



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos
Hidráulicos (ERIS)

**CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA (ALMACENAMIENTO Y CALIDAD), POR
MEDIO DE UN MÓDULO SANITARIO FAMILIAR DE RÁPIDA INSTALACIÓN**

Ing. Rolando David Aguilar Muñoz

Asesorado por el MSc. Ing. Joram Matías Gil Larroj

Guatemala, marzo 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA (ALMACENAMIENTO Y CALIDAD), POR
MEDIO DE UN MÓDULO SANITARIO FAMILIAR DE RÁPIDA INSTALACIÓN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y
RECURSO HIDRÁULICOS (ERIS)

POR

ING. ROLANDO DAVID AGUILAR MUÑOZ

ASESORADO POR EL MSC. ING. JORAM MATÍAS GIL LAROJ

COMO REQUISITO PREVIO PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE

MAESTRO (MAGISTER SCIENTIFICAE) EN INGENIERÍA SANITARIA

GUATEMALA, MARZO DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgén Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**DIRECTOR DE LA ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y
RECURSOS HIDRÁULICOS**

MSc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE ESTUDIO ESPECIAL

EXAMINADOR	MSc. Ing. Joram Matías Gil Laroj
EXAMINADOR	MSc. Ing. Zenón Much Santos
EXAMINADOR	Dr. Ing. Adán Pocasangre Collazos

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA (ALMACENAMIENTO Y CALIDAD), POR MEDIO DE UN MÓDULO SANITARIO FAMILIAR DE RÁPIDA INSTALACIÓN

Tema que me fuera asignado por la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, con fecha 15 de agosto 2011.



Ing. Rolando David Aguilar Muñoz

Correo electrónico: r.dam07@gmail.com

Carné: 1653 82287 0108

Registro universitario: 1000 22011

Guatemala 17 de marzo de 2017

Dr. Ing. Adán Pocasangre
Coordinador de la Maestría en Ingeniería Sanitaria
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos
Hidráulicos "ERIS"
Facultad de Ingeniería, USAC

UNIVERSIDAD DE
SAN CARLOS DE GUATEMALA



Facultad de Ingeniería
Escuela Regional de Ingeniería
Sanitaria y Recursos Hidráulicos
ERIS

Respetuosamente me dirijo a usted, y le comunico que he revisado, en mi calidad de Asesor, el documento de Estudio Especial titulado:

Captación de agua de lluvia (almacenamiento y calidad), por medio de un Módulo Sanitario Familiar de Rápida Instalación

Presentado por el estudiante de la maestría antes mencionada,

Ingeniero Civil Rolando David Aguilar Muñoz

Le manifiesto que el estudiante cumplió en forma satisfactoria con los requisitos establecidos por la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos – ERIS- y la Universidad de San Carlos de Guatemala, en la realización de su estudio.



Edificio de ERIS
Área de prefabricados Facultad de
Ingeniería
Ciudad Universitaria zona 12
Ciudad de Guatemala 01012
Guatemala, C.A.

Tel. (502) 2418 8000,
Fxf 86213 v 86212

Agradeciendo la atención a la presente, se suscribe de
ustedes,

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

M. Sc. Ing. Joram Matias Gil Laroj
Asesor del estudio

Guatemala 02 de mayo de 2017

Señores
Comisión de Admisión y Otorgamiento de grado
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos
Hidráulicos "ERIS"
Facultad de Ingeniería, USAC

UNIVERSIDAD DE
SAN CARLOS DE GUATEMALA



Facultad de Ingeniería
Escuela Regional de Ingeniería
Sanitaria y Recursos Hidráulicos
ERIS

Respetuosamente les comunico que he revisado, en mi
calidad Coordinador de la Maestría en Ingeniería Sanitaria, el
documento de Estudio Especial titulado:

**Captación de agua de lluvia (almacenamiento y calidad), por
medio de un Módulo Sanitario Familiar de Rápida Instalación**

Presentado por el estudiante de la maestría antes
mencionada,

Ingeniero Civil Rolando David Aguilar Muñoz

Les manifiesto que el estudiante cumplió en forma
satisfactoria con los requisitos establecidos por la Escuela
Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos –
ERIS- y la Universidad de San Carlos de Guatemala, en la
realización de su estudio.



Edificio de ERIS
Área de prefabricados Facultad de
Ingeniería
Ciudad Universitaria zona 12
Ciudad de Guatemala 01012
Guatemala, C.A.

Tel. (502) 2418 8000.
Fxt 86213 v 86212

Agradeciendo la atención a la presente, se suscribe de
ustedes,

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Dr. Ing. Adán Ernesto Artemio Pocasangre Collazos
Coordinador de la Maestría en Ingeniería Sanitaria

Dr. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos
Coordinador Maestría Ingeniería Sanitaria
ERIS / USAC

Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y
Recursos Hidráulicos
ERIS

UNIVERSIDAD DE
SAN CARLOS DE GUATEMALA



Facultad de Ingeniería
Escuela Regional de Ingeniería
Sanitaria y Recursos Hidráulicos
ERIS

El Director de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos –ERIS- después de conocer el dictamen del tribunal examinador integrado por los profesores siguientes: M. Sc. Ing. Joram Matías Gil Laroj, Dr. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos y Msc. Ing. Zenón Much Santos, así como el visto bueno del Coordinador de la Maestría en Ingeniería Sanitaria Dr. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos y la revisión de lingüística efectuada por la Licenciada En La Enseñanza Del Idioma Español y La Literatura Jessica Edith Melgarejo Monterroso colegiada No. 27,003, del trabajo del estudiante Ing. Rolando David Aguilar Muñoz, titulado:

Captación de agua de lluvia (almacenamiento y calidad), por medio de un Módulo Sanitario Familiar de Rápida Instalación

En representación de la comisión de admisión y otorgamiento de grado, procede a la autorización del mismo.

Guatemala, 04 de mayo de 2017

IMPRÍMASE

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



MSc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis
DIRECTOR

**Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos
Hidráulicos**



ESCUELA REGIONAL DE INGENIERIA SANITARIA
Y RECURSOS HIDRAULICOS - ERIS -
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA - USAC -

Edificio de ERIS
Área de prefabricados Facultad de
Ingeniería
Ciudad Universitaria zona 12
Ciudad de Guatemala 01012
Guatemala, C.A.

Tel. (502) 2418 8000,
Ext 86213 v 86212

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Porque eres el único merecedor de todo Padre Santo. Porque eres quien da todo el conocimiento, sabiduría y habilidades para ejercerlo, y la fuerza que se necesita para llevar a cabo todas las cosas que logra hacer el hombre en la Tierra. A Ti toda la gloria.

AGRADECIMIENTOS A:

- Dios** Gracias Padre por tu guía y fuerzas, gracias por todo.
- Mi esposa** Gracias a ti, mi esposa Rocío, mujer virtuosa, ayuda idónea de Dios. Gracias por tu valiosa ayuda en la realización de este estudio y por tu incondicional apoyo en todo.
- Padres y hermanos** Madre, gracias por su ejemplo de superación y valentía, gracias por el sentido de excelencia que siempre inculcó en mí. Padre, gracias por el ejemplo de orden y disciplina, gracias por su apoyo en toda mi carrera de estudios. Hermanos, gracias por formar parte de mi vida, y por ser mis compañeros de crecimiento y aprendizaje en el hogar. A todos, con sincero amor.
- Mis amigos** Gracias a mis compañeros y amigos por la amistad y todo lo compartido durante estos años de carrera estudiantil.
- Mis maestros** Gracias por todo el conocimiento transmitido en cada una de las asignaciones. Gracias por dedicar su vida para contribuir en la enseñanza y conformar así parte del equipo de maestros que contribuyen a construir profesionales que aporten para una mejor sociedad.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN.....	XI
INTRODUCCIÓN	XIII
OBJETIVOS.....	XV
HIPÓTESIS.....	XVII
ANTECEDENTES.....	XIX
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XXIII
JUSTIFICACIÓN Y BENEFICIOS.....	XXV
ALCANCES Y LIMITACIONES.....	XXVII
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Características climatológicas del lugar.....	1
1.1.1. Clima	1
1.2. El agua	3
1.3. Calidad del agua.....	4
1.3.1. Agua de lluvia en Guatemala.....	4
1.3.2. Impacto de la composición atmosférica.....	4
1.3.3. Lluvia ácida.....	4
1.3.4. Parámetros de calidad para evaluar el agua de lluvia.....	6
1.3.4.1. Hierro y manganeso	6
1.3.4.2. Turbiedad.....	7
1.3.4.3. Conductividad.....	8
1.3.4.4. Color	8

