captada.

4. Prueba para la interacción tipo de techo vs alternativa tecnológica

H₀: No hay interacción entre el tipo de techo y las alternativas tecnológicas de tratamiento del agua lluvia captada

H_a: Hay interacción entre el tipo de techo y las alternativas tecnológicas de tratamiento del agua lluvia captada.

5.3.2.4. Índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano

El cálculo del índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano (IRCA), se realizará utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{IRCA (\%)} = \frac{\sum \text{puntajes de riesgo asignado a las características no aceptables}}{\sum \text{puntajes de riesgo asignados a todas las características analizadas}} \times 100$$

El IRCA se calculó con 14 de los 22 parámetros establecidos en la norma⁷, los cuales son Turbiedad (15), Color (6), pH (1.5), Alcalinidad Total (1), Dureza Total (1), Sulfatos (1), Cloruros (1), Nitritos (3), Nitratos (1), Hierro Total (1.5), Aluminio Residual (3), Cloro Residual Libre (15), Coliformes Totales (15), Escherichia Coli (25). La sumatoria total de los puntajes de estos 14 parámetros asciende a 90 de un total de 100, por lo que representan el 90% del valor del indicador, estableciendo un porcentaje de confiabilidad alto.

⁷ De acuerdo con la resolución 2115 del año 2007.

Por su parte, los parámetros faltantes son Calcio (1), Fosfatos (1), Manganeso (1), Molibdeno (1), Magnesio (1), Zinc (1), Fluoruros (1) y COT (3). La sumatoria de estos 8 parámetros asciende a 10 de un total de 100, representando solo el 10% del puntaje total del indicador.

Teniendo en cuenta, el puntaje de los parámetros evaluados, la tabla a continuación se presenta la clasificación adaptada del nivel de riesgo en salud según el IRCA.

Tabla 16. Clasificación adaptada del nivel de riesgo en salud según el IRCA

Clasificación IRCA (%)	Nivel de Riesgo	Observación
72,09 - 81	INVIABLE SANITARIAMENTE	Agua no apta para consumo humano. Se debe aplicar un excelente sistema de tratamiento
31,59 - 72	ALTO	Agua no apta para consumo humano. Se debe aplicar un muy buen sistema de tratamiento
12,69 - 31,5	MEDIO	Agua no apta para consumo humano. Se debe aplicar un buen sistema de tratamiento
4,59 - 12,6	BAJO	Agua no apta para consumo humano. Se debe aplicar algún sistema de tratamiento
0 - 4,5	SIN RIESGO	Agua apta para consumo humano. Se debe seguir garantizando la calidad del agua.

Fuente: elaboración propia con base en resolución 2115 del año 2007.

Se destaca que el IRCA se calculó para los promedios obtenidos en las estadísticas básicas descriptivas para los periodos 1 y 2.

5.3.3. Fase 3. Clasificación de las debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas de uso doméstico del agua lluvia (Objetivo 3)

Para este objetivo se analizaron los diferentes aspectos identificados en el diagnóstico, mediante el uso de una matriz DOFA como instrumento de planificación, el cual consiste en analizar las debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades que se presentan en el Consejo Comunitario en torno al aprovechamiento del recurso hídrico para uso doméstico; a continuación se definen estas cuatro categorías:

Debilidades: hace referencias a las falencias internas que presentan en el Consejo Comunitario para el aprovechamiento del agua lluvia.

Amenazas: Eventos, hechos o tendencias externas que inhiben, limitan o dificultan el aprovechamiento del agua lluvia. Pueden ser de tipos ambientales, económicos, sociales, institucionales, políticos, tecnológicos y/o competitivos.

Fortalezas: Actividades y atributos que se presentan en el Consejo Comunitario que contribuyen a un buen aprovechamiento del agua lluvia.

Oportunidades: Eventos, hechos o tendencias externas al Consejo Comunitario que podrían facilitar o beneficiar el aprovechamiento del agua lluvia. Pueden ser ambientales, económicos, sociales, políticos, institucionales, tecnológicos y competitivos.

5.3.4. Fase 4. Comparar alternativas tecnológicas de aprovechamiento del agua lluvia orientada al uso doméstico, y determinar cuál es la más apropiada para la zona de estudio (Objetivo 4)

Los criterios utilizados para evaluar las alternativas tecnológicas de aprovechamiento del agua lluvia orientada al uso doméstico son los siguientes:

- **Aspectos ambientales:** Se determinaron los impactos ambientales positivos y negativos asociados a las alternativas estudiadas.
- **Aspecto sociocultural:** Se tuvieron en cuenta aspectos relacionados con la cultura de los habitantes del Consejo Comunitario de la Comunidad Negra de los Lagos. La importancia de este aspecto tiene que ver con la posibilidad de implementar prácticas que estén acordes con las condiciones del lugar.
- **Aspectos económicos:** Se analizaron las implicaciones económicas de las alternativas evaluadas en los habitantes del Consejo Comunitario de la Comunidad Negra de los Lagos.
- **Aspectos técnicos y operativos:** En este factor se tuvo en cuenta la viabilidad técnica de las alternativas evaluadas.
- **Aspectos Normativos:** Se determinó el cumplimiento de normas de cada una de las alternativas evaluadas.

Para las cuatro alternativas evaluadas, es decir; filtro de plástico con elementos de disco, filtro de plástico con malla, purificador de agua microbiológico instantáneo LifeStraw Family y o hervido del agua, se realizó una evaluación de cada criterio de forma independiente, los cuales tuvieron una ponderación de acuerdo con su orden de relevancia, lo que permitió determinar las alternativas más óptimas de acuerdo con el puntaje de clasificación.

6. RESULTADOS

6.1. Descripción general del área de estudio

El Consejo Comunitario de la Comunidad Negra de Los Lagos es una comunidad rural con un territorio relativamente plano, que tiene una figura de administración colectiva, en la cual todos son dueños del territorio salvo el espacio que cada familia históricamente ha trabajado⁸. A este lugar, se puede acceder por vía marítima o terrestre y está localizado en la zona continental del distrito de Buenaventura, cuenca baja del río Dagua, sobre la Vía Simón Bolívar hacia al aeropuerto, a la altura del kilómetro quince.

Esta comunidad carece de muchos servicios públicos, tal es el caso del acueducto, alcantarillado, gas natural, telefonía fija y aseo; contando solamente con energía eléctrica.

En la actualidad, el Consejo Comunitario de la Comunidad Negra Los Lagos cuenta con 68 familias que se representan en más de 412 habitantes, los cuales están distribuidos de la siguiente forma:

Tabla 17. Distribución de la población en el Consejo Comunitario de la Comunidad Negra Los Lagos

Rangos	Hombre	Mujeres	Total
Rango 0 – 7 años	41	63	104
Rango 8 – 17 años	86	27	113
18 años en adelante	102	93	195
Total			412

Fuente: propia con base en Acta de registro No 48 del 8 de noviembre de 2010 de la Alcaldía Distrital de Buenaventura

El tipo de poblamiento es permanente y se tienen fincas o espacios productivos de pan coger en las partes traseras de las viviendas.

6.2. Aprovechamiento de uso doméstico del agua lluvia

Respecto a la propiedad de las viviendas, es relevante destacar que el 100% de las viviendas son propias de las familias que las habitan; sin embargo, el rango de personas que en promedio habitan una vivienda es significativo, tal como se indica en la siguiente figura.

⁸ De acuerdo con la Ley 70 de 1993, actualmente el Consejo Comunitario de la Comunidad Negra Los Lagos está tramitando ante el INCODER, su título colectivo del territorio, ya que cumplen con lo establecido en el artículo 1° de la ley en mención.

Figura 31. Rango de personas que habitan las viviendas



Fuente: elaboración propia.

El 70% de las viviendas están habitadas entre 4 y 6 personas; por su parte, el 20% de los hogares están habitados por un número que oscila entre 7 y 9 personas; los casos de menor porcentaje de ocupación se presentan en los rangos entre 1 y 3 personas por vivienda y el mayor o igual a 10 personas por vivienda, representando cada uno de ellos tan sólo un 5%. Lo anterior indica que en el Consejo Comunitario se está presentando un alto índice de ocupación en las viviendas, lo que es normal en las zonas rurales del Distrito de Buenaventura; sin embargo, ello repercute significativamente en el aprovechamiento del recurso hídrico dado que a mayor número de personas se requiere mayor volumen de agua para satisfacer las necesidades domésticas.

Para satisfacer sus necesidades de agua para uso doméstico u otros usos, esta comunidad no cuenta con sistema de acueducto, siendo el agua lluvia su principal fuente de abastecimiento, encontrándose en un segundo renglón el agua superficial representada en los ríos y las quebradas que irrigan el lugar; respecto al agua subterránea no existe ningún tipo de aprovechamiento puesto que en el lugar no se ha identificado alguna fuente de este tipo.

Dado que el agua lluvia es la principal fuente abastecedora, en todas las viviendas se realiza aprovechamiento o cosecha de estas; destacando como elementos comunes del sistema de captación los siguientes: área captación; recolección y conducción y almacenamiento.

6.2.1. Captación del agua lluvia

El área de *captación* está conformada básicamente por el techo de las viviendas, el cual no se compone del mismo material, tal como se expresa en la figura 32.

Figura 32. Materiales que se utilizan en los techos de las viviendas



Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con los resultados obtenidos, en el Consejo Comunitario se utilizan dos tipos de materiales para los techos de las viviendas, siendo el zinc el que más se utiliza con un 60% seguido del asbesto con un 40%. De otra parte, no se presenta el uso de ningún otro material en la zona.

En figuras 33 y 34 se observan los materiales utilizados para los techos de las viviendas.

Figura 33. Techo en zinc utilizado en las viviendas



Fuente: elaboración propia.

En términos generales los techos de zinc presentan un buen estado, sin presencia de material vegetal, ni otros elementos permanentes u ocasionales sobre el mismo, indicando que es un material muy apto para ser utilizado en el lugar.

Figura 34. Techo en asbesto utilizado en las viviendas



Fuente: elaboración propia.

Es evidente que los techos de asbesto no presentan un buen estado, dado que se observa sobre sí mismo mucha presencia de material permanente como musgos, y otros elementos como restos de hojas, madera y demás, situación que implica un gran esfuerzo para limpiar este techo con la dificultad de que luego se volvería a ensuciar.

6.2.2. Recolección y conducción del agua lluvia

En lo que respecta a la *recolección y conducción* del agua lluvia, se reportaron los mismos materiales utilizados en los techos (zinc y asbesto) en la misma proporción de utilización. Las figuras 35 y 36 presentan estos materiales.

Figura 35. Canaletas en zinc para conducir el agua en las viviendas



Fuente: elaboración propia

Las canaletas en zinc presentan un buen estado de limpieza, sin presencia de material vegetal, ni otros elementos permanentes u ocasionales sobre el mismo.

Figura 36. Canaletas en asbesto para conducir el agua en las viviendas



Fuente: elaboración propia

Las canaletas en asbesto a diferencia de las canaletas de zinc no presentan un buen estado de limpieza, puesto que se observa en ellas presencia de mugre y lama.

6.2.3. Almacenamiento del agua lluvia

Por su parte, el almacenamiento del agua lluvia se lleva a cabo en recipientes variados, tales como baldes de pequeña capacidad, galonetas, tanques de 500 y 1000 litros hasta pilas, tal como se muestra en las fotos a continuación.

Figura 37. Diferentes recipientes plásticos para el almacenamiento del agua lluvia.



Fuente: propia.

La Figura 38 presenta diferentes envases plásticos utilizados para almacenar agua en las diferentes viviendas del Consejo Comunitario.

Figura 38. Diferentes recipientes plásticos y de cemento para el almacenamiento del agua lluvia.



Fuente: propia.

La Figura 39 presenta envases plásticos y de cemento utilizados para almacenar agua en las diferentes viviendas del Consejo Comunitario.

Figura 39. Pila y recipiente metálico para el almacenamiento del agua lluvia.



Fuente: propia.

La figura 39 presenta una pila y un envase metálico para el almacenamiento del agua lluvia, los cuales son utilizados en las diferentes viviendas del Consejo Comunitario.

A pesar de que en la comunidad se cuenta con diferentes recipientes para el almacenamiento del agua lluvia, estos no son suficientes para tener agua en las viviendas por mucho tiempo, de acuerdo como se expresa en la siguiente tabla:

Tabla 18. Capacidad de almacenamiento de agua en las viviendas

Tiempo de almacenamiento de agua en las viviendas	Valor en porcentajes	Cantidad de agua recolectada (Its)
Máximo 1 semana	70%	1000
Máximo 2 semanas	10%	2000
Máximo 3 semanas	5%	3000
Máximo 4 semanas	5%	4000
Más de 4 semanas	10%	> 4000
TOTAL	100%	

Fuente: propia.

En la tabla anterior es explícito que la mayoría de las viviendas no presentan capacidad de almacenar agua por más de una semana (70%), y tan sólo el 10% tienen capacidad de almacenar agua hasta dos semanas; de igual forma, hasta las semanas tres y cuatro sólo se presenta una capacidad de almacenamiento del 5% respectivamente; finalmente sólo el 10% de las viviendas tienen capacidad de almacenar agua por más de cuatro semanas y son exactamente el porcentaje de

viviendas que tienen pilas, dado que merced a ello aumentan significativamente la capacidad de almacenar agua lluvia.

De acuerdo con lo anterior y teniendo en cuenta el número de personas promedio que habitan en las viviendas se presenta un consumo promedio de 30 litros diarios por persona; sin embargo, en algunas ocasiones se excede este consumo por lo que el agua escasea entre los tres y cinco días.

Se destaca el hecho de que en todas las viviendas, el agua lluvia captada se utiliza para todos los usos domésticos (consumo directo, preparar alimentos, lavar ropa, asear la casa, otros usos), destacando que el 90% de las personas beben directamente el agua lluvia sin hervirla, además sólo el 15% aplica algún tratamiento diferente de hervir el agua lluvia, lo que deja ver que el tratamiento que se le hace es muy bajo.

La bebida directa y sin ningún tratamiento del agua lluvia ha ocasionado problemas de diarrea en el 40% de la población, destacando que el 95% de ellos son niños y el 5% adultos, evidenciándose la necesidad del mejorar el aprovechamiento del agua lluvia.

Finalmente, es de destacar que en el 100% de las viviendas consideran que es necesario mejorar el sistema de captación del agua lluvia, y están de acuerdo en mejorar el sistema de captación del agua lluvia puesto que quieren evitar los riesgos asociados al consumo de agua sin ningún tratamiento y mejorar su calidad de vida.

6.3. Potencial de aprovechamiento de agua lluvia

Teniendo en cuenta la precipitación⁹ en la zona cercana al Consejo Comunitario de la Comunidad Negra de Citronela y el área promedio de captación de las viviendas a continuación se presenta el potencial de aprovechamiento del agua lluvia (tabla 19).

⁹ Los datos de precipitación corresponden a los resultados obtenidos entre los años 2009 y 2013 en la estación meteorológica que tiene el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales en el aeropuerto de Buenaventura, el cual está ubicado a una distancia aproximada de 1 Km. de la zona de estudio. Se anexan las precipitaciones diarias de los cinco años (anexo 4).

Tabla 19. Cálculo de la capacidad mensual de captación de agua lluvia por vivienda

Mes	Precipitación bruta (mm)	Precipitación neta (mm)	Precipitación neta (m)	Área promedio (m ²)	Volumen total agua (m ³)
Enero	253,6	194	0,19	48	9
Febrero	302,9	232	0,23	48	11
Marzo	401,6	307	0,31	48	15
Abril	395,8	303	0,30	48	15
Mayo	647,0	495	0,49	48	24
Junio	589,4	451	0,45	48	22
Julio	545,3	417	0,42	48	20
Agosto	768,0	588	0,59	48	28
Septiembre	829,2	634	0,63	48	30
Octubre	960,1	734	0,73	48	35
Noviembre	765,1	585	0,59	48	28
Diciembre	815,0	623	0,62	48	30
TOTAL	7273	5564	5,56	48	267

Fuente: propia con base en datos de precipitación de estación meteorológica del IDEAM (año 2013) y visitas a las viviendas de la zona de estudio.