1.3.4.5.	Potencial de hidrógeno (pH) – acidez – alcalinidad	9
1.3.4.6.	Dureza.....	10
1.3.4.7.	Nitratos y nitritos.....	11
1.3.4.8.	Sólidos.....	13
1.3.4.8.1	Sólidos totales	13
1.3.4.8.2.	Sólidos sedimentables ...	14
1.3.4.8.3.	Sólidos suspendidos	14
1.3.4.8.4.	Sólidos disueltos totales..	14
1.3.4.9.	Sulfatos	14
1.3.4.10.	Temperatura.....	15
1.3.4.11.	Grupo coliforme.....	16
2.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	17
2.1.	Almacenamiento	17
2.1.1.	Cálculo de volumen de tanque de almacenamiento	17
2.1.2.	Cálculo de área de captación de agua de lluvia	18
2.1.3.	Dimensión de área de captación y tanque de almacenamiento de MOSAFARI instalado en Planta Piloto de la ERIS, Arturo Pazos.....	20
2.2.	Calidad.....	23
2.2.1.	Muestreo y análisis Inicial.....	23
2.3.	Reporte del muestreo y análisis inicial	27
2.3.1.	Análisis fisicoquímico	27
2.3.2.	Análisis bacteriológico	27
2.4.	Descripción del área de estudio	29
2.4.1.	Preparación y limpieza del MOSAFARI para la realización del estudio	29
2.5.	Muestra testigo.....	32

2.6.	Metodología del cálculo del número de muestras a analizar ...	35
3.	RESULTADOS	37
4.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	39
4.1.	Interpretación de resultados del hierro y manganeso.....	39
4.1.1.	Análisis gráfico del hierro y manganeso	40
4.2.	Interpretación de resultados de turbiedad	41
4.2.1.	Análisis gráfico de turbiedad.....	43
4.3.	Interpretación de resultados de conductividad	43
4.3.1.	Análisis gráfico de conductividad.....	45
4.4.	Interpretación de resultados de pH y alcalinidad	45
4.4.1.	Análisis gráfico de pH y alcalinidad	47
4.5.	Interpretación de resultados del color.....	48
4.5.1.	Análisis gráfico del color	49
4.6.	Interpretación de resultados de la dureza.....	49
4.6.1.	Análisis gráfico de la dureza	50
4.7.	Interpretación de resultados de nitratos y nitritos	51
4.7.1.	Análisis gráfico de nitratos y nitritos.....	52
4.8.	Interpretación de resultados de sólidos disueltos totales	53
4.8.1.	Análisis gráfico de sólidos disueltos totales.....	55
4.9.	Interpretación de resultados de sulfatos	55
4.9.1.	Análisis gráfico de sulfatos	56
4.10.	Interpretación de resultados de temperatura.....	57
4.10.1.	Análisis gráfico de resultados de temperatura	58
4.11.	Interpretación de resultados de coliformes fecales y totales ...	58
4.11.1.	Análisis gráfico de coliformes fecales y totales.....	59

5.	MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	61
5.1.	Relación entre la ubicación y el mantenimiento	61
5.2.	Puesta en marcha	63
5.2.1.	Limpieza de las áreas de captación	64
5.2.2.	Limpieza tanque de almacenamiento	65
5.2.3.	Dispositivo de primeras lluvias	65
5.2.4.	Inspección preliminar	66
5.2.5.	Prueba de hidráulica	66
5.3.	Operación normal.....	66
5.3.1.	Actividades rutinarias en las áreas de captación.....	66
5.3.2.	Actividades rutinarias en el tanque de almacenamiento	67
5.3.3.	Dispositivo primeras lluvias	67
	CONCLUSIONES.....	69
	RECOMENDACIONES	73
	BIBLIOGRAFÍA.....	75
	APÉNDICES.....	77
	ANEXOS.....	93

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Módulo Sanitario Familiar de Rápida Instalación (MOSAFARI)	XXI
2.	Punto de toma de muestra	24
3.	Condición inicial del tanque de almacenamiento y canaleta de recolección	24
4.	Equipo utilizado para toma de muestras y mediciones <i>in situ</i>	25
5.	Equipo utilizado para la medición de parámetros <i>in situ</i>	25
6.	Equipo utilizado para el examen fisicoquímico	26
7.	Examen bacteriológico por medio de tubos múltiples de fermentación ..	26
8.	Limpieza del tanque de almacenamiento	29
9.	Limpieza del canal de captación	30
10.	Canaleta de recolección después de la limpieza.....	31
11.	Tanque de almacenamiento después de la limpieza.....	31
12.	Hierro.....	40
13.	Manganeso.....	41
14.	Turbiedad	43
15.	Conductividad.....	45
16.	PH	47
17.	Alcalinidad	47
18.	Color.....	49
19.	Dureza.....	50
20.	Nitratos	52
21.	Nitritos	53
22.	Sólidos disueltos totales	55

23.	Sulfatos	56
24.	Temperatura	58
25.	Coliformes fecales	59
26.	Coliformes totales	60
27.	Mecanismo de protección de canaleta.....	62
28.	Distancia mínima recomendada.....	63
29.	Limpieza en zona de captación y canaleta	64
30.	Limpieza en tanque de almacenamiento.....	65

TABLAS

I.	Parámetros climáticos promedio de ciudad de Guatemala	2
II.	Coeficientes de escurrimiento superficial.....	20
III.	Resultado de análisis fisicoquímico	27
IV.	Resultados de análisis bacteriológico	28
V.	Fechas de toma de muestras.....	32
VI.	Fechas de toma de muestras testigo	33
VII.	Promedio del resultado de muestras de lluvia, esorrentía y drenaje pluvial.	34
VIII.	Resultados fisicoquímicos y microbiológicos	37

GLOSARIO

Agua de lluvia	Se le denomina así a la precipitación de partículas líquidas de agua, de diámetro mayor de 0.5 mm o de gotas menores, pero muy dispersas que alcanzan la superficie terrestre.
Calidad del agua	Conjunto de propiedades inherentes al agua que permiten caracterizarla y valorarla con respecto al uso que se le destine.
Agua apta para consumo humano	Aquella que, por sus características organolépticas, físicas, químicas y bacteriológicas, no representa un riesgo para la salud del consumidor y cumple con lo establecido en la norma COGUANOR 29001.
MOSAFARI	Módulo Sanitario Familiar de Rápida Instalación (MOSAFARI), este incluye un sistema de captación de agua de lluvia, filtro casero, lavadero, ducha, urinario, bombas manuales y sanitario ecológico.
Sistemas de captación	Cualquier tipo de ingenio para la recolección y almacenamiento de agua de lluvia, y cuya viabilidad técnica y económica depende de la pluviosidad de la zona de captación y del uso que se le dé al agua recogida.