De acuerdo con la tabla anterior, se puede determinar que en las viviendas del Consejo Comunitario de la Comunidad Negra Los Lagos se cuenta con un alto potencial de aprovechamiento de agua lluvia; sin embargo, en las viviendas se cuenta con poca capacidad para almacenar este recurso, convirtiéndose en la causa de desabastecimiento de agua en la mayoría de los hogares de esta comunidad cuando cesa de llover más de una semana.

Por su parte, a continuación se presenta la disponibilidad de agua lluvia por persona, teniendo como base el volumen total de agua que se puede captar (tabla 20)

Tabla 20. Cálculo de disponibilidad de agua por persona

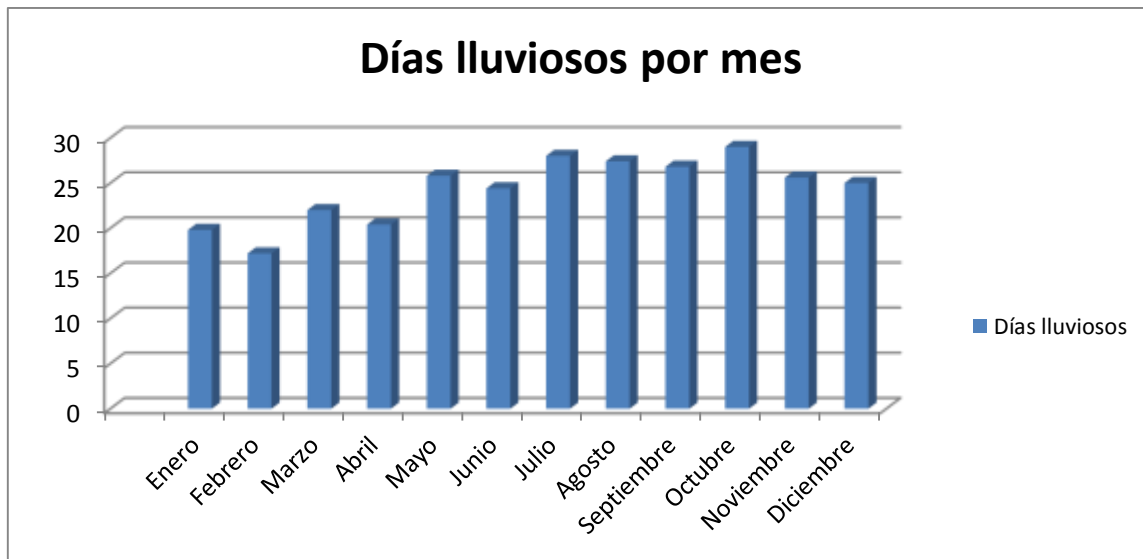
Mes	Volumen total agua (m³/mes)	Volumen total agua (lts/mes)	Volumen total agua (lts/días)	disponibilidad de agua por persona (lts/días)
Enero	9	9312	310	62
Febrero	11	11123	371	74
Marzo	15	14746	492	98
Abril	15	14533	484	97
Mayo	24	23757	792	158
Junio	22	21644	721	144
Julio	20	20023	667	133
Agosto	28	28201	940	188
Septiembre	30	30449	1015	203
Octubre	35	35256	1175	235
Noviembre	28	28095	937	187
Diciembre	30	29925	998	200
PROMEDIO	22	22255	742	148

Fuente: propia

Los resultados evidencian que en cada vivienda habitada, en promedio por cinco personas se puede disponer para cada miembro con un mínimo de 62 (l/día) hasta un máximo de 235 (l/día), dependiendo del mes del año; superando así los estándares internacionales de dotación de agua por persona.

Respecto a la cantidad de días lluviosos por mes, los resultados se presentan en la siguiente figura.

Figura 40. Días lluviosos por meses del año 2013¹⁰.



Fuente: propia con base en datos de precipitación de estación meteorológica del IDEAM.

En términos generales, la gráfica anterior presenta una alta frecuencia de lluvia en los diferentes meses del año para la zona de estudio.

Por su parte, los meses que presentan menor frecuencia de lluvias son febrero, enero, abril y marzo respectivamente, coincidiendo con ser los cuatro meses de menor precipitación; aunque la cantidad de días lluviosos es alta al no ser menor de los diecinueve días.

Se destaca el hecho que octubre coincide con ser el mes de más alta y mayor frecuencia de precipitación, seguido en lo que respecta a la continuidad de las lluvias por julio, agosto y septiembre. Para el caso de julio, es relevante que a pesar de estar por debajo de la mitad en la tabla de precipitación es el segundo mes con mayor frecuencia de las mismas, hecho que implica que estas lluvias son poco prolongadas con relación a los meses más lluviosos. Los meses de mayo, noviembre, diciembre y junio se encuentran respectivamente en la mitad de la tabla de frecuencia de precipitaciones.

De otra parte, la baja capacidad de almacenamiento de agua lluvia en la mayoría de las viviendas, puede explicarse en el hecho de que la frecuencia de lluvia es muy alta todos los meses (aún como ya se explicó hay algunos meses de menor lluvia); no obstante, esa confianza en la esperanza de que llueva seguidamente genera serias dificultades para el abastecimiento de agua cuando no hay precipitación significativa para el abastecimiento de agua en los hogares por más una semana.

¹⁰ Los días en que la precipitación fue menor a 1 mm, se registraron como si no lloviera.

6.4. Calidad del agua lluvia captada

6.4.1. Parámetros microbiológicos

6.4.1.1. Parámetros microbiológicos sin aplicación de alternativas tecnológicas

El comportamiento de los parámetros microbiológicos sin la implementación de algún tipo de tratamiento¹¹, se ilustra en la siguiente tabla:

Tabla 21. Comportamiento de parámetros microbiológicos sin la aplicación de las alternativas tecnológicas

Tipo techo	Parámetros	Julio		Agosto		septiembre	
		Obtenido	Cumple	Obtenido	Cumple	Obtenido	Cumple
Zinc	Coliformes totales	Presente	NO	Presente	NO	Presente	NO
	Escherichia Coli	Ausente	SI	Ausente	SI	Ausente	SI
Asbesto	Coliformes totales	Presente	NO	Presente	NO	Presente	NO
	Escherichia Coli	Presente	NO	Presente	NO	Presente	NO

Fuente: propia.

 No cumple requerimientos exigidos

En la tabla 21 se observa que en el techo de zinc en los tres meses, no se evidencia presencia del parámetro *Escheriachia Coli*, los demás parámetros evaluados están presentes en todos los meses, en ambos tipos de techo. Se resalta que el techo de zinc tiene un mejor comportamiento que el techo de asbesto, en cuanto a ausencia de microorganismos evaluados. Estos resultados indican claramente que la calidad del agua lluvia captada en la zona de estudio, en cuanto a parámetros microbiológicos se refiere, se cumple solo en forma parcial por las viviendas que captan agua lluvia con techos de zinc.

La presencia de coliformes totales en el agua lluvia estudiada, indica que existe contaminación por diferentes bacterias representando ello riesgo para la salud humana. Esta contaminación es muy generalizada debido a que puede ser humana, animal, de los suelos y otras fuentes; por lo que en nuestro caso de estudio puede obedecer a fuentes de origen animal (incluyendo, ratas, cucarachas y otros insectos) y ambientales dado que en la mayoría de las viviendas el agua

¹¹ De acuerdo con el diseño metodológico establecido, los resultados de los parámetros microbiológicos se presentan de forma dividida entre los meses de junio a septiembre dado que para este periodo no se aplicaron las alternativas tecnológicas; luego se presentan los resultados de del periodo de octubre a diciembre, tiempo en el cual se aplicaron las alternativas tecnológicas.

no se realiza limpieza de los elementos del sistema de captación del agua lluvia adecuado; además, los recipientes donde se almacena esta no tiene una adecuada protección con el medio exterior.

Por su parte, *la presencia de Escheriachia Coli* está relacionada directamente por la contaminación fecal de origen animal o humano, indicando ello que los techos de asbesto son más susceptible a este tipo de contaminación (reportó presencia) que los techos de zinc (no reportó presencia).

6.4.1.2. Parámetros microbiológicos con aplicación de alternativas tecnológicas

Por su parte, los resultados para el periodo de estudio (octubre – diciembre) en el cual se implementaron las alternativas tecnológicas se presentan en la tabla a continuación:

Tabla 22. Comportamiento de parámetros microbiológicos con la aplicación de las alternativas tecnológicas.

Tipo de techo	Parámetros	Testigo	OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE					
			Alt.1	Alt.2	Alt.3	Alt.4	Test.	Alt. 1	Alt.2	Alt.3	Alt.4	Test.	Alt. 1	Alt.2	Alt.3	Alt.4
			Obt.	Obt.	Obt.	Obt.	Obt.	Obt.	Obt.	Obt.	Obt.	Obt.	Obt.	Obt.	Obt.	Obt.
Zinc	Coliformes totales	Pres.	Pres.	Pres.	Aus.	Aus.	Pres.	Pres.	Pres.	Aus.	Aus.	Pres.	Pres.	Pres.	Aus.	Aus.
	Escherichia Coli	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.	Aus.
Asbesto	Coliformes totales	Pres.	Pres.	Pres.	Aus.	Aus.	Pres.	Pres.	Pres.	Aus.	Aus.	Pres.	Pres.	Pres.	Aus.	Aus.
	Escherichia Coli	Pres.	Pres.	Pres.	Aus.	Aus.	Pres.	Pres.	Pres.	Aus.	Aus.	Pres.	Pres.	Pres.	Aus.	Aus.

Fuente: propia.

Aus.	Ausente en el agua y cumple con normativa
Pres.	Presente en el agua y no cumple con normativa

Los resultados evidencian que las alternativas tecnológicas 1 y 2 (filtro de plástico con elementos de disco y filtro de plástico con malla respectivamente) no mejoran la calidad del agua respecto a los parámetros microbiológicos evaluados; y que por el contrario las alternativas 3 y 4 (purificador de agua microbiológico instantáneo Life Straw Family y hervido del agua respectivamente) sí mejoran la calidad del agua respecto a los parámetros de coliformes totales y *Escherichia Coli*; convirtiéndose así en las más apropiadas para implementar; sin embargo, se deben evaluar estas últimas para conocer su comportamiento con los parámetros fisicoquímicos que se evalúan más adelante.

6.4.2. Parámetros fisicoquímicos


6.4.2.1. Parámetros fisicoquímicos sin aplicación de alternativas tecnológicas¹²

Todos los parámetros fisicoquímicos evaluados en los dos tipos de techos (zinc y asbesto) para el periodo julio – septiembre cumplen normativamente con los requerimientos exigidos por el decreto 1575 de 2007 y la resolución 2115 de 2007 excepción de cloro residual (ver anexo 5 resultados sin estadística), por lo que a continuación se presentan los promedios con base la estadística descriptiva.

Tabla 23. Estadísticas descriptivas parámetros físico-químicos (periodo: julio-septiembre)

Tipo de techo	Turbiedad	Color	pH	Alcalinidad total	Conductividad	Acidez	Dureza Total	Sulfatos	Cloruros	Nitritos	Nitratos	Hierro Total	Aluminio Residual	Cloro residual
Z i n c	Media	1,7667	5,333	6,5333	23,00	1,167	15,67	1,0000	3,667	,030333	,5000	,0267	,05933	,00
	N	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Desv. típ.	,45092	2,3094	,05774	4,583	21,197	,3512	6,506	1,73205	1,1547	,0119304	,26458	,01155	,024583
A s b e s t o	Media	1,0500	3,333	7,0000	42,00	2,067	18,33	1,3333	3,367	,007000	,3333	,1300	,17623	,00
	N	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Desv. típ.	,16093	1,5275	,10000	20,664	7,638	,5508	6,807	2,30940	,4933	,0026458	,15275	,10583	,066214
T o t a l	Media	1,4083	4,333	6,7667	32,50	1,617	17,00	1,1667	3,517	,018667	,4167	,0783	,11773	,00
	N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	Desv. típ.	,49576	2,0656	,26583	16,956	16,449	,6432	6,132	1,83485	,8110	,0149354	,21370	,08796	,090167

Fuente: propia.

 No cumple requerimientos

¹² De acuerdo con el diseño metodológico establecido, los resultados de los parámetros fisicoquímicos se presentan de forma dividida entre los meses de junio a septiembre dado que para este periodo no se aplicaron las alternativas tecnológicas; luego se presentan los resultados de del periodo de octubre a diciembre, periodo de tiempo para los cuales se aplicaron las alternativas tecnológicas.

Por su parte, de acuerdo al análisis de varianza (tabla 23), se concluye que a un nivel de significancia del 5%, no hay diferencias significativas entre los parámetros físico-químicos evaluados en los dos tipos de techo: zinc y asbesto. Solamente hay diferencias significativas en los parámetros: pH, Nitritos y aluminio residual; de estos, el pH y Nitritos es más favorable en techos de asbesto, y el aluminio residual es más ventajoso en techo de zinc.

Tabla 24a. Análisis de varianza (Anova) para probar la hipótesis de que no hay Diferencias significativas entre los tipos de techo para cada uno de los Factores físico-químicos evaluados en el agua lluvia captada.

Parámetro	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Sig.
Turbiedad	Inter-grupos	,770	,061
	Intra-grupos	,458	
	Total	1,229	
Color	Inter-grupos	6,000	,279
	Intra-grupos	15,333	
	Total	21,333	
pH	Inter-grupos	3,227	,000
	Intra-grupos	,053	
	Total	3,280	

Fuente propia.

Continuación tabla 24b. Análisis de varianza factores físico-químicos

Parametro	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Sig.
Alcalinidad total	Inter-grupos	541,500	,195
	Intra-grupos	896,000	
	Total	1437,500	
Conductividad	Inter-grupos	337,500	,313
	Intra-grupos	1015,333	
	Total	1352,833	
Acidez	Inter-grupos	1,215	,075
	Intra-grupos	,853	
	Total	2,068	
Dureza Total	Inter-grupos	10,667	,649
	Intra-grupos	177,333	
	Total	188,000	

Fuente propia.

Continuación tabla 24c. Análisis de varianza factores físico-químicos

Parámetro	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Sig.
Sulfatos	Inter-grupos	,167	,851
	Intra-grupos	16,667	
	Total	16,833	
Cloruros	Inter-grupos	,135	,700
	Intra-grupos	3,153	
	Total	3,288	
Nitritos	Inter-grupos	,001	,030
	Intra-grupos	,000	
	Total	,001	
Nitratos	Inter-grupos	,042	,398
	Intra-grupos	,187	
	Total	,228	

Fuente propia.

Continuación tabla 24d. Análisis de varianza factores físico-químicos

Parámetro	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Sig.
Hierro Total	Inter-grupos	,016	,168
	Intra-grupos	,023	
	Total	,039	
Aluminio Residual	Inter-grupos	,031	,025
	Intra-grupos	,010	
	Total	,041	
Cloro residual	Inter-grupos	,000	.
	Intra-grupos	,000	
	Total	,000	

Fuente: propia.

Es importante notar que de acuerdo al estadístico de Levene, el supuesto de homogeneidad de varianzas en los dos tipos de techo, para todos los parámetros físico-químicos se cumplen, la excepción son los parámetros: Nitrito y hierro total (ver tabla 24).

Tabla 25. Prueba de homogeneidad de varianzas				
Parámetro	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Turbiedad	1,755	1	4	,256
Color	1,241	1	4	,328
pH	2,571	1	4	,184
Alcalinidad total	3,546	1	4	,133
Conductividad	2,305	1	4	,204
Acidez	1,362	1	4	,308
Dureza Total	,067	1	4	,808
Sulfatos	,640	1	4	,469
Cloruros	4,418	1	4	,103
Nitritos	8,063	1	4	,047
Nitratos	1,600	1	4	,275
Hierro total	9,394	1	4	,037
Aluminio Residual	4,551	1	4	,100
Cloro residual	.	1	.	.

Fuente: propia.

Los anteriores resultados indican que la calidad del agua lluvia captada por las viviendas de la comunidad los lagos, no cumple con los requerimientos mínimos de ausencia de microorganismos biológicos, pero si cumple la normatividad para todos los parámetros físico-químicos evaluados, sin importar el tipo de techo, su comportamiento es muy similar (no hay diferencias significativas). De esta forma, el agua captada en las viviendas con techo de zinc, tiende a presentar una mejor calidad dado que cumple con unos de los dos parámetros microbiológicos evaluados, es decir presenta ausencia de la bacteria *Escherichia Coli*.

6.4.2.2. Parámetros fisicoquímicos con aplicación de alternativas tecnológicas

Analizando las estadísticas descriptivas de los parámetros fisicoquímicos (tabla 26), durante el periodo octubre-diciembre, se observa que sin importar el tipo de sistema de conducción del agua lluvia captada (techo de zinc o asbesto), ni el tipo de tratamiento del agua para consumo humano (alternativas tecnológicas evaluadas); los requerimientos normativos exigidos por el decreto 1575 de 2007, se cumplen para todos los parámetros físico-químicos. El único parámetro que no cumple la norma, es el cloro residual.

El promedio y la dispersión son muy similares en todos los tratamientos evaluados. Es importante resaltar que hay ausencia de sustancias flotantes y el color y sabor son aceptables. Lo anterior indica que respecto a estos parámetros, el agua captada en la comunidad los lagos es apta para consumo humano.

Tabla 26. Promedios parámetros físico-químicos agua captada según tipo de techo y tratamiento Utilizado

Tipo techo	Técnica Tto agua	Estadísticas Descriptivas	Turbiedad	Color	pH	Alcalinidad total	Cond.	Acidez	Dureza Total	Sulfatos	Cloruros	Nitritos	Nitratos	Hierro Total	Aluminio Residual	Cloro residual	
Zinc	Alt 1	Media	1,2000	4,333	6,6267	18,67	41,33	1,667	17,00	,9300	2,433	,013000	,4000	,0267	,08267	,00	
		N	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
		Desv. típ.	,51962	2,3094	,74070	3,786	26,350	,5774	9,644	1,00732	,8145	,0088882	,10000	,00577	,076055	,000	
	Alt 2	Media	1,1500	4,767	6,6767	19,33	41,67	1,667	17,00	,9333	2,800	,023000	,4733	,0300	,08700	,00	
		N	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
		Desv. típ.	,60828	2,8219	,78907	5,132	26,274	,5774	9,644	1,00664	,2646	,0108167	,21595	,01000	,081099	,000	
	Alt 3	Media	,3333	1,767	7,0267	14,67	41,67	1,600	17,00	,0000	2,533	,015667	,3667	,0133	,09600	,00	
N		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
Desv. típ.		,13317	1,0970	,55148	4,163	27,465	,5292	10,392	,00000	,7506	,0254231	,11547	,00577	,090736	,000		
Alt 4	Media	,7800	3,167	7,1000	17,33	40,33	1,567	16,67	,4333	2,600	,013667	,2967	,0600	,17000	,00		
	N	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
	Desv. típ.	,40841	1,6503	,55678	4,163	26,350	,6807	11,015	,51316	,4359	,0187172	,09609	,07810	,121244	,000		
Testigo	Media	1,2333	3,833	6,6767	24,33	42,00	1,667	18,00	,9333	2,667	,013333	,3667	,0233	,07933	,00		
	N	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
	Desv. típ.	,75049	1,8930	,78143	6,028	26,907	,5774	10,440	1,00664	,5774	,0083267	,11547	,00577	,070316	,000		
Total	Media	,9393	3,573	6,8213	18,87	41,40	1,633	17,13	,6460	2,607	,015733	,3807	,0307	,10300	,00		
	N	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	
	Desv. típ.	,57007	2,0373	,62053	5,167	22,551	,5010	8,667	,78986	,5257	,0139769	,12936	,03411	,083572	,000		
Asbesto	Alt 1	Media	,9433	3,267	7,2200	22,33	59,00	2,367	23,33	1,3333	2,967	,003000	,5067	,0867	,14833	,00	
		N	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
		Desv. típ.	,16010	1,2702	,38510	5,508	13,000	1,5177	11,504	1,52753	,5033	,0026458	,33486	,09866	,073921	,000	

	Alt 2	Media	,8933	4,233	7,2567	27,33	59,67	2,400	23,33	1,6667	3,300	,003700	,4400	,0833	,15400	,00	
		N	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
		Desv. típ.	,16653	2,2502	,38527	11,060	15,044	1,5100	11,504	2,08167	,3464	,0015395	,29462	,10116	,076622	,000	
	Alt 3	Media	,3033	,933	7,3767	19,00	56,67	2,333	23,67	,0000	2,967	,001633	,4267	,0333	,14433	,00	
		N	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
Total	Alt 4	Media	,6700	2,000	7,4233	24,00	57,00	2,367	21,67	,8333	2,833	,002600	,3333	,0367	,12333	,00	
		N	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
		Desv. típ.	,22605	,0000	,41187	9,644	14,177	1,6503	12,014	1,04083	,3512	,0022539	,20817	,03786	,045092	,000	
	Testigo	Media	,9100	2,667	7,3433	26,00	59,00	2,333	23,33	1,0000	3,167	,003000	,4333	,0767	,15167	,00	
		N	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
Total	Total	Media	,7440	2,620	7,3240	23,73	58,27	2,360	23,07	,9667	3,047	,002787	,4280	,0633	,14433	,00	
		N	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	
		Desv. típ.	,29247	1,5307	,34682	8,672	12,606	1,3081	10,402	1,26020	,4068	,0020350	,25599	,07188	,056648	,000	
	Alt 1	Media	1,0717	3,800	6,9233	20,50	50,17	2,017	20,17	1,1317	2,700	,008000	,4533	,0567	,11550	,00	
		N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
Total	Alt 2	Media	1,0217	4,500	6,9667	23,33	50,67	2,033	20,17	1,3000	3,050	,013350	,4567	,0567	,12050	,00	
		N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
		Desv. típ.	,42291	2,3013	,63980	8,869	21,538	1,0985	10,108	1,51658	,3886	,0126291	,23175	,07062	,079536	,000	
	Alt 3	Media	,3183	1,350	7,2017	16,83	49,17	1,967	20,33	,0000	2,750	,008650	,3967	,0233	,12017	,00	
		N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
Total	Alt 4	Media	,7250	2,583	7,2617	20,67	48,67	1,967	19,17	,6333	2,717	,008133	,3150	,0483	,14667	,00	
		N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
		Desv. típ.	,30131	1,2238	,47246	7,581	21,011	1,2111	10,666	,76594	,3764	,0133756	,14639	,05636	,085713	,000	
	Testigo	Media	1,0717	3,250	7,0100	25,17	50,50	2,000	20,67	,9667	2,917	,008167	,4000	,0500	,11550	,00	
		N	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
Total	Total	Media	,8417	3,097	7,0727	21,30	49,83	1,997	20,10	,8063	2,827	,009260	,4043	,0470	,12367	,00	
		N	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
		Desv. típ.	,45612	1,8358	,55615	7,438	19,895	1,0410	9,880	1,04616	,5132	,0118176	,20073	,05772	,073231	,000	

Fuente propia.

No cumple Normas

6.4.2.2.1. Análisis de varianza parámetros físico-químicos

Los resultados obtenidos en el programa estadístico SPSS versión 18.5, se muestran en las tabla 27.

En la mayoría de los estadísticos utilizados, el valor p obtenido es inferior a 0.05. Esto indica que en términos generales, a un nivel de significancia del 5% hay diferencias significativas entre los tipos de techo, y entre las alternativas tecnológicas de tratamiento del agua lluvia, con respecto a los parámetros físico-químicos del agua lluvia captada. Sin embargo no hay interacción entre dichos factores; el valor p obtenido es superior a 0.05, a excepción del Estadístico de Raíz mayor de Roy.

Tabla 27. Resultados análisis de varianza (contrastes multivariados)

Efecto	Estadístico	Valor	F	Gl de la hipótesis	Gl del error	Sig.
Techo	Traza de Pillai	,942	9,916	13,000	8,000	,001
	Lambda de Wilks	,058	9,916	13,000	8,000	,001
	Traza de Hotelling	16,113	9,916	13,000	8,000	,001
	Raíz mayor de Roy	16,113	9,916	13,000	8,000	,001
TTo	Traza de Pillai	2,448	1,335	52,000	44,000	,164
	Lambda de Wilks	,006	1,759	52,000	33,095	,043
	Traza de Hotelling	17,962	2,245	52,000	26,000	,014
	Raíz mayor de Roy	13,054	11,045	13,000	11,000	,000
Techo * TTo	Traza de Pillai	1,533	,526	52,000	44,000	,987
	Lambda de Wilks	,063	,664	52,000	33,095	,909
	Traza de Hotelling	7,207	,901	52,000	26,000	,635
	Raíz mayor de Roy	6,286	5,319	13,000	11,000	,004

Fuente: propia.

Con los anteriores resultados y las pruebas de los efectos inter-sujetos y post anova turbiedad y color, las cuales se anexan, se concluye que con respecto a los parámetros físico-químicos evaluados, el comportamiento es muy similar tanto en techo de zinc como en asbesto, solo se presentan diferencias en pH, cloruros y

nitritos, siendo un poco más ventajoso el techo de zinc. En cuanto a las alternativas tecnológicas evaluadas en el tratamiento del agua lluvia para consumo humano, solo hay diferencias significativas en la turbiedad y en el color, siendo el purificador de agua microbiológico instantáneo Life Straw Family, la alternativa más viable desde el punto de vista técnico.

6.4.3. Índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano

6.4.3.1. Índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano sin aplicación de alternativas tecnológicas

Teniendo en cuenta los resultados de microbiológicos (tabla 21) y fisicoquímicos (tabla 23) presentados arriba para los 14 parámetros evaluados (Turbiedad, Color, pH, Alcalinidad Total, Dureza Total, Sulfatos, Cloruros, Nitritos, Nitratos, Hierro Total, Aluminio Residual, Cloro Residual Libre, Coliformes Totales, Escherichia Coli), a continuación se presenta el IRCA para los techos de zinc y asbesto.

Tabla 28. IRCA para techos de zinc y asbesto sin aplicación de alternativas tecnológicas

Tipo de techo	Cloro residual libre	Coliformes totales	E. Coli	IRCA (%)	Nivel de Riesgo
Zinc	15	15	0	33,33	ALTO
Asbesto	15	15	25	61,11	ALTO

Fuente: propia.

Los resultados evidencian que el incumplimiento de la norma en los parámetros cloro residual libre y coliformes totales para el techo de zinc generan un ALTO riesgo para el consumo humano, lo que obliga a aplicar un muy buen sistema de tratamiento para eliminar el riesgo al que está expuesta la población por el consumo del agua lluvia.

Por su parte, el incumplimiento de la norma en los parámetros cloro residual libre, coliformes totales y *E Coli* para el techo de asbesto generan un ALTO riesgo para el consumo humano; y a pesar de que la escala de clasificación está en el mismo nivel de riesgo que el agua lluvia aprovechada en los techos de zinc, este es más grave porque el valor del IRCA es casi el doble para el techo de asbesto. Lo anterior, obliga a aplicar un muy buen sistema de tratamiento para eliminar el riesgo al que está expuesta la población por el consumo del agua lluvia.

6.4.3.2. Índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano con aplicación de alternativas tecnológicas

Teniendo en cuenta los resultados de microbiológicos (tabla 22) y fisicoquímicos (tabla 26) presentados arriba para los 14 parámetros evaluados, a continuación se presenta el IRCA para los techos de zinc y asbesto.

Tabla 29. IRCA para los techos de zinc y asbesto

Tipo de techo	Técnica de tratamiento de agua	Cloro residual libre	Coliformes totales	E. Coli	IRCA (%)	Nivel de Riesgo
Zinc	Alternativa 1	15	15	0	33,33	ALTO
	Alternativa 2	15	15	0	33,33	ALTO
	Alternativa 3	15	0	0	16,67	MEDIO
	Alternativa 4	15	0	0	16,67	MEDIO
	Testigo	15	15	0	33,33	ALTO
Asbesto	Alternativa 1	15	15	25	61,11	ALTO
	Alternativa 2	15	15	25	61,11	ALTO
	Alternativa 3	15	0	0	16,67	ALTO
	Alternativa 4	15	0	0	16,67	MEDIO
	Testigo	15	15	25	61,11	ALTO

Fuente: propia.

Además del agua sin tratar, para el techo de zinc las alternativas 1 y 2 presentan un nivel de riesgo ALTO debido al incumplimiento de la norma en los parámetros cloro residual libre y coliformes totales, lo que evidencia bajo nivel de tratamiento de estas alternativas, dado que no minimizan el nivel de riesgo; conllevando con ello a la necesidad de implementar otras tecnologías de tratamiento que mejoren la calidad del agua lluvia captada para el consumo humano.

Continuando con el techo de zinc, las alternativas 3 y 4 reducen el nivel de riesgo de ALTO a MEDIO dado que garantizan el cumplimiento de la norma en lo que respecta a coliformes totales, sin embargo no sucede lo mismo con el parámetro cloro residual libre, lo que hace que posterior a estos tratamientos se debe aplicar una dosis exacta de cloro de acuerdo al volumen del agua para poder pasar del nivel de riesgo MEDIO a SIN RIESGO garantizando así la adecuada calidad del agua lluvia captada para el consumo humano.

Por su parte, para el techo de asbesto, el agua sin tratar y las alternativas 1 y 2 presentan un nivel de riesgo ALTO debido al incumplimiento de la norma en los parámetros cloro residual libre, coliformes totales y *E. Coli*, lo que evidencia bajo nivel de tratamiento de estas alternativas, dado que no minimizan el nivel de riesgo; máxime, si tenemos en cuenta con el IRCA es mayor en este techo que en

los de zinc. Lo anterior obliga a implementar otras tecnologías de tratamiento que mejoren la calidad del agua lluvia captada para el consumo humano.

Las alternativas 3 y 4 reducen el nivel de riesgo de ALTO a MEDIO dado que garantizan el cumplimiento de la norma en lo que respecta a coliformes totales y *E. Coli*, sin embargo, no sucede lo mismo con el parámetro cloro residual libre, lo que hace que posterior a estos tratamientos se debe aplicar una dosis exacta de cloro de acuerdo al volumen del agua para poder pasar del nivel de riesgo MEDIO a SIN RIESGO garantizando así la adecuada calidad del agua lluvia captada para el consumo humano.

6.5. Análisis DOFA

En el cuadro número 14 se presentan los resultados obtenidos de las debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas respecto al aprovechamiento del agua lluvia en el Consejo Comunitario de la Comunidad Negra de Los Lagos.

Tabla 30. Hoja de trabajo DOFA.