Manual de operación y mantenimiento	Documento indispensable que contempla los procedimientos de trabajo y control de un sistema, para la conservación o protección de sus componentes y equipos, especialmente las medidas que garantizan su eficiencia y bajo costo de operación, así como las acciones a llevar a cabo en escenarios de puesta en marcha inicial, operación especial o eventual y operación de emergencia, incluyendo el escenario de operación normal.
COGUANOR 29 001	Esta norma establece los valores de las características que definen la calidad del agua apta para consumo humano.
Parámetros Fisicoquímicos	Sustancias disueltas en el agua que le confieren propiedades de tipo físico y químico que la califican y caracterizan.
Parámetros Microbiológicos	Son los microorganismos indicadores de contaminación patógena para el ser humano analizados en el agua de consumo humano.
LMP	El Límite Máximo Permisible es el valor de la concentración de cualquier característica del agua, arriba de la cual el agua no es adecuada para consumo humano.

LMA

El Límite Máximo Aceptable es el valor de la concentración de cualquier característica del agua, arriba de la cual estas características son percibidas por los consumidores desde el punto de vista sensorial, pero sin que implique un daño a la salud del consumidor.

RESUMEN

La investigación está orientada a determinar si la calidad del agua de lluvia que proporciona el MOSAFARI cumple con lo establecido por COGUANOR 29 001, tanto en las condiciones sin mantenimiento, como en una rutina dentro de los lineamientos de operación y mantenimiento pertinentes a dicho módulo.

El desarrollo del módulo fue llevado a cabo por OPS/OMS y se ha instalado, con éxito, en áreas rurales de otros países, como México y Bolivia. En función del convenio de cooperación entre OPS/OMS y la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS) de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC), se implementa un centro de innovación y desarrollo de tecnologías alternativas (CIDETA). En tal virtud, desde el mes de julio del año 2011, como parte de sus actividades, se inicia el proceso de transferencia tecnológica para la instalación de tres MOSAFARI en las instalaciones de la planta piloto de aguas residuales de la ERIS.

Se evaluó la calidad del agua de lluvia captada y almacenada por el módulo, antes de las demás etapas de tratamiento que lo componen, como lo son el filtro de arena y la etapa de desinfección. Para dicha evaluación, se tomaron algunas muestras para someterlas a análisis fisicoquímico y microbiológico, en función de la norma COGUANOR 29 001.

La evaluación evidenció que el agua sí cumple cuando se llevan a cabo las actividades de limpieza establecidas en el manual de operación y mantenimiento, ya que, al abandonar dichas actividades de limpieza, algunos parámetros se empiezan a elevar y superan los límites establecidos en la norma COGUANOR 29 001.

INTRODUCCIÓN

La OMS afirma que la salud es un derecho fundamental para todo ser humano. Este derecho incluye el acceso a los servicios básicos, como el agua para consumo humano y saneamiento. Este derecho se cumple en mayor medida en los países desarrollados, y los mayores niveles de insalubridad se dan en los países en vías de desarrollo.

En Guatemala, así como en otros países con similares condiciones, existen zonas rurales vulnerables y marginadas; que padecen problemas sanitarios significativos.

En respuesta a lo anterior, la OPS/OMS desarrolla una tecnología cuya finalidad es dar una alternativa a estas comunidades. El propósito es que, con materiales accesibles, se pueda implementar un módulo sanitario familiar de rápida instalación (MOSAFARI) que provee los servicios básicos, necesarios para la salud de las personas. Entre ellos están la producción de agua para consumo humano por medio de la captación de agua de lluvia, y saneamiento.

El presente estudio especial tiene como objetivo evaluar la generación y calidad del agua de lluvia captada por medio de un MOSAFARI diseñado para abastecer de agua sanitariamente segura para consumo humano y otros usos en la comunidad afectada. De esta forma se satisface la necesidad y se cumple con el derecho mencionado.

Para dicho fin se establecen los criterios de evaluación para los componentes de captación y almacenamiento de agua de lluvia en función de las características que el lugar de instalación aporta al agua. Para este estudio se toma el sistema instalado en la Planta Piloto de la ERIS en zona 13 de la ciudad capital.

OBJETIVOS

General

Realizar el estudio de la calidad del agua de lluvia almacenada en un Módulo Sanitario Familiar de Rápida Instalación para consumo humano y otros usos que requieran calidad de agua potable.

Específicos

1. Evaluar la calidad de agua de lluvia almacenada en un MOSAFARI ubicado en la Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales Aurora II “Ing. Arturo Pazos”. Para ello, se determina si es apta para consumo humano y otros usos que requieran calidad de agua potable, en función de sus parámetros físicos, químicos y microbiológicos.
2. Recomendar medidas por implementar en las etapas que se evaluarán (captación y almacenamiento) para mejorar la calidad del agua de lluvia cruda.
3. Realizar el manual de operación y mantenimiento de los elementos de captación y almacenamiento del MOSAFARI que garantice la calidad del agua para consumo humano y otros usos que requieran calidad de agua potable.

HIPÓTESIS

El aprovechamiento del agua de lluvia, como fuente de abastecimiento para consumo humano y otros usos que requieran calidad de agua potable por medio de la instalación y buenas prácticas a través del Módulo Sanitario Familiar de Rápida Instalación; cumple con la Norma Coguanor 29 001 para Guatemala.

ANTECEDENTES

El agua: elemento de vida

Se conoce que el agua es un elemento indispensable para la vida ya que es un compuesto que forma parte de los seres vivos. Por eso, se puede decir que la vida solo es posible en un medio con agua en estado líquido, y que los seres humanos dependen del agua para su desarrollo y para realizar múltiples actividades.

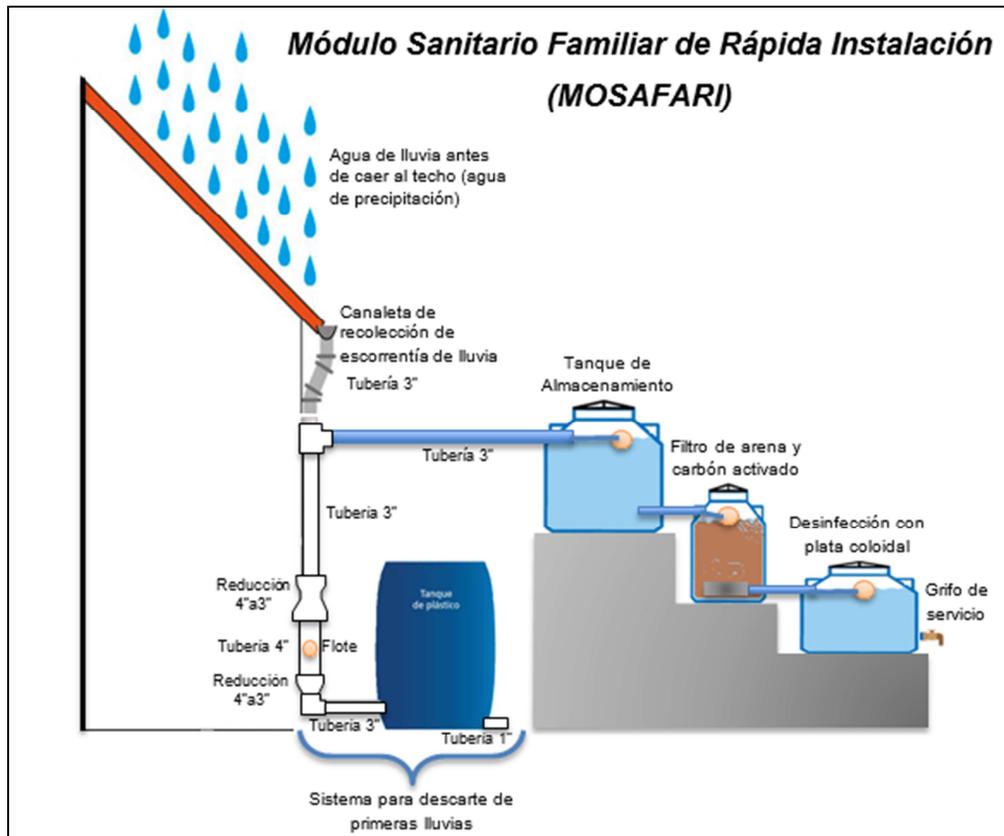
El agua: disponibilidad en zonas rurales vulnerables y marginadas

La OMS afirma que la salud es un derecho fundamental para todo ser humano. Este derecho incluye el acceso a los servicios básicos, como el agua para consumo humano y saneamiento. Los países desarrollados cumplen con este derecho en mayor medida, mientras que los niveles de insalubridad más altos se localizan en los países en vías de desarrollo. Así mismo, este Organismo recomienda una dotación mínima de 20 litros al día por habitante, los cuales cubren la necesidad de agua para beber y cocinar únicamente.