OPORTUNIDADES	AMENAZAS
Altos niveles de precipitación durante todo el año en el lugar	Contaminación atmosférica por actividades económicas en sectores aledaños al consejo comunitario
Buena frecuencia de lluvias en los diferentes días y meses del año	Disminución de la cantidad del agua que precipita en el lugar
Aumento de tecnologías para el tratamiento de las aguas lluvias	Alteración regional del clima
Disminución de precios de las tecnologías para el tratamiento de las aguas lluvias	Urbanización o industrialización de los sectores aledaños al consejo comunitario
Legislación ambiental nacional, regional y local en favor del aprovechamiento del agua lluvia	Legislación ambiental nacional, regional y local en contra del aprovechamiento del agua lluvia
Acuerdos, convenios y/o protocolos ambientales internacionales	Empresas nacionales y/o internacionales con ánimo de lucro con el aprovechamiento del agua lluvia
apoyo de gobiernos y ONG´s nacionales e internacionales a proyectos de uso eficiente del recurso hídrico	
Programas de educación ambiental a la comunidad	
Políticas del gobierno local para fortalecer el aprovechamiento del agua lluvia	
FORTALEZAS	DEBILIDADES
Cultura del aprovechamiento del agua lluvia	Bajo nivel de tratamiento del agua lluvia
Uso eficiente del agua	Insuficiente cantidad y capacidad de recipientes para almacenar agua lluvia
Utilización de techos de zinc para la captación del agua lluvia	Utilización de techos de asbesto para la captación del agua lluvia
Consumo promedio moderado de agua lluvia	Falta de mantenimiento a los elementos del sistema de aprovechamiento del agua lluvia
Buena calidad de los parámetros fisicoquímicos del agua lluvia en techos de zinc	Bajo nivel educativo de la mayoría de los habitantes del lugar
Buena calidad de los parámetros fisicoquímicos del agua lluvia en techos de asbesto	Baja calidad en los parámetros microbiológicos del agua lluvia en techos de asbesto
Buena calidad en el parámetro de <i>Escherichia Coli</i> del agua lluvia en techos de zinc lo que facilita su posterior tratamiento	Baja calidad en el parámetro de coliformes totales del agua lluvia en techos de zinc lo que facilita su posterior tratamiento

Fuente: propia.

De acuerdo con la Hoja de trabajo DOFA, el Consejo Comunitario de la Comunidad Negra de Los Lagos presenta muchas oportunidades (9), igual número de fortalezas y debilidades (7), y por último las amenazas (6). Este panorama fundamentalmente destaca que si bien el entorno externo al consejo comunitario (distrito, departamento, nación, contexto internacional y de más condiciones económicas, sociales, políticas, institucionales, tecnológicas y competitivas) presenta unas condiciones que lo pueden llegar a favorecer (siempre y cuando se sepan aprovechar).

Las fortalezas con que cuenta el consejo comunitario son muy importantes tanto por la cantidad como por la significancia, se destaca la cultura del aprovechamiento del agua ya que ello es clave para seguir presentando avances en la consolidación del sistema de aprovechamiento que actualmente se tiene, además de la relevancia que adquiere en virtud de las oportunidades que se tiene.

Por su parte, las debilidades (dificultades internas del consejo comunitario) que se tienen se convierten en un gran reto a superar dado que de no lograrlo difícilmente mejoraría la calidad del agua que usan en las viviendas, puesto que estas tienen que ver con el bajo nivel de tratamiento de las aguas lluvias y la insuficiencia en la cantidad y capacidad de recipientes para almacenar el agua lluvia.

Por último, las amenazas hay que tenerlas presentes porque pueden entorpecer las condiciones presentes para seguir aprovechando el agua lluvia en el consejo comunitario, sobretodo tener muy en cuenta, las de tipo climático, legales y empresariales por representar el mayor riesgo.

De otra parte, a continuación se presenta la matriz de impactos DOFA – Ponderado para las debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas anteriormente identificadas.

Tabla 31. Matriz de impactos DOFA – Ponderado

OPORTUNIDADES	IMPACTO			AMENAZAS	IMPACTO		
	Alto	Medio	Bajo		Alto	Medio	Bajo
Altos niveles de precipitación durante todo el año en el Consejo Comunitario.	X			Contaminación atmosférica por actividades económicas en sectores aledaños al lugar.	X		
Buena frecuencia de lluvias en los diferentes días y meses del año.	X			Disminución de la cantidad del agua que precipita en el lugar	X		
Aumento de tecnologías para el tratamiento de las aguas lluvias.	X			Alteración regional del clima	X		
Disminución de precios de las tecnologías para el tratamiento de las aguas lluvias.	X			Urbanización o industrialización de los sectores aledaños al consejo comunitario	X		
Legislación ambiental nacional, regional y local en favor del aprovechamiento del agua lluvia.	X			Legislación ambiental nacional, regional y local en contra del aprovechamiento del agua lluvia	X		
Apoyo de gobiernos y ONG's nacionales e internacionales a proyectos de uso eficiente del recurso hídrico.	X			Empresas nacionales y/o internacionales con ánimo de lucro con el aprovechamiento del agua lluvia	X		
Acuerdos, convenios y/o protocolos ambientales internacionales.	X						
Políticas del gobierno local para fortalecer el aprovechamiento del agua lluvia.	X						
FORTALEZAS	IMPACTO			DEBILIDADES	IMPACTO		
	Alto	Medio	Bajo		Alto	Medio	Bajo
Cultura del aprovechamiento del agua lluvia.	X			Bajo nivel de tratamiento del agua lluvia	X		
Uso eficiente del agua.		X		Insuficiente cantidad y capacidad de recipientes para almacenar agua lluvia	X		
Utilización de techos de zinc para la captación del agua lluvia.	X			Utilización de techos de asbesto para la captación del agua lluvia	X		
Consumo promedio moderado de agua lluvia.		X		Falta de mantenimiento a los elementos del sistema de aprovechamiento del agua lluvia	X		
Buena calidad de los parámetros fisicoquímicos del agua lluvia en techos de zinc.	X			Bajo nivel educativo de la mayoría de los habitantes del lugar		X	
Buena calidad de los parámetros fisicoquímicos del agua lluvia en techos de asbesto.	X			Baja calidad en los parámetros microbiológicos del agua lluvia en techos de asbesto	X		
Buena calidad en el parámetro de <i>Escherichia Coli</i> del agua lluvia en techos de zinc lo que facilita su posterior tratamiento.	X			Baja calidad en el parámetro de coliformes totales del agua lluvia en techos de zinc lo que facilita su posterior tratamiento	X		

Fuente: propia.

De acuerdo con matriz de impactos DOFA – Ponderado, todas las oportunidades identificadas pueden presentar un impacto alto en el aprovechamiento del agua lluvia, por lo que con una adecuada capitalización de las mismas se pueden obtener muchos beneficios.

Respecto a las amenazas también se considera que todas ocasionan un impacto alto en el aprovechamiento del agua lluvia, aunque en este caso ese alto impacto sería negativo, por lo que hay que establecer las estrategias adecuadas que prevengan y/o minimicen los mismos.

A su respecto, se considera que las fortalezas mayormente causan un impacto alto (71%) en el aprovechamiento del agua lluvia, por lo que se debe capitalizar la experiencia que se tiene en el consejo comunitario.

Finalmente, teniendo en cuenta la mayoría (86%) de las debilidades pueden ocasionar un alto impacto negativo en el aprovechamiento del agua lluvia y que estas son Intrínsecamente de los miembros del consejo comunitario, es importante establecer las estrategias que permitan revertir estas falencias, ya que de lo contrario se dificultaría el aprovechamiento de las oportunidades y las fortalezas con que se cuentan.

En otro aspecto, a continuación se presenta el análisis DOFA con las estrategias Fortaleza - Oportunidad (FO), Fortaleza - Amenaza (FA), Debilidad - Oportunidad (DO), Debilidad – Amenaza (DA) para el aprovechamiento del agua lluvia en el consejo comunitario.

Tabla 32. Análisis DOFA

	OPORTUNIDADES	AMENAZAS
	Altos niveles de precipitación durante todo el año en el lugar	Contaminación atmosférica por actividades económicas en sectores aledaños al consejo comunitario
	Buena frecuencia de lluvias en los diferentes días y meses del año	Disminución de la cantidad del agua que precipita en el lugar
	Aumento de tecnologías para el tratamiento de las aguas lluvias	Alteración regional del clima
	Disminución de precios de las tecnologías para el tratamiento de las aguas lluvias	Urbanización o industrialización de los sectores aledaños al consejo comunitario
	Legislación ambiental nacional, regional y local en favor del aprovechamiento del agua lluvia	Legislación ambiental nacional, regional y local en contra del aprovechamiento del agua lluvia
	Apoyo de gobiernos y ONG's nacionales e internacionales a proyectos de uso eficiente del recurso hídrico	Empresas nacionales y/o internacionales con ánimo de lucro con el aprovechamiento del agua lluvia
	Acuerdos, convenios y/o protocolos ambientales internacionales	
	Programas de educación ambiental a la comunidad	
	Políticas del gobierno local para fortalecer el aprovechamiento del agua lluvia	
FORTALEZAS	ESTRATEGIAS FO	ESTRATEGIAS FA
Cultura del aprovechamiento del agua lluvia	Los programas de educación ambiental fortalecerán la cultura de aprovechamiento del agua lluvia	El uso eficiente del agua disminuirá el impacto negativo de la disminución de los niveles de precipitación en el Consejo Comunitario de la Comunidad Negra de Citronela
Uso eficiente del agua	La disponibilidad de recursos humanos, técnico y financieros del orden nacional e internacional facilitará que se adquieran tecnologías apropiadas para el aprovechamiento del agua lluvia	Los techos utilizados en las viviendas del Consejo Comunitario ayudarán a que no disminuya la calidad del agua lluvia.
Utilización de techos de zinc para la captación del agua lluvia		

Consumo promedio moderado de agua lluvia	Las tecnologías implementadas mejorarán la eficiencia en el uso de agua lluvia.	
Buena calidad de los parámetros fisicoquímicos del agua lluvia en techos de zinc	el uso de tecnologías para tratar el agua lluvia garantizará el cumplimiento de los parámetros exigidos legalmente	La comunidad hace uso de los mecanismos de participación ciudadana para demandar la normativa nacional que limite y/o afecte el aprovechamiento del agua lluvia por parte de las comunidades locales.
Buena calidad de los parámetros fisicoquímicos del agua lluvia en techos de asbesto	Las políticas del gobierno local favorecerán el aumento del aprovechamiento del agua lluvia.	
Buena calidad en el parámetro de <i>Escherichia Coli</i> del agua lluvia en techos de zinc lo que facilita su posterior tratamiento	Las comunidades seguirán implementando techos que favorezcan la calidad del agua lluvia.	La cultura de aprovechamiento del agua contribuirá a que exista resistencia para que las empresas nacionales y/o internacionales no se apoderen del agua lluvia.
DEBILIDADES	ESTRATEGIAS DO	ESTRATEGIAS DA
Bajo nivel de tratamiento del agua lluvia	La implementación de tecnologías para el tratamiento del agua lluvia mejorará la calidad del agua lluvia garantizando así el cumplimiento de todos los parámetros.	Se almacenará buena cantidad de agua para abastecerse cuando disminuyan las precipitaciones en la zona.
Insuficiente cantidad y capacidad de recipientes para almacenar agua lluvia		
Utilización de techos de asbesto para la captación del agua lluvia	La educación ambiental en la comunidad garantizará que ellos cuiden del sistema de aprovechamiento del agua lluvia, mejorando su mantenimiento y realizando un uso adecuado.	En caso en que la calidad del agua lluvia en el lugar disminuya, se mejorará el sistema de tratamiento de las misma, además de mejorar el mantenimiento de los elementos con los cuales se realiza aprovechamiento del agua lluvia.
Falta de mantenimiento a los elementos del sistema de aprovechamiento del agua lluvia		
Bajo nivel educativo de la mayoría de los habitantes del lugar	La educación ambiental contribuirá a que las personas comprendan la importancia del conservar y dar buen uso al agua.	Se exigirá que se cumpla el uso del suelo en los sectores aledaños a la comunidad, para evitar que se realicen muchas actividades contaminantes de la atmósfera que puedan afectar el agua lluvia.
Baja calidad en los parámetros microbiológicos del agua lluvia en techos de asbesto		
Baja calidad en el parámetro de coliformes totales del agua lluvia en techos de zinc lo que facilita su posterior tratamiento	Con el apoyo de gobiernos y/o entidades locales, regionales, nacionales, e internacionales se dotará a la comunidad de recipientes suficientes y adecuados para almacenar agua.	

Fuente: propia.

6.6. Evaluación de alternativas de manejo

Para la evaluación de las alternativas de manejo se evaluaron los siguientes factores: ambiental, sociocultural económico, normativo y técnico – operativo. Cada uno de los anteriores presenta unos sub-factores bajo los cuales se evaluaron.

Para la calificación de cada sub-factor se hizo uso de la valoración establecida en el cuadro 17. La alternativa que mejor valoración tenga es considerada la más adecuada frente a las condiciones geográficas, físicas y de restricción que tiene el Consejo Comunitario de la Comunidad Negra de Los Lagos.

Tabla 33. Valoración para calificar los sub-factor.

Muy óptimo	5
Óptimo	4
Aceptable	3
Inadecuado	2
Muy inadecuado	1

Fuente: Arboleda, 2009 y 2011.

Las alternativas evaluadas están en función de mejorar el aprovechamiento del agua lluvia, estas se relacionan en el cuadro a continuación.

Tabla 34. Alternativas tecnológicas a evaluar

Alternativa 1	Filtro de plástico con elementos de disco
Alternativa 2	Filtro de plástico con malla
Alternativa 3	Purificador de agua microbiológico instantáneo LifeStraw Family
Alternativa 4	hervido del agua

Fuente: propia con base en Arboleda, 2009 y 2011.

Los resultados de la valoración, identificando las alternativas que obtuvieron mayor puntaje.

Tabla 35. Evaluación del factor ambiental.

Factor: Ambiental					
Sub-factores	Ponderación	Calificación			
		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Generación de residuos sólidos	25%	5	5	5	5
Aire	25%	5	5	5	4
Ecosistemas	25%	5	5	5	5
Recurso hídrico	25%	5	5	5	5
TOTAL	100%	5	5	5	4,75

Fuente: propia

En la evaluación de este factor las alternativas 1, 2 y 3 obtienen los mayores puntajes evidenciando que el impacto ambiental que causa la operación de cualquiera de ellas sobre los sub-factores en cuestión es mínimo. De igual forma la cuarta alternativa también causa muy poco impacto ambiental, afectando sólo el sub-factor aire debido a las emisiones que se causan en el proceso de combustión.

Tabla 36. Evaluación del factor sociocultural.

Factor: Sociocultural					
Sub-factores	Ponderación	Calificación			
		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Impacto sobre la salud	50%	3,5	3	4,5	4,5
Posible aceptación de la tecnología	30%	3	3	5	5
Requerimiento de capacitación	20%	3	3	4,5	4,5
TOTAL	100%	3,25	3	4,65	4,65

Fuente: propia

Las mejores alternativas en este factor son la 3 y 4 dado que al permitir un mejor tratamiento del agua lluvia reducen el impacto de esta sobre la salud, además son de fácil adaptación y requieren un mínimo de capacitación. Por su parte, las alternativas 1 y 2 al no permitir un buen tratamiento del agua lluvia y requieren mayor capacitación para ser implementadas, por lo que hace que tengan menos aceptación.

Tabla 37. Evaluación del factor económico.

Factor: <u>Económico</u>					
Sub-factores	Ponderación	Calificación			
		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Costo de inversión inicial	40%	4	4,5	3,5	3
Costo de operación y mantenimiento	60%	4	4	5	3
TOTAL	100%	4	4,2	4,4	3

Fuente: propia

Las alternativas 1 y 2 son las de menor costo inicial (\$70,300 y \$53,571 respectivamente) por lo que en este punto obtienen mejores puntajes; sin embargo, la alternativa 3 tiene un costo de \$180,000 y es la que requiere menos costo de operación y mantenimiento por lo que obtiene el mejor; por el contrario, la cuarta alternativa es la peor calificada entre todos los sub-factores evaluados dado que hay que hacer una alta inversión inicial (el valor de la estufa, manguera pipeta y gas asciende a \$160,000) y en mantenimiento y operación (\$45,000 mensual para compra de gas).

Tabla 38. Evaluación del factor técnico y operativo.