Es sabido que en Guatemala existen zonas rurales marginadas donde todos, o la mayoría de los servicios básicos, son inexistentes, incluyendo los sistemas de abastecimiento de agua para uso y consumo humano. En respuesta, OPS desarrolló un Módulo Sanitario Familiar de Rápida Instalación (MOSAFARI) como alternativa para que las comunidades que habitan dichas zonas se puedan abastecer de agua sanitariamente segura por medio de captación, filtración, y desinfección del agua de lluvia.

Como resultado del desarrollo del MOSAFARI por medio de OPS se logró la instalación de una unidad piloto en la Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales Aurora II “Ing. Arturo Pazos”, en la ciudad de Guatemala. Esta unidad consta de captación por medio de techos de letrina hacia un depósito elevado de agua cruda, un barril con lecho filtrante y otro depósito de agua filtrada y desinfectada lista para consumo.

Figura 1. **Módulo Sanitario Familiar de Rápida Instalación (MOSAFARI)**



Fuente: Organización Panamericana de la Salud (OPS)

Se demostró por medio del Estudio Especial "Evaluación de la Calidad del Agua de Lluvia e Infraestructura de Cisternas Rurales, para Diferentes Usos" (Flores, Auseda) que la mayoría de los sistemas de captación de agua de lluvia en abastecimiento para consumo humano son ineficientes, ya que producen agua no apta para consumo humano en función de la norma Coganor 29 001.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La disponibilidad de agua para consumo humano en zonas rurales marginadas es sumamente limitada o nula. Es evidente que, por lo general, no hay sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano. Por esta razón es necesario aprovechar fuentes de agua, como la de lluvia por medio de un MOSAFARI, tomando en cuenta que el agua, en su estado natural, tiene ciertas características físicas, químicas y microbiológicas que se deben de considerar en sus diferentes usos para garantizar buena calidad.

El MOSAFARI tiene como función proveer de agua y de infraestructura para que las personas realicen sus actividades de higiene de forma digna y sanitariamente segura. Sin embargo, según el Estudio Especial "Evaluación de la Calidad del Agua de Lluvia e Infraestructura de Cisternas Rurales, para Diferentes Usos" la mayoría de los sistemas de agua de lluvia no llenan los requisitos, ya que producen agua no apta para consumo humano en función de la norma Coguanor 29 001. Con base en lo anterior la mayoría de personas dudan de que la calidad del agua de lluvia sea apta para su consumo e higiene personal.

Con la finalidad de argumentar lo anterior se hizo un análisis inicial de la calidad del agua de lluvia captada y almacenada por el MOSAFARI que se encuentra instalado en la planta piloto de la ERIS.

Por lo anterior, este estudio pretende responder la siguiente interrogante ¿Bajo qué condiciones es posible que la captación y el manejo adecuado mejoren la calidad del agua de lluvia para consumo humano y otros usos?

JUSTIFICACIÓN Y BENEFICIOS

El agua es un elemento indispensable para el bienestar de la población y de su calidad dependen los diferentes usos y necesidades que se satisfagan. En tal sentido, es necesario conocer sus parámetros físicos, químicos y microbiológicos, para garantizar a los usuarios que la calidad del agua de lluvia que resulta del MOSAFARI es adecuada para consumo humano.

Para garantizar a los usuarios de este proyecto el abastecimiento de agua de buena calidad, el MOSAFARI, luego de la captación y almacenamiento, cuenta con un filtro de arena, grava y carbón, en el cual es necesario evaluar el grado de remoción en cuanto a los parámetros físicos, químicos y microbiológicos, en función de las normas establecidas para los diferentes usos del agua. También cuenta con desinfección por medio de plata coloidal en la unidad de almacenamiento para garantizar su óptima calidad.

El almacenamiento es un factor importante ya que durante ese tiempo la calidad del agua se puede ver afectada. Por ello, es necesario evaluar los otros componentes del MOSAFARI. Se debe revisar el funcionamiento y estado físico actual de techos de captación, canales de conducción, recipientes de almacenamiento; de acuerdo con los diferentes modelos existentes y la calidad de los materiales utilizados en su construcción.

El estudio se lleva a cabo en el modelo piloto, específicamente, sobre los componentes de áreas de captación, canaletas de recolección, y tanque de almacenamiento.

La ubicación donde se instale el sistema impacta directamente en la calidad inicial del agua por captar. Entre los factores que pueden influir en esta calidad inicial del agua de lluvia están la contaminación atmosférica, si es zona abierta o bajo densidad arbolosa, entre otros. En este estudio se consideran las condiciones presentes en Aurora II (árboles, sombra, zona 13, ciudad Guatemala).

ALCANCES Y LIMITACIONES

1. La investigación se enfocó en la evaluación de los componentes de captación y almacenamiento del módulo sanitario familiar de rápida instalación ubicado en la Planta Piloto de Tratamiento de Aguas Residuales Aurora II “Ing. Arturo Pazos”, zona 13 de la ciudad capital de Guatemala.
2. Uno de los factores a los que está sujeta la calidad del agua de lluvia son los compuestos presentes en la atmósfera al momento de su precipitación; sin embargo, en este estudio no fue realizado un análisis de precipitación de agua de lluvia, sino solo de esorrentía de los techos y canaletas. Es importante la consideración de las variables específicas del lugar que aporten cambios a la naturaleza de la atmósfera, como el desarrollo de la zona, que está relacionado con la densidad vehicular y funcionamiento de industrias, colindancias inmediatas del módulo, como pueden ser zonas con árboles y presencia de aves, zonas donde prolifere el levantamiento de partículas al ambiente, como volcanes o zonas arenosas cercanas.

En el caso específico del MOSAFARI instalado en la planta piloto de ERIS/USAC, se evaluarán las variables correspondientes a dicha zona, como el hecho de estar dentro de una zona urbana, que el módulo esté instalado directamente bajo árboles, presencia de aves y zonas con polvo.

3. Los resultados de los análisis de laboratorio del agua de lluvia resultante de los componentes de captación y almacenamiento del MOSAFARI serán comparados contra la norma Coguanor 29 001, que establece los valores en los que se deben encontrar los parámetros contaminantes del agua para que sea apta para consumo humano y otros usos.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Características climatológicas del lugar

La ciudad de Guatemala está ubicada en el valle de la Ermita con alturas que varían entre los 1500-1600 (msnm) posee temperaturas muy suaves entre los 12 y 28 °C.

- Altitud: 1.500 metros
- Latitud: 14º 37' 15" N
- Longitud: 90º 31' 36" O
- Extensión: 996km.

1.1.1. Clima

A pesar de su ubicación en los trópicos, debido a su gran elevación sobre el nivel del mar, la ciudad de Guatemala goza de un clima subtropical de tierras altas. El clima en la ciudad de Guatemala es, generalmente, muy suave, casi primaveral, a lo largo del año. La temporada de lluvias se extiende de mayo a noviembre mientras que la estación seca abarca el resto del año. En esta ciudad también tiende a soplar mucho viento, lo que puede reducir la temperatura aún más evidente y favorecer el arrastre de partículas en la atmósfera de una zona a otra.

La ciudad de Guatemala es la capital más fría y más alta de toda Centroamérica. Durante los meses fríos, entre noviembre y febrero, las temperaturas mínimas pueden llegar hasta los 3 °C y las máximas no sobrepasar los 20 °C. Su temperatura media anual es de 19 °C. En el invierno, de diciembre a abril, tienen temperaturas que oscilan entre 21 y 5 °C. Los veranos van de junio a septiembre con temperaturas que oscilan entre 25 y 16 °C, la temperatura más baja históricamente es 0 °C. La humedad relativa media mañana: 84%, por la noche la humedad relativa: 64%. El Promedio de Punto de rocío es de 12 °C.

Tabla I. **Parámetros climáticos promedio de ciudad de Guatemala**

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Temp. máx. abs. (°C)	30.0	32.1	32.0	33.9	33.9	31.2	29.1	30.2	29.8	28.6	29.9	28.8	33.9
Temp. máx. media (°C)	24.3	25.8	26.8	27.8	27.1	25.8	25.4	25.5	25.1	24.7	24.2	23.9	25.5
Temp. media (°C)	17.9	19.0	19.8	20.9	21.0	20.3	20.3	20.4	19.7	19.6	18.6	18.2	19.6
Temp. mín. media (°C)	13.2	13.6	14.6	16.0	16.8	16.8	16.3	16.5	16.4	16.0	14.7	13.7	15.4
Temp. mín. abs. (°C)	6.0	7.8	8.4	8.6	12.3	11.2	12.1	13.5	13.0	11.4	9.4	7.6	6.0
Precipitación total (mm)	2.8	5.4	6.0	31.0	128.9	271.8	202.6	202.7	236.6	131.6	48.8	6.6	1274.7
Días de precipitaciones (≥ 1 mm)	1.68	1.45	2.00	4.73	12.36	21.14	18.59	19.04	20.82	14.59	6.18	2.64	125.2
Horas de sol	248.43	236.24	245.64	237.94	184.37	155.26	183.35	191.84	159.01	178.00	211.73	209.16	2441.16
Humedad relativa (%)	74.32	73.45	73.23	74.33	77.36	82.41	80.82	80.95	84.50	82.00	79.27	76.05	77.77

Fuente: INSIVUMEH. www.insivumeh.gov.gt. Consulta: junio 2011.

1.2. El agua

Este líquido, en la naturaleza se encuentra de diferentes formas y a su movimiento dentro de nuestro planeta se le denomina ciclo hidrológico. Este ciclo no tiene principio ni fin, pero el concepto del ciclo se origina en los océanos.

La energía del sol transporta el agua de los océanos hacia la atmósfera por evaporación. El vapor del agua se eleva y, luego, se aglomera formando nubes. Bajo ciertas condiciones, la humedad contenida en las nubes se condensa y se precipita a la tierra en diferentes formas, como la lluvia, granizo o nieve. Parte de esta precipitación es captada por las cuencas y escurre sobre la superficie de la tierra llegando a los ríos, lagos y océano.

Otra parte del agua captada se infiltra en el suelo y queda atrapada en las raíces de las plantas y, posteriormente, vuelve a la atmósfera por medio de la evapotranspiración, otra parte infiltra en el suelo y llega hasta los depósitos subterráneos, donde se desplaza y puede volver a reaparecer en la superficie del suelo en forma de manantiales o nacimientos. Así, pues, el ciclo hidrológico constituye un sistema mediante el cual la Naturaleza hace recircular el agua desde los océanos. (Manual UNICEF)

1.3. Calidad del agua

1.3.1. Agua de lluvia en Guatemala

Guatemala es región tropical, y la presencia de agua de lluvia se hace notar cada año, por lo que es pertinente considerar su utilización para cubrir las necesidades en las zonas rurales vulnerables y marginales donde aún no han llegado los servicios sanitarios básicos.

1.3.2. Impacto de la composición atmosférica

La atmósfera de la tierra está compuesta de diversos tipos de gases, unos que están presentes por naturaleza, y otros a causa de las actividades humanas que se llevan a cabo en las urbanizaciones, como las emisiones por la actividad vehicular y actividad industrial.

1.3.3. Lluvia ácida

El concepto de precipitación ácida engloba cualquier forma de precipitación que presente elevadas concentraciones de ácido sulfúrico y nítrico. La capa vegetal en descomposición y los volcanes en erupción liberan algunos químicos a la atmósfera que pueden originar lluvia ácida, pero la mayor parte de estas precipitaciones son el resultado de la acción humana. El mayor culpable de este fenómeno es la quema de combustibles fósiles procedentes de plantas de carbón generadoras de electricidad, las fábricas y los escapes de automóviles.

Cuando el ser humano quema combustibles fósiles, libera dióxido de azufre (SO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x) a la atmósfera. Estos gases químicos reaccionan con el agua, el oxígeno y otras sustancias para formar soluciones diluidas de ácido nítrico y sulfúrico. Los vientos propagan estas soluciones acídicas en la atmósfera a través de cientos de kilómetros.

Durante las precipitaciones, todo sistema de captación de agua de lluvia se verá afectado. Por ello, es importante prever mecanismos que permitan descartar las primeras lluvias. De esta manera, se disminuyen los efectos de la primera precipitación; considerando que estas lluvias son las que mayor concentración de ácidos contienen.

La única forma de luchar contra la lluvia ácida es reducir las emisiones de los contaminantes que la originan. Esto significa disminuir el consumo de combustibles fósiles. Muchos gobiernos han intentado frenar las emisiones mediante la limpieza de chimeneas industriales y la promoción de combustibles alternativos.

El ser humano puede prevenir la lluvia ácida mediante el ahorro de energía. Tanta menos electricidad se consume en los hogares, menos químicos emitirán las centrales. Los automóviles también consumen ingentes cantidades de combustible fósil, por lo que los motoristas pueden reducir las emisiones nocivas al usar el transporte público, vehículos con alta ocupación, bicicletas o caminar siempre que sea posible. (National Geographic)

1.3.4. Parámetros de calidad para evaluar el agua de lluvia

1.3.4.1. Hierro y manganeso

Estos parámetros existen en suelos y minerales. “El hierro se presenta, principalmente, como óxido férrico y sulfuro de hierro, algunas veces como carbonato ferroso, y el manganeso como dióxido de manganeso.”¹ Tanto el hierro como el manganeso son parámetros que pueden ocasionar problemas diversos si sus niveles no son controlados dentro de los límites máximos permisibles.

“Normalmente, los niveles de estos parámetros son más elevados en aguas subterráneas, en aguas provenientes del estrato más profundo de lagos estratificados, y, en ciertos casos, se encuentran elevadas concentraciones en cuerpo superficiales como ríos.”²

Hasta donde se conoce, el consumo humano de aguas con hierro y manganeso no tiene efectos nocivos para la salud. Fuera de límites, ambos afectan la labor de lavado de prendas debido a que las tiñen con manchas desagradables, causan incrustaciones en tuberías. También “causan problemas en los sistemas de distribución porque permiten el crecimiento de bacterias del hierro y manganeso por lo cual necesitan que se incremente el cloro. Dan sabor al agua aún en bajas concentraciones.”³

¹ SAWYER, CLAIR N., McCarty, Perry L., & Parkin, Gene F. *Química para Ingeniería Ambiental*. p. 625.

² ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. *Calidad del Agua*. p. 167.

³ Ibid.