Factor: <u>Técnico y operativo</u>					
Sub-factores	Ponderación	Calificación			
		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Facilidad de instalación	15%	2,5	2,5	5	5
Facilidad de operación (manejo)	20%	4,5	4,5	4,5	4,5
Requerimiento de mano de obra calificada	5%	3	3	5	5
Frecuencia de mantenimiento	10%	4	4	4,5	4
Accesibilidad a los componentes de la tecnología	10%	3	3	3	5
Requerimiento de espacio	20%	4	4	4,5	4
Vida útil	20%	4	4	4	4
TOTAL	100%	3,725	3,725	4,35	4,40

Fuente: propia

Entre todos los sub-factores la alternativa mejor calificada fue la 3, dado que presenta la mejor facilidad de instalación siendo una tecnología que se puede ubicar en cualquier lugar de la casa, además puede ser operada por cualquiera, no requiere de mano de obra calificada, su frecuencia de mantenimiento es manual y filtra hasta 18,000 litros, lo suficiente para proporcionar a una familia de cinco integrantes agua microbiológicamente pura durante tres años. Por su parte

la alternativa 4 es la segunda mejor calificada también por cumplir en buena forma con los parámetros antes mencionados; destacando el mantenimiento constante de los elementos de la estufa para prevenir daños. Las alternativas 1 y 2, aunque son las de menor puntaje en este factor, presentan buenas condiciones respecto a los sub-factores que se evalúan; sin embargo, obtienen una regular calificación por su dificultad de instalación en esta zona rural dado que no existe acueducto.

Tabla 39. Evaluación del factor normativo.

Factor: Normativo	Ponderación	Calificación			
Sub-factores		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Cumplimiento de la normativa ambiental	50%	2,5	2	4,5	4,5
permisividad del consejo comunitario	50%	5	5	5	5
TOTAL		3,75	3,5	4,75	4,75

Fuente: propia

En este factor, las alternativas 3 y 4 garantizan que la calidad del agua tratada cumpla altamente con la normativa ambiental por lo que obtienen las mejores calificaciones, caso contrario sucede con las alternativas 1 y 2, hecho que afecta significativamente el puntaje de calificación. De otro lado, para todas las alternativas hay permisibilidad del consejo comunitario dado que ellos como máxima autoridad del territorio deben avalar cualquier intervención en el mismo.

Tabla 40. Valoración final de las alternativas.

VALORACIÓN FINAL					
FACTOR	PONDERACIÓN	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Ambiental	20%	5	5	5	4,75
Social y cultural	20%	3,25	3	4,65	4,65
Económico	20%	4	4,2	4,4	3
Normativo	20%	3,75	3,5	4,75	4,75
Técnico - Operativo	20%	3,725	3,725	4,35	4,40
TOTAL	100%	19,73	19,43	23,15	21,55

Fuente: propia

De acuerdo con los resultados obtenidos, la alternativa más adecuada para tratar el agua lluvia en las viviendas del Consejo Comunitario de la Comunidad Negra de Los Lagos es el Purificador de agua microbiológico instantáneo LifeStraw Family.

Por su parte, la alternativa de hervir el agua lluvia representa la segunda opción a tener en cuenta. Por último, el filtro de plástico con elementos de disco y el filtro de plástico con malla obtienen los puntajes menos favorables, descartándolos como alternativas viables de implementar.

CONCLUSIONES

- Los altos niveles y frecuencia de precipitación en la zona de estudio durante todo el año hace que en la mayoría de las viviendas la capacidad de almacenar agua lluvia no supere una semana; sin embargo, ello hace vulnerable la población a un eventual periodo de sequía prolongado.
- En el Consejo Comunitario de la Comunidad Negra de Los Lagos, la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua recolectada en los techos de zinc es mejor que la recolectada en los techos de asbesto; aunque, en ambos techos la calidad microbiológica del agua no cumple con la normativa, por lo que es necesario aplicar algún tipo de tratamiento.
- El sistema de aprovechamiento del agua lluvia en las viviendas del Consejo Comunitario de la Comunidad Negra de Los Lagos, es incompleto porque no incluye el tratamiento del agua captada, representando alto riesgo para la salud de las personas.
- Entre las tecnologías evaluadas, la alternativa que presenta las mejores condiciones para ser implementada en el tratamiento del agua lluvia en el consejo comunitario de la comunidad negra de Los Lagos es el Purificador de agua microbiológico instantáneo LifeStraw Family dado que con esta se obtiene un agua de buena calidad, garantizando altamente el cumplimiento de la legislación ambiental, además de ser una alternativa de fácil implementación y operación.
- El filtro de plástico con elementos de disco y el filtro de plástico con malla no son alternativas idóneas para tratar el agua lluvia, puesto que no mejoran significativamente la calidad de las mismas.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que en las viviendas del Consejo Comunitario de la Comunidad Negra de Los Lagos estén dotadas de techos zinc dado que mantienen mucho más limpios que los techos de asbesto y la calidad del agua que se almacena es mejor en los primeros.

- De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación, se sugiere que en las viviendas se implemente el purificador de agua microbiológico instantáneo LifeStraw Family para tratar el agua lluvia captada; además de ello, el hervido del agua del agua es una alternativa importante de tener en cuenta dado que con esta tecnología realiza un adecuado tratamiento del agua, garantizando altamente el cumplimiento de la legislación ambiental, asimismo es relativamente fácil para implementar y operar; no obstante, la desventaja que tiene es que la cantidad de agua que puede purificar es muy poca y requiere un alto consumo de energía.
- Las alternativas que no se recomiendan son filtro de plástico con elementos de disco y el filtro de plástico con malla puesto que no garantizan una buena calidad del agua impidiendo que se cumpla la legislación ambiental y convirtiéndose ello en un riesgo para la salud, además de no ser de fácil instalación dado que es una tecnología diseñada para lugares que tengan tubería de acueducto, situación contraria a la zona de estudio.
- Teniendo en cuenta que en las áreas rurales de la región pacífica la mayoría de las comunidades tienen el agua lluvia como su fuente principal de abastecimiento, es importantes continuar investigando las mejores formas de aprovechar este recurso natural en óptimas condiciones de cumplimiento de la legislación nacional y minimización de riesgos para la salud.
- Es importantes que se adopten políticas públicas conducentes a mejorar el aprovechamiento de agua lluvia en las comunidades rurales del pacífico colombiano dado que éstas comunidades en su mayoría no tienen acceso al servicio público de acueducto y requieren una fuente segura para satisfacer sus necesidades relacionadas con el recursos hídrico.

BIBLIOGRAFÍA

AG Consultares Ambientales Ltda. (2012). Plan de Manejo Ambiental del macroproyecto de vivienda de interés social nacional, Ciudadela San Antonio. Buenaventura, D.E. 129p.

Arango E, Nathalie; Flórez C Juliana (2012). Sistema de recolección, almacenamiento y conservación de aguas lluvias para el abastecimiento de agua potable a los habitantes del Pacífico Colombiano en zonas rurales de difícil acceso con ausencia o deficiencia del recurso. Trabajo de grado (Ingeniero Industrial). Departamento de diseño. Facultad de ingeniería. Universidad ICESI. Santiago de Cali. Colombia. 94p.

Arboleda Montaña, Nixon. (2011). Evaluación de alternativas tecnológicas para mejorar el manejo actual residuos sólidos en el consejo comunitario de la comunidad negra de Citronela, Buenaventura – Colombia. Trabajo de grado (Especialización en gestión ambiental). Seccional de Educación a Distancia. Fundación Universitaria del Área Andina. Pereira. 95p.

Arboleda Montaña, Nixon. (2009). Programa de manejo integral de residuos sólidos en el parque nacional natural Gorgona, Cauca, Colombia. Trabajo de grado (Administración Ambiental). Facultad de Ciencias Ambientales. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira. 172p.

Arroyave R, Joan A; et al. (2012). Evaluación de la captación de agua lluvia como fuente alternativa de recurso hídrico en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. Ponencia. En: 5 congreso internacional por el desarrollo sostenible y el medio ambiente. Centro de investigaciones en Medio Ambiente y Desarrollo sostenible, Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, Universidad de Manizales. Manizales. Colombia. 16p.

Azud (2013). Ventajas y desventajas de los filtros plásticos de malla y disco. Consultado en <http://www.riegosatlantico.com/admin/datosproducto/pdf/Filtros.pdf>

Avila, et al. (2008). determinación de fluoruro en aguas de Rinconadillas (Provincia de Jujuy). En: Acta Toxicol. Argentina. Volumen 16 No. 1. 14 – 20p.

Ballén S José A; Galarza G, Miguel A; Ortiz M, Rafael O. 2006. Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia. Ponencia. En: Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua. João Pessoa, Brasil.

CENTRO INTERNACIONAL DE DEMOSTRACIÓN Y CAPACITACIÓN EN APROVECHAMIENTO DEL AGUA DE LLUVIA. (2007). Manual sobre Sistemas de Captación y Aprovechamiento del Agua de Lluvia para Uso Doméstico y Consumo Humano. Colegio de Postgraduados de INSTITUTO DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRICOLAS. Ciudad de México, México. 151p.

CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE. (2001). Guía de diseño para captación del agua de lluvia. Perú, Lima. 2-18p.

CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE. (2003). Captación de agua de lluvia para consumo humano: especificaciones técnicas. Hojas de divulgación técnica No 88. Lima, Perú.

CORPORACIÓN AUTONOMA AMBIENTAL DEL VALLE DEL CAUCA: Dirección ambiental regional pacifico oeste. (2007). Atlas ambiental urbano municipio de Buenaventura. Buenaventura, Colombia. 81p.

CORPORACIÓN AUTONOMA AMBIENTAL DEL VALLE DEL CAUCA. Vida y región: gestión ambiental en el Valle del Cauca. (2000). Subdirección de planeación. Santiago de Cali. 175p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTADISTICA (2013). Encuesta nacional de calidad de vida. Bogotá D.C.
https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/condiciones_vida/calidad_vida/cp_EC_V_2012.pdf. Consultado 08 de octubre de 2014.

Duran, Diana (2011). Material de clases del módulo los problemas ambientales y sus perspectivas de solución. Curso I Planificación ambiental. Master en proyectos ambientales Instituto Latinoamericano de Ciencias. Huancayo, Perú. 54p.

Hernández Hernández, Liliana (2012). Evaluación del riesgo para la salud en una población de la zona rural de Bogotá D.C. por la presencia de metales en aguas de consumo. Trabajo de grado (Maestría en Ingeniería Recursos Hidráulicos). Facultad de Ingeniería Civil y Agrícola. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C. 174p.

IDEAM. (2014). Valores totales diarios de precipitación años 2009 – 2013. Estación 53115010 APTO Buenaventura. Sistema de información nacional ambiental. Bogotá D.C.

Fraume R, Nestor J. 2007. Diccionario ambiental. Ecoe Ediciones. Bogotá. D.C. 465p.

Guhl Nanneti, Ernesto. 2007. La problemática del agua en Colombia: para que queramos el agua los colombianos. Ponencia. En: cátedra ambiental pensamiento y política ambiental. Instituto de Investigaciones Ambientales, Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira. 12p.

Hazmine, Nury Z; Ávila, Alfonso. Principios básicos para la gestión ambiental. Edición 2da. Universidad Escuela Nacional de Negocios. Bogotá. 2001.330p.

Hazmine, Nury Z. Principios básicos de gestión ambiental. Universidad Escuela Nacional de Negocios. Bogotá. 2009. 431p.

Hurtado, Jacqueline. (2000). Metodología de la investigación holística. Edición 3ra. Servicios y proyecciones para América Latina, Instituto Universitario de Tecnología Caripito. Caracas, Venezuela. 628p.

Hurtado, Jacqueline. (2002). El proyecto de investigación holística. Servicios y proyecciones para América Latina – Editorial Magisterio. Caracas, Venezuela. 52p.

IAvH, IDEAM, IIAP, INVEMAR, SINCHI, 2011. Informe del Estado del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables 2010. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. Bogotá D.C., Colombia. 384p.

IWUANA GREEN. Purificadores de agua microbiológicos. Domésticos, portátiles e instantáneos. <http://www.vestergaard.com/lifestraw-family-1-0>. Consultado mayo de 2013. 37p.

IWUANA GREEN. (s.f.) purificador microbiológico instantáneo de agua: manual del propietario. LifeStraw by VESTERGAARD. 42p.

Lerma A, Daniel A. (2010). Filtros cerámicos, una alternativa de agua segura. Trabajo de grado (Maestría en ecotecnología). Facultad de ciencias ambientales. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira. Colombia. 73p.

MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL; MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución número 2115 de 2007. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Bogotá D.C. 23p.

MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL. Decreto número 1575 de 2007. Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Bogotá D.C. 14p.

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE – INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. 2000. Zonificación Ecológica de la Región Pacífica Colombiana. Programa de Manejo de Recursos Naturales. 364p.

Natalia Palacio Castañeda. (2010). Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia como alternativa para el ahorro de agua potable. En: Gestión y ambiente. Medellín. Volumen 13 No. 2. 25 – 40p.

Ojeda C, Manuel O. (2012). Caracterización fisicoquímica y parámetros de calidad del agua potable de la planta de tratamientos de agua potable de Barrancabermeja. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 52p.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (2012). Evaluación de métodos para el tratamiento doméstico del agua: metas sanitarias y especificaciones de eficiencia microbiológica. Suiza. 72p.

http://www.who.int/about/licensing/copyright_form/en/index.html. Consultado 15 de febrero de 2013.

ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. (2005). Tecnologías para abastecimiento de agua en poblaciones dispersas. Perú, Lima. 65p.

ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. (2005). Guía para el mejoramiento de la calidad del agua a nivel casero. Lima, Perú. 59p.

Pérez L, Jhean E. (2010). Caracterización de la calidad del agua en la planta de tratamiento de agua potable y en la red de distribución de la ciudad de Yopal. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. 95p.

PRESIDENCIA DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. Decreto 3930 de 2010 Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.

Prieto Bolívar, Carlos. (2004). El Agua. Edición 2da. Bogotá. Ecoe Ediciones. 248p.

Restrepo Tarquino, Inés. (2004). Tendencias mundiales en la gestión de recursos hídricos: desafíos para la ingeniería del agua. En: Ingeniería y Competitividad. Santiago de Cali. Volumen 6 - No. 1. 63–71p.

Rojas & Guevara (2000). Filtro de mesa de arena guía de construcción, operación y mantenimiento. OPS – OMS – CEPIS. Lima, Perú. 12p.

Rosero M, Milton; et al. (2010). Montaje y validación del método de análisis por combustión y detección por infrarrojo no dispersivo para determinación de carbono orgánico total (COT) en agua. En: Luna Azul. Manizales. No. 30. 10–23p.

Salas, Diana (2005). Material de clases de la asignatura química ambiental. Programa Administración Ambiental. Facultad de Ciencias Ambientales. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira. 27p.

Samboni Ruiz, N; Carvajal Escobar, Y; Escobar, Juan C. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. En: Ingeniería e investigación. Bogotá. Vol. 27 No 003. 14 – 22p.

Sánchez S, Andrés F. (2011). Validación de las técnicas hierro total y fosfatos en agua en el laboratorio Aliscca Ltda. Trabajo de grado (Química industrial). Facultad de tecnologías. Química industrial. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira. Colombia. 91p.

Severiche S, Carlos A; Castillo B, Marlon E; Acevedo B, Leonor. (2013). Manual de métodos analíticos para la determinación de parámetros fisicoquímicos básicos en aguas. Fundación Universitaria Andaluza Inca Garcilaso. Cartagena de Indias, Colombia. 101p.

Vega A, Ángela; Vélez V, Paulina. (2011). Validación del método de determinación de cobre y zinc por espectroscopia de absorción atómica de llama en agua cruda y tratada para el laboratorio de análisis de aguas y alimentos de la Universidad Tecnológica de Pereira. Trabajo de grado (Tecnólogo en química). Escuela de química. Facultad de tecnologías. Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira. Colombia. 90p.