1.3.4.2. Turbiedad

Es causada por la presencia de materia en suspensión. Este parámetro “se mide en función de la interferencia que causan con el paso de la luz a través del agua.”⁴

“El valor de este parámetro se puede medir por una gran diversidad de materiales en suspensión, que varían de tamaño, desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, residuos domésticos e industriales, entre otras arcillas y barro, limo, materia orgánica e inorgánica, y diversidad de microbiología.”⁵ Los consumidores esperan agua libre de turbiedad. Las personas son conscientes de que las aguas residuales son altamente turbias. Cualquier turbiedad en el agua potable se relaciona, inmediatamente, con la posible contaminación por aguas residuales y con los peligros para la salud asociados con ella

En etapas posteriores de tratamiento como filtros y desinfección, la turbiedad interfiere fuertemente. “En la filtración disminuye la carrera del filtro haciendo cortos los periodos de limpieza del mismo, y en términos de desinfección, la materia en suspensión sirve de refugio para los microorganismos evitando el contacto con el agente desinfectante.”⁶

⁴ ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. *Calidad del Agua*. p. 107.

⁵ Ibid.

⁶ SAWYER, CLAIR N., McCarty, Perry L., & Parkin, Gene F. *Química para Ingeniería Ambiental*. p. 475.

1.3.4.3. Conductividad

“Este parámetro expresa numéricamente la habilidad del agua de conducir una corriente eléctrica en función de la concentración total de sólidos disueltos ionizados en el agua y de la temperatura. La conductividad, normalmente, se utiliza como un indicador rápido para obtener un estimado del contenido de sólidos disueltos.”⁷

“Experimentalmente, se ha determinado que se puede obtener el contenido de sólidos disueltos en mg/L al multiplicar la conductividad en $\mu\text{mho/cm}$ por un factor que oscila entre 0.55 y 0.7,”⁸ dependiendo de qué tan acida o alcalina sea el agua. Este parámetro es un parámetro básico de evaluación de la aptitud del agua para riego.

1.3.4.4. Color

“Entre las causas que originan el color en el agua se encuentran la presencia de hierro, a veces como humato férrico, y manganeso, ambos ya sea coloidal o disuelto; el contacto del agua con desechos orgánicos como hojas, madera, raíces, etc., en diferentes estados de descomposición, y la presencia taninos, ácido húmico, humatos que provienen de la descomposición de la lignina, y algunos residuos industriales.”⁹

⁷ ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. *Calidad del Agua*. p. 114.

⁸ Ibid.

⁹ SAWYER, CLAIR N., McCarty, Perry L., & Parkin, Gene F. *Química para Ingeniería Ambiental*. p. 480.

“El color en el agua se clasifica en dos: el color verdadero y el color aparente. El color verdadero es el color del agua una vez que se ha removido la turbiedad.”¹⁰ El color aparente, además de las sustancias disueltas y coloidales, toma en cuenta el color a causa del material suspendido. El término color se refiere al color verdadero del agua y se acostumbra medirlo junto con el pH, debido a que la intensidad del color depende de este. En la medida que el pH aumenta, también lo hace el color.

Por lo general, se considera que las aguas que contienen materia coloreada derivada de sustancias naturales sometidas a degradación en pantanos y bosques no tienen propiedades tóxicas o peligrosas. Sin embargo, los materiales de coloración natural dan al agua un aspecto amarillo-marrón, y los consumidores se muestran renuentes a ingerir esta agua por las asociaciones a que dan lugar.

1.3.4.5. Potencial de hidrógeno (pH) – acidez – alcalinidad

“Es la forma como se expresa la concentración de los iones de hidrógeno, exactamente la actividad del ión hidrógeno.”¹¹ Es importante en casi todos los aspectos de la ingeniería ambiental. En el tema de abastecimiento influye en el área de coagulación química, desinfección, ablandamiento de aguas, y control de la corrosión. La acidez de las aguas naturales es causada por el dióxido de carbono o por los ácidos minerales fuertes.

¹⁰ SAWYER, CLAIR N., McCarty, Perry L., & Parkin, Gene F. *Química para Ingeniería Ambiental*. p. 480.

¹¹ ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. *Calidad del Agua*. p. 128.

“El dióxido de carbono es un componente normal de todas las aguas naturales. Penetra a las aguas superficiales por absorción de la atmósfera, pero solo cuando su concentración en el agua es menor a la concentración en equilibrio con el dióxido de la atmósfera.”¹² El dióxido de carbono también se puede producir en el agua por oxidación biológica de la materia orgánica.

1.3.4.6. Dureza

“Las aguas duras son aguas que contienen concentraciones de iones metálicos divalentes. Entre los principales están el calcio, magnesio, estroncio, hierro ferroso e ion manganeso, que requieren considerables cantidades de jabón para generar espuma.”¹³ Dichos iones, al reaccionar con el jabón, forman precipitados y con algunos aniones se producen incrustaciones (costras) en las tuberías de agua caliente, calentadores, calderas y otras unidades en las que se aumenta la temperatura del agua.

“Entre las repercusiones para el ciudadano común, están la propiedad de aumentar el consumo de jabón la cual incide en el aspecto económico y la dificultad para obtener condiciones óptimas de limpieza;”¹⁴ para el ingeniero, el problema de las incrustaciones es uno de los mayores desafíos.

¹² ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. *Calidad del Agua*. p. 128.

¹³ SAWYER, CLAIR N., McCarty, Perry L., & Parkin, Gene F. *Química para Ingeniería Ambiental*. p. 523.

¹⁴ Ibid.

La dureza de las aguas varía considerablemente en los diferentes sitios. En general, las aguas superficiales son más blandas que las aguas profundas. La dureza de las aguas refleja la naturaleza de las formaciones geológicas con las que el agua ha estado en contacto. Regularmente, “las aguas duras se originan en áreas donde la capa superior del suelo es gruesa y contiene formaciones de piedra caliza. Las aguas blandas se originan donde la capa superior del suelo es delgada y las formaciones de piedra caliza están dispersas o ausentes.”¹⁵

1.3.4.7. Nitratos y nitritos

La atmósfera es el reservorio de nitrógeno. Los compuestos del nitrógeno son de gran interés para los ingenieros ambientales debido a su importancia en los procesos vitales de todas las plantas y animales.

La química del nitrógeno es compleja a causa de los diversos estados de valencia que puede asumir este elemento y al hecho de que los cambios en la valencia los pueden hacer organismos vivos. “Durante las tormentas eléctricas, grandes cantidades de nitrógeno atmosférico son oxidadas en pentóxido de nitrógeno, el cual se une con el agua para dar HNO_3 , que es transportado por la lluvia a la tierra formando nitratos, mismos que fertilizan las plantas y se convierten en proteínas.”¹⁶

¹⁵ SAWYER, CLAIR N., McCarty, Perry L., & Parkin, Gene F. *Química para Ingeniería Ambiental*. p. 523

¹⁶ ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. *Calidad del Agua*. p. 142.

Los nitratos producidos en exceso para cubrir las necesidades de la vida vegetal son transportados por el agua que se filtra a través del suelo. Dado que el suelo no tiene capacidad de retenerlos, se encuentran concentraciones relativamente altas de nitratos en las aguas subterráneas. “Otra manera de convertir el nitrógeno atmosférico en proteínas es por medio de bacterias fijadoras del nitrógeno y por ciertas algas. Este proceso se conoce como nitrificación. En condiciones anaeróbicas, los nitratos son reducidos a nitritos y estos a gas nitrógeno por bacterias, proceso conocido como desnitrificación.”¹⁷

De acuerdo con el ciclo del nitrógeno, “una concentración alta de nitrógeno orgánico es característica de una polución fresca o reciente y, por consiguiente, de gran peligro potencial, contiene la mayoría del nitrógeno como nitrógeno orgánico y amoniacal.”¹⁸ En aguas superficiales, el peligro para la salud decrece con la edad de la polución o tiempo de envejecimiento (autopurificación) y con la temperatura. “Un incremento súbito del contenido normal de nitrógeno amoniacal del agua implica la presencia de polución por aguas residuales.”¹⁹ Por ello también presentan serios problemas de purificación, generalmente, asociadas con altas concentraciones de hierro y color, así como con una alta demanda de cloro.