ANEXOS

ANEXO 1: ENCUESTA CARACTERIZACIÓN VIVIENDAS, DIAGNOSTICO SITUACIONAL CAPTACIÓN Y USOS DEL AGUA LLUVIA

1. Es propietario de la vivienda. SI___ NO___
2. cuantas personas viven en la casa:
A) Entre 1 y 3___ B) Entre 4 y 6___ C) entre 7 y 9___ D) mayor o igual a 10___
3. Tiene sistema de acueducto: SI___ NO___
- 4.Cuál es la fuente más importante con que usted cuenta para abastecerse de agua:
A) agua lluvia___ B) río o quebrada ___ C) agua subterránea___
5. Realiza captación de aguas lluvias. SI___ NO___
6. Los recipientes que tiene para cuanto tiempo de abastecimiento alcanzan
A) 1 semana___ B) 2 semanas___ C) 3 semanas___ D) 4 semanas___
E) más de 4 semanas___
7. Entre los recipientes anteriores tiene piscina: SI___ NO___
8. Qué tipo de techo tiene su vivienda:
A) Zinc___ B) Asbesto___ C) Paja___ D) Cemento___
9. En que usos domésticos utiliza el agua lluvia:
A) Beber y/o preparar alimentos___ B) lavar ropa ___ C) asear la casa___
D) otros usos___ E) Todas las anteriores
10. En caso de beber el agua lluvia, previamente la hierbe. SI___ NO___
11. En caso de beber el agua lluvia, realiza algún tratamiento diferente de hervirla:
SI___ NO___
12. Se ha enfermado alguna persona por el consumo de agua lluvia.
SI___ NO___
13. Que enfermedad (es) ha ocasionado el agua lluvia:

14. Las personas que han sufrido enfermedad por el agua lluvia son niños o adultos:

A) Niños _____ B) adultos _____

15. Cree usted que es necesario mejorar el sistema de captación de agua:

SI___ NO___

16. Estaría usted de acuerdo con mejorar el sistema de aprovechamiento del agua:

SI___ NO___

ANEXO 2. TOMA DE MUESTRAS DE AGUAS LLUVIAS POR TRABAJADORES DE LA EMPRESA HIDROPACÍFICO

Registro fotográfico 1. Medición de la temperatura del agua



Fuente: propia.

Registro fotográfico 2. Toma de muestra fisicoquímica



Fuente: propia.

Registro fotográfico 3. Toma de muestra microbiológica



Fuente: propia.

ANEXO 3. TRATAMIENTOS EVALUADOS

Tratamiento 1: Filtro de plástico con elementos de disco.



Fuente: propia.

Tratamiento 2: filtro de plástico con malla.



Fuente: propia.

Tratamiento 3: purificador de agua microbiológico instantáneo
Life Straw Family.



Fuente: propia.

Tratamiento 4: hervido del agua



Fuente: propia.

**ANEXO 4. PRECIPITACIONES DIARIAS EN LAS ESTACIÓN
METEREOLÓGICA DEL AEROPUERTO DE BUENAVENTURA.**

PRECIPITACIONES DIARIAS DEL AÑO 2009												
Días	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	22,5	0,6	25	0	68	5,9	3,3	16,3	3	76	0	0
2	1,3	2,2	32	0,7	70	3,4	1,7	8	1,6	73	8,7	2
3	1,2	0,5	17,8	0	0,21	21,5	0,6	49	87	29	14,7	25,3
4	3,7	0	3,2	0	0,7	84	0,3	45	24,8	114	71	57
5	29	0	4,9	3,5	54	13,3	55	16,2	4,2	27	4,5	112
6	0	5,4	60	1,5	39	0,4	1,6	57	5,1	43	79	0
7	96	1,2	6,2	143	16,8	0	6	3,2	23,7	3,6	0,9	2,4
8	0	6,1	18,6	4,4	0,4	0	5,4	11,3	27,2	1,2	13	5,6
9	9,2	4,3	22,6	0	0	6,5	25,5	2,5	26,6	2,6	0,4	0,9
10	0	4,51	23	21,2	46	1,5	0	21,5	0,3	57	3,8	0,4
11	0,4	15,11	12,9	0,6	3,5	41	0	5,9	5,9	9,9	29	116
12	10,6	37,51	1,3	1,1	47	28,4	5	36	30	24,2	19,8	0,8
13	15,5	0,71	9,8	36	0,7	46	7,5	57	5,2	3,5	0	20,6
14	20	5,51	0,9	0,5	0,9	26,9	23,9	0,8	19,4	13,1	62	5,5
15	39	0,61	32	0	6,5	4,4	15	89	27,5	0	3,4	47
16	7,1	0	3	23	14,7	0	2,8	8,7	58	2,9	0,4	8,4
17	3,9	11,4	0,9	1,8	6	0,4	3,6	0	25,4	81	12,5	36,21
18	0,4	0	100	31	7,2	3,9	50	6,3	3	1,5	36	10
19	0	7,1	4,2	1,3	35	16,4	31	63	5,7	65	1,8	8,1
20	0	75	5,5	6	7,2	7	44	0,9	64	1,3	18,5	130
21	10,9	0,4	29	0	40	35	9,9	15,2	63	33	3,8	73
22	13,8	0,7	25	5,4	3	9,8	1,8	53	0,4	6,6	20,4	20,4
23	0	0,9	1,3	15,3	10,4	35	24,7	1,3	1,9	41	45	0
24	4,4	0	8,3	2,3	0,6	2,3	20,9	0	15,2	1,3	179	0,4
25	0,4	30	3,5	37	11	0,3	6,5	14,6	17,2	18,2	0	2,7
26	6,5	6,8	0	0	0,4	43	2,7	3,7	1,3	50	40	0
27	0	2,3	0	0	83	20,7	11,2	0	16,7	3,2	0,3	0
28	1	102	0,7	2,8	115	6,5	79	25,9	0,6	54	81	0
29	100		15	8,3	0,6	77	2,6	9,9	0,6	22	137	6,2
30	0		6	24,6	54	0,4	19	6,3	53	0,6	2,6	12,1
31	7,5		3,3		0,9		25,5	24		108		2,4
Total	404,3	320,9	475,9	371	742,7	541	486	651,5	617,5	966,7	888,5	705,4

Fuente: propia con base en información del IDEAM.

PRECIPITACIONES DIARIAS DEL AÑO 2010												
Días	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	3,8	1,6	1,4	0	25	1,5	55	17,2	115	9,3	28	165,8
2	24,6	0	0	1,5	12,9	0	1,5	0	2,5	70	110	78,41
3	2	0,7	29	0	4,5	0,6	70	1,7	70	10,9	33	26,6
4	2,4	0,4	1,9	16,8	0	32	43	70	54	75	20,11	5,7
5	0,3	17,3	6,3	16	72	6,1	6,8	1,5	96	14,1	23,8	1,7
6	0,2	90	58	2	10,5	49	18	80	5,4	3,6	56	9,21
7	0	5,8	22,5	9,2	47	4,3	6,2	1,9	43	82	69	96
8	7	0,5	0,3	4,8	2,1	1,9	11	2,5	74	9	38,8	75
9	2,6	6,8	17,2	72	20,3	25	19	63	11	36	48,21	7,2
10	26	72	50	0,3	4,3	0,6	94	6,2	54	5,5	5,2	4,6
11	4,5	7,7	2,3	57	137	45	3,8	14,7	134	71	9,3	147
12	5,4	4,7	1,7	0,9	0,9	12,2	18	5	7	43	68	45
13	0,3	60	0	0	24,2	1,1	91	1,5	12,8	11,4	50	4,7
14	38	2,5	24,2	10,5	4,5	10	27	0	23	51	21,2	4,3
15	0	11,2	8,61	6,3	1,3	13,1	0,4	45	8,5	15,4	0,3	48
16	6,8	4,4	17,01	3	0	18,2	1	5,9	39	30	5,5	0,3
17	2	6,7	2,2	0,3	0	9,9	7,8	4	43	43	40	13,1
18	3,8	0	2	35	2,4	13,5	46	28	100	0	44	26,6
19	1,9	9,7	0	11,4	12,4	5,7	25	10	57	30	4,5	18
20	1,3	10,9	24,9	46	67	0	4	35	4,9	0,5	17,5	0,8
21	14,7	1,2	6,7	0	5	8,4	0,3	40	40	100	7,5	22,2
22	3,2	6,6	0,4	0	22,8	0	1,2	45	46	1,2	20,3	7,2
23	9,31	1,7	4,5	3,7	1,2	3,9	43	2,2	21,8	9,2	16	0
24	10,7	0	7,5	17,4	59	0,7	5,3	44	4,5	22	13	6,8
25	1,5	18,4	45	8,5	49	27,3	1,7	16	3,2	8,7	11,3	0,9
26	3,5	2,4	0,7	25,9	6,9	2,4	64	17	17,8	21,7	6	35
27	20,5	6,6	84	6,9	0,5	55	43	110	10	28	85	9
28	37	36	0	6,6	0,5	4,9	4,9	65	90	4,2	3	33
29	0		3,7	8	11,7	46	14	3,2	2,3	43	4,1	15,2
30	0		48	1,5	2,3	23	3,7	177	0	23		1
31	3,9		6,7		3,3		1,5	10		70		1
Total	237	385,8	476,7	372	611	421	730	922,5	1189,7	941,7	858,6	909,3

Fuente: propia con base en información del IDEAM.

PRECIPITACIONES DIARIAS DEL AÑO 2011												
Días	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	12	0	18,6	3,4	63	22	2,4	109	32	1,3	11,2	55,61
2	14	0	2,6	0	2,9	16,9	26,8	1,5	50	7,7	3,9	4,2
3	11	2,5	11,01	4,1	38	15,5	2,2	1,5	5,1	12,9	68	27,4
4	2,1	0	0	35,2	0	88	6	2,6	57	13	11,7	20
5	1	0	0	10,5	11,6	84	8,1	11,2	0,51	3,8	2,8	28
6	0	3,5	0	6,1	6,5	0,9	9,1	11,2	29	0,4	1	46
7	19	2,8	0	36	3,3	2,9	6,1	9,2	23,7	13	24,9	122
8	21	0,3	1,9	80	10,6	4,6	79	21,5	0,11	78	1,2	1,2
9	4,5	0,4	0,4	4,3	0,61	9,4	13,2	3,5	3,7	24,8	55	8,4
10	1,5	10,6	0	6,3	121	19	8,1	2,71	57,6	78	176,2	3,4
11	3,5	6,9	0	9,01	0,71	1,5	15,8	32,8	37	49	28,2	75,41
12	17,7	0,7	1,5	0,8	0,5	17,5	12,3	9,1	52	3,61	2,4	103
13	1,8	19,8	0,7	0	35,4	2,7	0	32,81	17,7	16,5	13,2	92
14	3,1	0	0	12,3	1,01	15,1	19,2	20,7	9,4	49	31,2	13,2
15	38	3,7	71	4,4	1,2	24,5	0,3	6,3	58	28,6	40	51
16	4,8	0	16,6	62	9,2	48	38	1,3	3,41	29,1	19,51	4,2
17	1,5	0	0	5	11,7	0	4,2	70,81	62	3,11	135	29,5
18	0,5	0	2,5	0,9	12	4,3	12,6	14,6	0,11	0	5,3	40
19	3,1	0	7,8	2,7	3,9	32	82	0	37	0,71	0,7	5,2
20	0	0,6	1,9	0	2,3	0	0,8	10,8	72	36,2	10,8	3
21	0	1	6,4	9,3	36	0,4	0	0,7	2,51	10	2,5	4,1
22	1,7	0,7	0	0	1	29,5	7,9	28	18,4	0	11,7	0
23	0	10	0	0,5	35	28,01	34	23,7	14,3	34	0,5	29,2
24	0,3	0	32	78	1,6	128	3,4	0,3	35,31	20	0	4,8
25	1,3	20,7	0,4	8,5	0,51	1,21	6,3	0,5	151,7	4,9	0,6	8,5
26	0	1,2	0	1,6	8,2	3,6	0,8	55	5,81	13,2	17	4
27	14,5	0,6	3,5	27	22,5	0,4	22,8	35,81	21,5	13,2	71	0
28	0	19,3	25,5	26,2	0	4,4	15	2,7	10	16,5	124,4	5,7
29	3,5		8,71	0,9	1,6	0,9	108	0,5	18,7	42,31	16,2	5,7
30	1,4		0	42	9	10,7	2,6	6,5	33,7	30	27,3	0
31	0,6		0,3		13,5		8,5	34		26,4		4,2
Total	183,4	105,3	213,3	477,0	464,3	615,9	555,5	560,8	919,3	659,2	913,4	798,9

Fuente: propia con base en información del IDEAM.

PRECIPITACIONES DIARIAS DEL AÑO 2012												
Días	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	6,9	0	0	11,6	9,21	19,3	21,6	6,9	4,3	10	0	0
2	19,2	6,2	14,2	0,6	72,71	15,5	29,6	0	4,3	6,8	5,4	60,71
3	6,31	0	0,4	0	18,8	0	4,7	2,91	19,31	115	15	12,3
4	15	4,2	82	29,4	8,81	131	6	2,8	2,3	56	0	76,01
5	11,9	11,4	3,1	60,7	23,21	3	0	18,91	0,4	80	22,11	0
6	0	16,6	10	23,5	19,81	11,8	8,6	135	9,61	49	10,7	0
7	0	9	0	32,7	2	7,2	7,8	29,41	16,5	95	0,4	0,7
8	0,31	42,31	9,3	0	34,01	0,9	19	28,11	4,8	11,71	4,2	0
9	2	1,7	11,5	8,3	8,41	2,2	5,9	15,4	4,8	5,7	0,4	7,2
10	5,2	17,7	0,9	20	16,6	18,6	13,3	84	9,21	45	80	2,3
11	0	3	15,4	28,6	20,21	38	55,4	11,4	8,51	5,3	25	79,91
12	0,7	1,3	86	0	0	146	23,6	108,9	1,4	1,5	6	56,51
13	1,4	0	0,6	11,3	0,9	8,61	0	19,1	5,1	68	4,3	19,8
14	2,9	0,3	0,2	25	5,2	17,7	17,7	24,6	0,4	130	9,51	0,21
15	1,1	0,9	26	1	37	15,9	3,2	12,91	43,61	160	3,1	53
16	20,5	0,4	58	0,4	21,5	5,31	29,1	21,5	6,6	8,41	68,31	10,31
17	11,3	0	92	1	45,91	0	74,1	0,6	23,5	27	15,1	43
18	0	0	16,7	16	23,5	50	1,9	13,11	18,1	5,4	7,2	1,2
19	1,7	1,1	0	4,2	14,2	62	22,8	34	26	0	4	8,61
20	9,9	0,4	4,6	5	9,11	65,9	4,9	0	24,01	15,2	5,3	30,11
21	5,5	18,7	26	38	1,61	20,5	12,5	85,21	44	56	74,01	19,31
22	0,21	0	2,4	4,1	0,7	10,7	1,6	11,9	6,5	2	2	6,8
23	95	3,5	10,71	73	0	0	59,8	52	0,7	2,41	3,9	11,5
24	7	2,3	0,6	49,8	2,5	16,6	1,6	55	1,1	13,6	135	3,9
25	0	20	1,6	0	64,1	3,9	20,7	12,2	57	2,1	29	4
26	0	0,2	1,61	26,7	0	15,6	18,3	17,1	3,7	0,4	9,7	6,91
27	0	1,9	3,7	21,2	17,61	8,31	17,3	5,4	165	5,1	39	
28	2,9	37	7,7	5	12,3	0	4,8	79,21	16,01	9,2	20,81	31,4
29	0,9	0	6,1	0	0	2	18,8	24,81	59,51	15	80	72,61
30	7,1		0,9	32	9,41	0,6	28,1	11	1,2	61	2,7	76,51
31	0		2,6		55,61		5,6	6		2		29
Total	235	200,1	494,8	529	554,9	698	538	929,4	587,5	1063,8	682,2	723,8

Fuente: propia con base en información del IDEAM.