¹⁷ ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. *Calidad del Agua*. p. 143.

¹⁸ Ibid.

¹⁹ SAWYER, CLAIR N., McCarty, Perry L., & Parkin, Gene F. *Química para Ingeniería Ambiental*. p. 596.

Los antecedentes de metahemoglobinemia en los niños evidencia la incidencia en la salud. En los niños, la causa de dicha enfermedad, conocida como enfermedad azul está en el consumo de agua con altos contenidos de nitratos. En estos casos, “las bacterias del tracto intestinal, indispensables para el metabolismo de la leche y sus derivados, reducen los nitratos a nitritos, los cuales son absorbidos por el torrente sanguíneo, de donde toman el oxígeno presente y convierten la sangre arterial en sangre venosa.”²⁰

En virtud de lo anterior, “la epidermis del infante adquiere un color azul. La presencia de nitritos en aguas superficiales y subterráneas indica, por lo general, procesos activos biológicos en el agua, ya que es fácil y rápidamente convertido a nitratos.”²¹

1.3.4.8. Sólidos

1.3.4.8.1. Sólidos totales

“Incluye materia disuelta y no disuelta, y está definida como todos los sólidos que permanecen como residuo después de evaporación y secado a 105 °C.”²²

²⁰ SAWYER, CLAIR N., McCarty, Perry L., & Parkin, Gene F. *Química para Ingeniería Ambiental*. p. 596.

²¹ Ibid.

²² ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. *Calidad del Agua*. p. 111.

1.3.4.8.2. Sólidos sedimentables

“Se clasifica toda la materia que se puede sedimentar en condiciones de quietud por la influencia de la gravedad, con peso específico mayor que el del agua.”²³

1.3.4.8.3. Sólidos suspendidos

“Es todo el material no filtrable y que queda como residuo cuando el agua es filtrada a través de un filtro de asbesto o de fibra de vidrio.”²⁴

1.3.4.8.4. Sólidos disueltos totales

“La concentración de los sólidos disueltos o residuo filtrable está, principalmente, constituido por sales inorgánicas, pequeñas cantidades de materia orgánica y gases disueltos.”²⁵

1.3.4.9. Sulfatos

Este “es un ión muy abundante en las aguas naturales. Es importante en las aguas destinadas a consumo humano debido a sus efectos laxantes cuando está presente en concentraciones altas (mayor a 250 mg/L).”²⁶

²³ ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. *Calidad del Agua*. p. 113.

²⁴ *Ibid.* p. 112.

²⁵ *Ibid.*

²⁶ SAWYER, CLAIR N., McCarty, Perry L., & Parkin, Gene F. *Química para Ingeniería Ambiental*. p. 637.

Además, son importantes en los abastecimientos para procesos industriales debido a que las aguas que los contienen en cantidad apreciables, tienden a formar incrustaciones en las calderas. “En las aguas residuales son directamente responsables de los problemas asociados con el olor y corrosión de las alcantarillas, que resultan de la reducción de los sulfatos a sulfuro de hidrógeno en condiciones anaeróbicas.”²⁷

“En ausencia de oxígeno disuelto y de nitratos, los sulfatos sirven como fuente de oxígeno para las oxidaciones bioquímicas producidas por las bacterias anaeróbicas. A valores de pH 8 para arriba la mayor parte del azufre reducido está en solución en forma de iones HS^- y S^{2-} , y la cantidad de H_2S libre es tan pequeña que su presión parcial es despreciable, de manera que no presenta problemas de olor.”²⁸ Cuando los niveles de pH están por debajo de 8, el equilibrio se desvía rápidamente hacia la formación de H_2S no ionizado, llegando a causar serios problemas de olor.

1.3.4.10. Temperatura

Muchos factores en el tratamiento de las aguas, como el grado de saturación de oxígeno disuelto, la actividad biológica y la dureza dependen de este parámetro. “La temperatura debe tomarse en el sitio de muestreo. Normalmente, la determinación de la temperatura puede hacerse con un termómetro de mercurio de buena calidad.”²⁹

²⁷ SAWYER, CLAIR N., McCarty, Perry L., & Parkin, Gene F. *Química para Ingeniería Ambiental*. p. 637.

²⁸ Ibid.

²⁹ ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. *Calidad del Agua*. p. 111.

1.3.4.11. Grupo coliforme

“El grupo coliforme incluye las bacterias de forma bacilar, aeróbicas y facultativas anaeróbicas, Gram-negativas, no formadoras de esporas, las cuales fermentan la lactosa con formación de gas en un período de 48 hrs a 35 °C.”³⁰

Los coliformes no solamente provienen de los excrementos humanos, sino también pueden originarse en animales de sangre caliente, animales de sangre fría y en el suelo; por tanto, la presencia de coliformes en aguas superficiales indica contaminación por residuos humanos, animales o erosión del suelo separadamente, o de una combinación de las tres fuentes. “Aunque no es posible distinguir entre coliformes de origen humano o animal, existe un ensayo especial para diferenciar entre coliformes fecales y coliformes del suelo, aunque este ensayo no reemplaza la técnica usual, pero es aplicable en estudios de polución de ríos, fuentes de agua cruda, sistemas de tratamiento de aguas residuales y aguas para recreación.”³¹

³⁰ ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. *Calidad del Agua*. p. 217.

³¹ Ibid.

2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Este estudio consiste en evaluar el almacenamiento y calidad de un Módulo Sanitario Familiar de Rápida Instalación (MOSAFARI), por lo que a continuación se estudiará cada una de esas características de dicho módulo.

2.1. Almacenamiento

Para determinar el almacenamiento de agua de lluvia para consumo humano, se debe determinar el volumen del tanque de almacenamiento y el área de captación de agua de lluvia. Para esto, se propuso utilizar la metodología del documento “Sistemas de Captación y Almacenamiento de Agua de Lluvia para Abastecimiento a Comunidades Rurales (Experiencia de Construcción en Guamala)” de UNICEF.

2.1.1. Cálculo de volumen de tanque de almacenamiento

Para el diseño de un tanque de almacenamiento de agua de lluvia se deben establecer los objetivos y variables que se tomarán en cuenta para dicho diseño, es decir, la cantidad de personas que se deben atender, el tipo de uso que cada una de esas personas le dará al agua para establecer la dotación, y el tiempo durante el cual se desea que el tanque siga abasteciendo de agua de lluvia, cuando se llegue a los meses secos y no haya más precipitaciones.

Para el efecto de este estudio se calculará el volumen del tanque de almacenamiento del agua de lluvia para abastecer una vivienda de 5 personas por un año en la ciudad de Guatemala, para uso de beber y cocinar, estimando una dotación de 20 l/hab/día.

$$Vu = \frac{(N \times S \times T) 1,1}{1\ 000}$$

Donde:

$Vu =$ Volumen útil en m^3

$T =$ tiempo que no existe lluvia en días. Para ciudad de Guatemala = 180 días.

$S =$ Dotación en litros por persona (L/hab/día)

$N =$ número de personas a servir

1.1 = Factor que considera 10% de pérdidas del agua

Ejemplo:

$$Vu = \frac{(5 \text{ hab} \times 20\text{L/hab/día} \times 180 \text{ días}) 1,1}{1\ 000}$$

$$Vu = 19,8 \text{ m}^3 \approx 20 \text{ m}^3$$

El volumen del tanque de almacenamiento debe ser de 20 m^3 .

2.1.2. Cálculo de área de captación de agua de lluvia

Calcular el área necesaria de captación de agua de lluvia para capturar suficiente esorrentía para llenar el tanque de almacenamiento y abastecer la vivienda por un año, según el volumen calculado anteriormente.