PRECIPITACIONES DIARIAS DEL AÑO 2013												
Días	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	0,5	13,5	3,6	23,6	9,7	10	0,1	0,5	28,2	57	21	49
2	0	7,2	0,4	10,6	97	14,7	1,5	27	5,4	41	0,2	11,2
3	2	36	4,2	7,5	0,4	0	19,6	29,8	9,1	2,9	0,7	10,9
4	0,4	90	40	0,9	26,6	1	14,7	5,9	0,1	5,5	5,7	2
5	0	20	5,2	2,7	1,7	3,2	4	31,4	208	9,9	1,7	32
6	0,5	0	19,9	0,4	3	6,5	3,9	24,9	0,2	3,6	49	130
7	0	24,2	1,7	2,5	13,2	2,3	19,1	135	75	46	0,1	130
8	0	40	1,9	1,2	2,2	4,6	4,2	1,5	8,5	2	0	36
9	0	8,1	2,2	0	2,2	31	2,5	13,3	14,8	28,2	0,9	0,2
10	0,41	10,9	10,6	0,2	4,5	14	7	53	11,4	22,7	14,7	4,3
11	6,6	26,6	1,1	0	1,5	125	35,7	22,7	63	130	6,6	25
12	1,9	40	19,7	0,9	3,3	2,4	28,5	72	37	97	3,5	46
13	1,5	0	26,2	37	16,4	12,7	4,5	4,7	6,7	54	7,6	37
14	57,31	0,6	59	6,2	7,8	29	12,5	53	20,9	25,7	65	0,6
15	13,6	0,7	7,2	0	100	12,8	32	34	3,6	12,7	2,9	35
16	9,11	1,7	39	7,3	21,8	61	3,6	75	54	2,7	75	50
17	2,2	1,5	1,2	17,2	3	0,5	5,5	3,4	25,7	20,9	16,6	13,1
18	3,2	16,4	6,6	0	83	2,9	2,9	11,2	2,8	38	140	14,2
19	0	26	0	0,6	11,2	105	3,6	0,1	2,3	45	6,1	0,2
20	6	1,4	10	2,7	40	3	1,7	57	0	130	0,4	41
21	1,6	0	1,6	0	0,5	6,6	13,2	20,7	38	40	14,5	39
22	0,4	0	9	0	108	13,2	0,9	22,5	7,7	1,1	2,4	99
23	21	0	0	54	9	4,4	2	0	15,2	100	12,5	3,9
24	12,4	0,2	0	2	94	6,3	6	3,2	0,6	7,3	1	1,9
25	1,9	0	2,5	0,6	85	0,8	83	7,5	46	102	5	0,4
26	0,7	17,5	41	13,2	5,5	38	4,4	1,7	14	35	4,7	2,5
27	7	85	4,6	1,5	23,6	15,5	25,7	6,5	47	2,7	1	0,1
28	4,9	35	0,4	1	7,8	70	48	17,6	15,6	5,7	0,4	0
29	0		4,6	9,7	1,5	23	4,4	12,6	71	8,6	21	24,2
30	0		1	26,4	69	52	10,5	6,7	0,4	91	2,7	5,7
31	53		22,8		10		11	21,4		1		93
Total	208,1	502,5	347,2	230	862,4	671,4	416	775,8	832,2	1169,2	482,9	937,4

Fuente: propia con base en información del IDEAM.

ANEXO 5. RESULTADOS DE ANALISIS FÍSICO – QUIMICO

RESULTADOS DE ANALISIS FÍSICO – QUIMICO PARA TECHO DE ZINC EN EL MES DE JULIO				
PARÁMETROS MEDIDOS		EXIGIDO POR DECRETO 1575/2007	OBTENIDO	CUMPLE
Sustancias flotantes		Ausencia	Ausencia	SI
Olor		Aceptable	Aceptable	SI
Sabor		Aceptable	Aceptable	SI
Turbiedad	U.N.T.	<=2.0 U.N.T	2	Si
Color	PL Co	<= 150 PL Co	8	SI
pH	UN pH	>=6.5<= 9.0 UNI	6,5	Si
Alcalinidad total	mg/L Ca Co3	<= 200 mg/L	28	SI
Conductividad	ms/cm	<=1500 ms/cm	63	SI
Acidez	mg/L Ca Co3	<= 50 mg/L	0,8	SI
Dureza total	mg/L Ca Co3	<= 300 mg/L	22	SI
Sulfatos	mg/L So4	<= 250 mg/L	3	SI
Cloruros	mg/L Cl	<= 250 mg/L	5	SI
Nitritos	mg/L NHNO2	<= 0.1 mg/L	0.044	SI
Nitratos	mg/L NHNO3	<= 10 mg/L	0,8	SI
Hierro total	mg/L F6 3+	<= 0.3 mg/L	0.04	SI
Aluminio residual	mg/L Al	<= 0.2 mg/L	0.085	SI
Cloro residual libre	mg/L Cl2	>=0.3<= 2.0	0	NO

Fuente: propia

RESULTADOS DE ANALISIS FÍSICO – QUIMICO PARA TECHO DE ASBESTO EN EL MES DE JULIO				
PARÁMETROS MEDIDOS		EXIGIDO POR DECRETO 1575/2007	OBTENIDO	CUMPLE
Sustancias flotantes		Ausencia	Ausencia	SI
Olor		Aceptable	Aceptable	SI
Sabor		Aceptable	Aceptable	SI
Turbiedad	U.N.T.	<=2.0 U.N.T	1,23	SI
Color	PL Co	<= 150 PL Co	5	SI
pH	UN pH	>=6.5<= 9.0 UNI	7	SI
Alcalinidad total	mg/L Ca	<= 200 mg/L	64	SI

	Co3			
Conductividad	ms/cm	<=1500 ms/cm	47	SI
Acidez	mg/L Ca Co3	<= 50 mg/L	2,7	SI
Dureza total	mg/L Ca Co3	<= 300 mg/L	26	SI
Sulfatos	mg/L So4	<= 250 mg/L	4	SI
Cloruros	mg/L Cl	<= 250 mg/L	2,8	SI
Nitritos	mg/L NHNO2	<= 0.1 mg/L	0.010	SI
Nitratos	mg/L NHNO3	<= 10 mg/L	0,2	SI
Hierro total	mg/L F6 3+	<= 0.3 mg/L	0,25	SI
Aluminio residual	mg/L Al	<= 0.2 mg/L	0,2	SI
Cloro residual libre	mg/L Cl2	>=0.3<= 2.0	0	NO

Fuente: propia

RESULTADOS DE ANALISIS FÍSICO – QUIMICO PARA TECHO DE ZINC EN EL MES DE AGOSTO				
PARÁMETROS MEDIDOS		EXIGIDO POR DECRETO 1575/2007	OBTENIDO	CUMPLE
Sustancias flotantes		Ausencia	Ausencia	SI
Olor		Aceptable	Aceptable	SI
Sabor		Aceptable	Aceptable	SI
Turbiedad	U.N.T.	<=2.0 U.N.T	1,3	SI
Color	PL Co	<= 150 PL Co	4	SI
pH	UN pH	>=6.5<= 9.0 UNI	6,6	SI
Alcalinidad total	mg/L Ca Co3	<= 200 mg/L	19	SI
Conductividad	ms/cm	<=1500 ms/cm	21	SI
Acidez	mg/L Ca Co3	<= 50 mg/L	1,5	SI
Dureza total	mg/L Ca Co3	<= 300 mg/L	9	SI
Sulfatos	mg/L So4	<= 250 mg/L	0	SI
Cloruros	mg/L Cl	<= 250 mg/L	3	SI
Nitritos	mg/L NHNO2	<= 0.1 mg/L	0.022	SI
Nitratos	mg/L NHNO3	<= 10 mg/L	0.3	SI
Hierro total	mg/L F6 3+	<= 0.3 mg/L	0.02	SI
Aluminio residual	mg/L Al	<= 0.2 mg/L	0.036	SI
Cloro residual libre	mg/L Cl2	>=0.3<= 2.0	0	NO

Fuente: propia

RESULTADOS DE ANALISIS FÍSICO – QUIMICO PARA TECHO DE ASBESTO EN EL MES DE AGOSTO				
PARÁMETROS MEDIDOS		EXIGIDO POR DECRETO 1575/2007	OBTENIDO	CUMPLE
Sustancias flotantes		Ausencia	Ausencia	SI
Olor		Aceptable	Aceptable	SI
Sabor		Aceptable	Aceptable	SI
Turbiedad	U.N.T.	<=2.0 U.N.T	0,92	SI
Color	PL Co	<= 150 PL Co	2	SI
pH	UN pH	>=6.5<= 9.0 UNI	6,9	SI
Alcalinidad total	mg/L Ca Co3	<= 200 mg/L	23	SI
Conductividad	ms/cm	<=1500 ms/cm	62	SI
Acidez	mg/L Ca Co3	<= 50 mg/L	1,8	SI
Dureza total	mg/L Ca Co3	<= 300 mg/L	13	SI
Sulfatos	mg/L So4	<= 250 mg/L	0	SI
Cloruros	mg/L Cl	<= 250 mg/L	3,7	SI
Nitritos	mg/L NHNO2	<= 0.1 mg/L	0.005	SI
Nitratos	mg/L NHNO3	<= 10 mg/L	0,3	SI
Hierro total	mg/L F6 3+	<= 0.3 mg/L	0,05	SI
Aluminio residual	mg/L Al	<= 0.2 mg/L	0.155	SI
Cloro residual libre	mg/L Cl2	>=0.3<= 2.0	0	NO

Fuente: propia

RESULTADOS DE ANALISIS FÍSICO – QUIMICO PARA TECHO DE ZINC EN EL MES DE SEPTIEMBRE				
PARÁMETROS MEDIDOS		EXIGIDO POR DECRETO 1575/2007	OBTENIDO	CUMPLE
Sustancias flotantes		Ausencia	Ausencia	SI
Olor		Aceptable	Aceptable	SI
Sabor		Aceptable	Aceptable	SI
Turbiedad	U.N.T.	<=2.0 U.N.T	1,8	SI
Color	PL Co	<= 150 PL Co	4	SI
pH	UN pH	>=6.5<= 9.0 UNI	6,5	SI
Alcalinidad total	mg/L Ca Co3	<= 200 mg/L	22	SI

Conductividad	ms/cm	<=1500 ms/cm	37	SI
Acidez	mg/L Ca Co3	<= 50 mg/L	1,2	SI
Dureza total	mg/L Ca Co3	<= 300 mg/L	16	SI
Sulfatos	mg/L So4	<= 250 mg/L	0	SI
Cloruros	mg/L Cl	<= 250 mg/L	3	SI
Nitritos	mg/L NHNO2	<= 0.1 mg/L	0.025	SI
Nitratos	mg/L NHNO3	<= 10 mg/L	0.4	SI
Hierro total	mg/L F6 3+	<= 0.3 mg/L	0.02	SI
Aluminio residual	mg/L Al	<= 0.2 mg/L	0.057	SI
Cloro residual libre	mg/L Cl2	>=0.3<= 2.0	0	NO

Fuente: propia

RESULTADOS DE ANALISIS FÍSICO – QUIMICO PARA TECHO DE ASBESTO EN EL MES DE SEPTIEMBRE				
PARÁMETROS MEDIDOS		EXIGIDO POR DECRETO 1575/2007	OBTENIDO	CUMPLE
Sustancias flotantes		Ausencia	Ausencia	SI
Olor		Aceptable	Aceptable	SI
Sabor		Aceptable	Aceptable	SI
Turbiedad	U.N.T.	<=2.0 U.N.T	1	SI
Color	PL Co	<= 150 PL Co	3	SI
pH	UN pH	>=6.5<= 9.0 UNI	7,1	SI
Alcalinidad total	mg/L Ca Co3	<= 200 mg/L	39	SI
Conductividad	ms/cm	<=1500 ms/cm	57	SI
Acidez	mg/L Ca Co3	<= 50 mg/L	1.7	SI
Dureza total	mg/L Ca Co3	<= 300 mg/L	16	SI
Sulfatos	mg/L So4	<= 250 mg/L	0	SI
Cloruros	mg/L Cl	<= 250 mg/L	3.6	SI
Nitritos	mg/L NHNO2	<= 0.1 mg/L	0.006	SI
Nitratos	mg/L NHNO3	<= 10 mg/L	0.5	SI
Hierro total	mg/L F6 3+	<= 0.3 mg/L	0.09	SI
Aluminio residual	mg/L Al	<= 0.2 mg/L	0.174	SI
Cloro residual libre	mg/L Cl2	>=0.3<= 2.0	0	NO

Fuente: propia

RESULTADOS DE ANALISIS FÍSICO – QUIMICO PARA TECHO DE ZINC EN EL MES DE OCTUBRE							
PARÁMETROS MEDIDOS		EXIGIDO POR DECRETO 1575/2007	Sin tratamiento	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Sustancias flotantes		Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Olor		Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable
Sabor		Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable
Turbiedad	U.N.T.	<=2.0 U.N.T	0.97	0.90	0.85	0.42	0.92
Color	PL Co	<= 150 PL Co	3	3	2.8	1,4	2,7
pH	UN pH	>=6.5<= 9.0 UNI	6.6	6.6	6.5	6.5	6.6
Alcalinidad total	mg/L Ca Co3	<= 200 mg/L	18	16	15	10	16
Conductividad	ms/cm	<=1500 ms/cm	12	12	12	11	11
Acidez	mg/L Ca Co3	<= 50 mg/L	1	1	1	1	0,8
Dureza total	mg/L Ca Co3	<= 300 mg/L	6	6	6	5	4
Sulfatos	mg/L So4	<= 250 mg/L	0	0	0	0	0
Cloruros	mg/L Cl	<= 250 mg/L	3	3	3	2,5	2,8
Nitritos	mg/L NHNO2	<= 0.1 mg/L	0.016	0.016	0.014	0.000	0.006
Nitratos	mg/L NHNO3	<= 10 mg/L	0.3	0.3	0.27	0.3	0.21
Hierro total	mg/L F6 3+	<= 0.3 mg/L	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Aluminio residual	mg/L Al	<= 0.2 mg/L	0.031	0.031	0.031	0.033	0.30
Cloro residual libre	mg/L Cl2	>=0.3<= 2.0	0	0	0	0	0

Fuente: propia.

RESULTADOS DE ANALISIS FÍSICO – QUIMICO PARA TECHO DE ASBESTO EN EL MES DE OCTUBRE							
PARÁMETROS MEDIDOS		EXIGIDO POR DECRETO 1575/2007	Sin tratamiento	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Sustancias flotantes		Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Olor		Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable
Sabor		Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable
Turbiedad	U.N.T.	<=2.0 U.N.T	0.82	0.78	0.76	0.37	0.82
Color	PL Co	<= 150 PL Co	2	1.8	1.7	0.8	2
pH	UN pH	>=6.5<= 9.0 UNI	7.62	7.6	7.6	7.6	7.62
Alcalinidad total	mg/L Ca Co3	<= 200 mg/L	17	17	17	9	17
Conductividad	ms/cm	<=1500 ms/cm	52	52	52	45	52
Acidez	mg/L Ca Co3	<= 50 mg/L	1	1	1	1	1
Dureza total	mg/L Ca Co3	<= 300 mg/L	12	12	12	11	10
Sulfatos	mg/L So4	<= 250 mg/L	0	0	0	0	0
Cloruros	mg/L Cl	<= 250 mg/L	3.5	3.5	3.5	2.3	2.5
Nitritos	mg/L NHNO2	<= 0.1 mg/L	0.005	0.005	0.005	0.000	0.004
Nitratos	mg/L NHNO3	<= 10 mg/L	0.7	0.7	0.7	0.7	0.5
Hierro total	mg/L F6 3+	<= 0.3 mg/L	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Aluminio residual	mg/L Al	<= 0.2 mg/L	0.129	0.129	0.129	0.1	0.08
Cloro residual libre	mg/L Cl2	>=0.3<= 2.0	0	0	0	0	0

Fuente: propia.

RESULTADOS DE ANALISIS FÍSICO – QUIMICO PARA TECHO DE ZINC EN EL MES DE NOVIEMBRE							
PARÁMETROS MEDIDOS		EXIGIDO POR DECRETO 1575/2007	Sin tratamiento	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Sustancias flotantes		Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Olor		Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable
Sabor		Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable
Turbiedad	U.N.T.	<=2.0 U.N.T	1,95	1.8	1.85	0.4	1.1
Color	PL Co	<= 150 PL Co	6	7	8	3	5
pH	UN pH	>=6.5<= 9.0 UNI	6,93	6,85	6,9	6,98	7
Alcalinidad total	mg/L Ca Co3	<= 200 mg/L	25	23	25	18	22
Conductividad	ms/cm	<=1500 ms/cm	50	49	51	50	48
Acidez	mg/L Ca Co3	<= 50 mg/L	2	2	2	2	1,8
Dureza total	mg/L Ca Co3	<= 300 mg/L	23	21	21	23	24
Sulfatos	mg/L So4	<= 250 mg/L	2	2	2	0	1
Cloruros	mg/L Cl	<= 250 mg/L	3	2,8	2,9	3,3	2,9
Nitritos	mg/L NHNO2	<= 0.1 mg/L	0.004	0.003	0.035	0.045	0.035
Nitratos	mg/L NHNO3	<= 10 mg/L	0.5	0.5	0.7	0.5	0.4
Hierro total	mg/L F6 3+	<= 0.3 mg/L	0.02	0.03	0.04	0.01	0.15
Aluminio residual	mg/L Al	<= 0.2 mg/L	0.160	0.170	0.180	0.20	0.150
Cloro residual libre	mg/L Cl2	>=0.3<= 2.0	0	0	0	0	0

Fuente: propia.

ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO PARA TECHO DE ASBESTO EN EL MES DE NOVIEMBRE							
PARÁMETROS MEDIDOS		EXIGIDO POR DECRETO 1575/2007	Sin tratamiento	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Sustancias flotantes		Ausencia	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Olor		Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable
Sabor		Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable
Turbiedad	U.N.T.	<=2.0 U.N.T	1,18	0,95	1,08	0,25	0,78
Color	PL Co	<= 150 PL Co	3	4	5	1	2
pH	UN pH	>=6.5<= 9.0 UNI	6,85	6,83	6,84	6,93	6,95
Alcalinidad total	mg/L Ca Co3	<= 200 mg/L	23	22	26	19	20
Conductividad	ms/cm	<=1500 ms/cm	50	51	50	48	46
Acidez	mg/L Ca Co3	<= 50 mg/L	2	2,1	2,2	2	1,9
Dureza total	mg/L Ca Co3	<= 300 mg/L	21	23	23	22	21
Sulfatos	mg/L So4	<= 250 mg/L	2	3	4	0	2
Cloruros	mg/L Cl	<= 250 mg/L	3	2,9	2,9	3,1	2,8
Nitritos	mg/L NHNO2	<= 0.1 mg/L	0.004	0.004	0.0041	0.0039	0.0038
Nitratos	mg/L NHNO3	<= 10 mg/L	0,1	0,12	0,12	0,08	0,1
Hierro total	mg/L F6 3+	<= 0.3 mg/L	0,19	0,2	0,2	0,07	0,08
Aluminio residual	mg/L Al	<= 0.2 mg/L	0,16	0,14	0,14	0,12	0,13
Cloro residual libre	mg/L Cl2	>=0.3<= 2.0	0	0	0	0	0

Fuente: propia.

ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO PARA TECHO DE ZINC EN EL MES DE DICIEMBRE							
PARÁMETROS MEDIDOS		EXIGIDO POR DECRETO 1575/2007	Sin tratamiento	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Sustancias flotantes		Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Olor		Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable
Sabor		Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable
Turbiedad	U.N.T.	<=2.0 U.N.T	0.65	0.90	0.75	0.18	0.32
Color	PL Co	<= 150 PL Co	2.5	3.0	3.5	0.90	1.8
pH	UN pH	>=6.5<= 9.0 UNI	7.3	7.23	7.33	7.6	7.7
Alcalinidad total	mg/L Ca Co3	<= 200 mg/L	30	17	18	16	14
Conductividad	ms/cm	<=1500 ms/cm	64	63	62	64	62
Acidez	mg/L Ca Co3	<= 50 mg/L	2	2	2	1.8	2.1
Dureza total	mg/L Ca Co3	<= 300 mg/L	25	24	24	23	22
Sulfatos	mg/L So4	<= 250 mg/L	0.80	0.79	0.80	0.0	0.3
Cloruros	mg/L Cl	<= 250 mg/L	2.0	1.5	2.5	1.8	2.1
Nitritos	mg/L NHNO2	<= 0.1 mg/L	0.02	0.02	0.02	0.002	0.000
Nitratos	mg/L NHNO3	<= 10 mg/L	0.30	0.4	0.45	0.30	0.28
Hierro total	mg/L F6 3+	<= 0.3 mg/L	0.03	0.03	0.03	0.01	0.01
Aluminio residual	mg/L Al	<= 0.2 mg/L	0.047	0.047	0.05	0.055	0.06
Cloro residual libre	mg/L Cl2	>=0.3<= 2.0	0	0	0	0	0

Fuente: propia.

ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO PARA TECHO DE ASBESTO EN EL MES DE DICIEMBRE							
PARÁMETROS MEDIDOS		EXIGIDO POR DECRETO 1575/2007	Sin tratamiento	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4
Sustancias flotantes		Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Olor		Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable
Sabor		Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable	Aceptable
Turbiedad	U.N.T.	<=2.0 U.N.T	0.73	1.10	0.84	0.29	0.41
Color	PL Co	<= 150 PL Co	3.0	4.0	6.0	1.0	2.0
pH	UN pH	>=6.5<= 9.0 UNI	7.56	7.23	7.33	7.6	7.7
Alcalinidad total	mg/L Ca Co3	<= 200 mg/L	38	28	39	29	35
Conductividad	ms/cm	<=1500 ms/cm	75	74	77	77	73
Acidez	mg/L Ca Co3	<= 50 mg/L	4.0	4.0	4	4.0	4.2
Dureza total	mg/L Ca Co3	<= 300 mg/L	37	35	35	38	34
Sulfatos	mg/L So4	<= 250 mg/L	1.0	1.0	1.0	0.0	0.5
Cloruros	mg/L Cl	<= 250 mg/L	3.0	2.5	3.5	3.5	3.2
Nitritos	mg/L NHNO2	<= 0.1 mg/L	0.0000	0.0000	0.002	0.001	0.000
Nitratos	mg/L NHNO3	<= 10 mg/L	0.50	0.7	0.5	0.5	0.4
Hierro total	mg/L F6 3+	<= 0.3 mg/L	0.02	0.04	0.03	0.01	0.01
Aluminio residual	mg/L Al	<= 0.2 mg/L	0.087	0.086	0.093	0.143	0.120
Cloro residual libre	mg/L Cl2	>=0.3<= 2.0	0	0	0	0	0

Fuente: propia.

ANEXO 6: PRUEBAS DE LOS EFECTOS INTER-SUJETOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EVALUADOS

Origen	Parámetro	Suma de cuadrados tipo III	GI	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	Turbiedad	2,928	9	,325	2,095	,081
	Color	42,070	9	4,674	1,680	,160
	Ph	2,579	9	,287	,897	,546
	Alcalinidad total	455,633	9	50,626	,881	,557
	Conductividad	2160,167	9	240,019	,515	,846
	Acidez	3,996	9	,444	,324	,957
	Dureza Total	274,700	9	30,522	,239	,984
	Sulfatos	7,629	9	,848	,703	,699
	Cloruros	2,092	9	,232	,838	,591
	Nitritos	,001	9	,000	1,273	,310
	Nitratos	,112	9	,012	,236	,985
	Hierro Total	,020	9	,002	,576	,801
	Aluminio Residual	,032	9	,004	,574	,802
	Cloro residual	,000	9	,000	.	.
Intersección	Turbiedad	21,252	1	21,252	136,875	,000
	Color	287,680	1	287,680	103,371	,000
	pH	1500,678	1	1500,678	4696,273	,000
	Alcalinidad total	13610,700	1	13610,700	236,983	,000
	Conductividad	74500,833	1	74500,833	159,907	,000
	Acidez	119,600	1	119,600	87,193	,000
	Dureza Total	12120,300	1	12120,300	94,838	,000
	Sulfatos	19,505	1	19,505	16,181	,001
	Cloruros	239,701	1	239,701	864,308	,000
	Nitritos	,003	1	,003	19,979	,000
	Nitratos	4,905	1	4,905	92,843	,000
	Hierro Total	,066	1	,066	17,273	,000
	Aluminio Residual	,459	1	,459	74,246	,000
	Cloro residual	,000	1	,000	.	.
Techo	Turbiedad	,286	1	,286	1,843	,190
	Color	6,816	1	6,816	2,449	,133
	pH	1,895	1	1,895	5,930	,024
	Alcalinidad total	177,633	1	177,633	3,093	,094
	Conductividad	2133,633	1	2133,633	4,580	,045
	Acidez	3,960	1	3,960	2,887	,105
	Dureza Total	264,033	1	264,033	2,066	,166
	Sulfatos	,771	1	,771	,640	,433
	Cloruros	1,452	1	1,452	5,236	,033
	Nitritos	,001	1	,001	9,764	,005
	Nitratos	,017	1	,017	,318	,579
Hierro Total	,008	1	,008	2,086	,164	

	Aluminio Residual	,013	1	,013	2,074	,165
	Cloro residual	,000	1	,000	.	.
TTo	Turbiedad	2,554	4	,639	4,112	,014
	Color	34,811	4	8,703	3,127	,038
	pH	,539	4	,135	,422	,791
	Alcalinidad total	240,467	4	60,117	1,047	,408
	Conductividad	18,333	4	4,583	,010	1,000
	Acidez	,021	4	,005	,004	1,000
	Dureza Total	7,533	4	1,883	,015	1,000
	Sulfatos	6,332	4	1,583	1,313	,299
	Cloruros	,552	4	,138	,498	,738
	Nitritos	,000	4	,000	,246	,908
	Nitratos	,079	4	,020	,375	,824
	Hierro Total	,005	4	,001	,296	,877
	Aluminio Residual	,004	4	,001	,166	,953
	Cloro residual	,000	4	,000	.	.
Techo * TTo	Turbiedad	,088	4	,022	,141	,965
	Color	,442	4	,111	,040	,997
	pH	,145	4	,036	,113	,976
	Alcalinidad total	37,533	4	9,383	,163	,954
	Conductividad	8,200	4	2,050	,004	1,000
	Acidez	,015	4	,004	,003	1,000
	Dureza Total	3,133	4	,783	,006	1,000
	Sulfatos	,526	4	,132	,109	,978
	Cloruros	,088	4	,022	,079	,988
	Nitritos	,000	4	,000	,176	,948
	Nitratos	,016	4	,004	,076	,989
	Hierro Total	,007	4	,002	,479	,751
	Aluminio Residual	,015	4	,004	,607	,662
	Cloro residual	,000	4	,000	.	.
Error	Turbiedad	3,105	20	,155		
	Color	55,660	20	2,783		
	pH	6,391	20	,320		
	Alcalinidad total	1148,667	20	57,433		
	Conductividad	9318,000	20	465,900		
	Acidez	27,433	20	1,372		
	Dureza Total	2556,000	20	127,800		
	Sulfatos	24,109	20	1,205		
	Cloruros	5,547	20	,277		
	Nitritos	,003	20	,000		
	Nitratos	1,057	20	,053		
	Hierro Total	,077	20	,004		
	Aluminio Residual	,124	20	,006		
	Cloro residual	,000	20	,000		
Total	Turbiedad	27,286	30			

	Color	385,410	30			
	pH	1509,648	30			
	Alcalinidad total	15215,000	30			
	Conductividad	85979,000	30			
	Acidez	151,030	30			
	Dureza Total	14951,000	30			
	Sulfatos	51,244	30			
	Cloruros	247,340	30			
	Nitritos	,007	30			
	Nitratos	6,073	30			
	Hierro Total	,163	30			
	Aluminio Residual	,614	30			
	Cloro residual	,000	30			
Total corregida	Turbiedad	6,033	29			
	Color	97,730	29			
	pH	8,970	29			
	Alcalinidad total	1604,300	29			
	Conductividad	11478,167	29			
	Acidez	31,430	29			
	Dureza Total	2830,700	29			
	Sulfatos	31,739	29			
	Cloruros	7,639	29			
	Nitritos	,004	29			
	Nitratos	1,169	29			
	Hierro Total	,097	29			
	Aluminio Residual	,156	29			
	Cloro residual	,000	29			

Fuente: propia.

ANEXO 7. PRUEBAS POST ANOVA DE TUKEY, PARAMETROS TURBIEDAD Y COLOR

Variable dependiente	Tecnica Tto agua (i)	Tecnica Tto agua (j)	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
Turbiedad	Alt 1	Alt 2	0,05	0,21538	0,999	-0,5826	0,6826
		Alt 3	,75333*	0,21538	0,014	0,1208	1,3859
		Alt 4	0,34667	0,21538	0,505	-0,2859	0,9792
		Testigo	0	0,21538	1	-0,6326	0,6326
	Alt 2	Alt 1	-0,05	0,21538	0,999	-0,6826	0,5826
		Alt 3	,70333*	0,21538	0,024	0,0708	1,3359
		Alt 4	0,29667	0,21538	0,647	-0,3359	0,9292
		Testigo	-0,05	0,21538	0,999	-0,6826	0,5826
	Alt 3	Alt 1	-,75333*	0,21538	0,014	-1,3859	-0,1208
		Alt 2	-,70333*	0,21538	0,024	-1,3359	-0,0708
		Alt 4	-0,40667	0,21538	0,349	-1,0392	0,2259
		Testigo	-,75333*	0,21538	0,014	-1,3859	-0,1208
	Alt 4	Alt 1	-0,34667	0,21538	0,505	-0,9792	0,2859
		Alt 2	-0,29667	0,21538	0,647	-0,9292	0,3359
		Alt 3	0,40667	0,21538	0,349	-0,2259	1,0392
		Testigo	-0,34667	0,21538	0,505	-0,9792	0,2859
	Testigo	Alt 1	0	0,21538	1	-0,6326	0,6326
		Alt 2	0,05	0,21538	0,999	-0,5826	0,6826
		Alt 3	,75333*	0,21538	0,014	0,1208	1,3859
		Alt 4	0,34667	0,21538	0,505	-0,2859	0,9792
Color	Alt 1	Alt 2	-0,7	0,9159	0,938	-3,39	1,99
		Alt 3	2,45	0,9159	0,087	-0,24	5,14
		Alt 4	1,2167	0,9159	0,677	-1,473	3,907
		Testigo	0,55	0,9159	0,974	-2,14	3,24
	Alt 2	Alt 1	0,7	0,9159	0,938	-1,99	3,39
		Alt 3	3,1500*	0,9159	0,016	0,46	5,84
		Alt 4	1,9167	0,9159	0,254	-0,773	4,607
		Testigo	1,25	0,9159	0,655	-1,44	3,94
	Alt 3	Alt 1	-2,45	0,9159	0,087	-5,14	0,24
		Alt 2	-3,1500*	0,9159	0,016	-5,84	-0,46
		Alt 4	-1,2333	0,9159	0,666	-3,923	1,457
		Testigo	-1,9	0,9159	0,262	-4,59	0,79

	Alt 4	Alt 1	-1,2167	0,9159	0,677	-3,907	1,473
		Alt 2	-1,9167	0,9159	0,254	-4,607	0,773
		Alt 3	1,2333	0,9159	0,666	-1,457	3,923
		Testigo	-0,6667	0,9159	0,948	-3,357	2,023
	Testigo	Alt 1	-0,55	0,9159	0,974	-3,24	2,14
		Alt 2	-1,25	0,9159	0,655	-3,94	1,44
		Alt 3	1,9	0,9159	0,262	-0,79	4,59
		Alt 4	0,6667	0,9159	0,948	-2,023	3,357

*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.