Del mapa de isoyetas promedio anual del “Atlas Climatológico” del INSIVUMEH disponible en los anexos, se obtiene el dato de la precipitación promedio anual para la ciudad de Guatemala de 1 500 mm. Con el dato anterior y conociendo el volumen necesario para abastecimiento, y tomando de la tabla II el valor de 0.90 como coeficiente de escorrentía correspondiente a lámina, se calcula el área para generar la escorrentía necesaria que provea de dicho volumen y sea posible el abastecimiento por un año.

$$Ac = \frac{Vu}{C * Pm}$$

Donde:

Ac = Área de captación en m².

Vu = volumen total de agua que se necesita almacenar en m³.

C = coeficiente de escurrimiento superficial. De tabla II, 0,90 para lámina.

Pm = Precipitación media anual en metros

Los valores del coeficiente de escurrimiento superficial (C) están de acuerdo con el material de la cobertura del techo.

Tabla II. **Coefficientes de escurrimiento superficial**

Material	Valores C
Polietileno	0,9
Lámina	0,9
Mezcla cemento arena	0,88
Asfalto	0,88
Teja de Barro	0,75
Paja	0,5
Palma	0,6

Fuente: TSA Brasileño CPTATSA -1983

Se procede a sustituir los valores en la fórmula:

$$Ac = \frac{20 \text{ m}^3}{0,9 * 1,5 \text{ m}}$$
$$Ac = 14,81 \text{ m}^2 \approx 15 \text{ m}^2$$

Se propone un área de captación cuadrada de 4 m x 4 m para acumular el consumo necesario por un año. Dicha área puede ser modulada en una diferente geometría siempre que la resultante no sea menor al cálculo de área anterior.

2.1.3. Dimensión de área de captación y tanque de almacenamiento de MOSAFARI instalado en Planta Piloto de la ERIS, Arturo Pazos

A continuación, se presenta el modelo de cálculo anterior según los parámetros existentes en el MOSAFARI objeto de estudio.

Parámetros conocidos:

$V_u = \text{Volumen útil } 500 \text{ L}$

$T = \text{tiempo que no existe lluvia en días. Ciudad de Guatemala, } 180 \text{ días.}$

$S = \text{Dotación en litros por persona } (20 \text{ L/hab/día}).$

$1.1 = \text{Factor que considera } 10 \% \text{ de pérdidas del agua}$

$N = \text{número de personas a servir}$

De la fórmula para el cálculo del volumen del tanque de almacenamiento, se despeja la cantidad de habitantes a servir:

$$N = \frac{V_u(1000)}{(S \times T) 1,1}$$

Sustituyendo los parámetros conocidos en la fórmula anterior:

$$N = \frac{(0,5 \text{ m}^3 \times 1000)}{(20 \text{ L/hab/día} \times 180 \text{ días}) 1,1}$$

$$N = 0,1263 \text{ hab}$$

El resultado anterior demuestra que la capacidad del tanque de almacenamiento no es suficiente para abastecer a una sola persona de agua para beber y cocinar durante un año. Esto se debe a que el módulo fue instalado para efectos educativos y no previsto como fuente de abastecimiento para una población determinada. Para abastecer a una persona el volumen debe ser de 4 m^3 .

Por otro lado, se conoce que el área de captación es de 3,50 m x 8 m, lo que da como resultado una superficie de captación de 28 m², por lo que se procede a verificar dicha área de captación con el dato real del volumen del tanque de almacenamiento.

Parámetros conocidos:

Ac = Área de captación en m² .

Vt = volumen total de agua que se necesita almacenar 0,5 m³ .

C = coeficiente de escurrimiento superficial 0,9.

Pm = Precipitación media anual 15 metros

$$Ac = \frac{0,5 \text{ m}^3}{0,9 * 1,5 \text{ m}}$$

$$Ac = 0,37 \text{ m}^2$$

Se puede apreciar que el área de captación existente para el volumen del tanque de almacenamiento es más de 75 veces lo requerido, por lo que hay un sobredimensionamiento del área de captación.

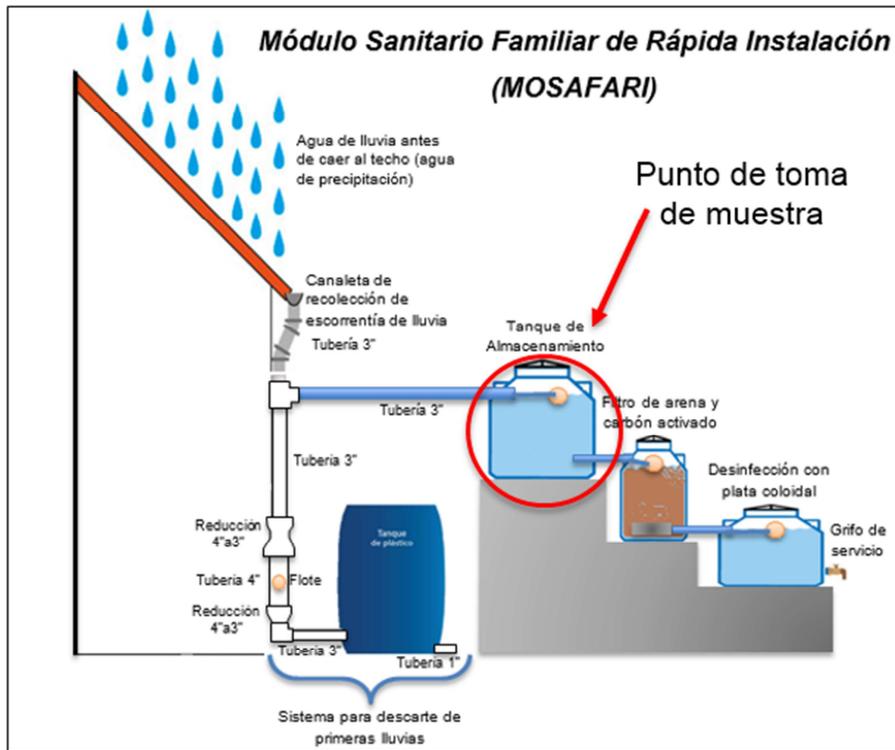
2.2. Calidad

2.2.1. Muestreo y análisis Inicial

Por conveniencia de la investigación, y para respaldar el antecedente de que los sistemas de captación de agua de lluvia para consumo humano no son eficientes en las condiciones actuales de operación y mantenimiento (según Flores Auseda), se llevó a cabo un muestreo y análisis inicial de acuerdo con las condiciones en las que se encontrara el sistema de captación y almacenamiento del MOSAFARI.

Todos los procedimientos utilizados para el muestreo y análisis del agua son los establecidos en los manuales del curso de Química y Microbiología Sanitaria de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Las muestras se tomaron en las condiciones tal cual se encontraba el MOSAFARI en el punto que se indica en la figura 2.

Figura 2. **Punto de toma de muestra**



Fuente: elaboración propia.

Figura 3. **Condición inicial del tanque de almacenamiento y canaleta de recolección**



Fuente: elaboración propia.

Se tomaron dos muestras iniciales: una para el análisis fisicoquímico y otra para el examen bacteriológico. Ambos apegados a los procedimientos anteriormente establecidos.

Figura 4. **Equipo utilizado para toma de muestras y mediciones *in situ***



Fuente: elaboración propia.

Los parámetros de temperatura y oxígeno disuelto fueron tomados *in situ*, como se establece en la guía de procedimientos, debido a que estos se pueden modificar durante el transporte de la muestra.

Figura 5. **Equipo utilizado para la medición de parámetros *in situ***



Fuente: elaboración propia.

El resto de parámetros se determinaron en el laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria de la Facultad de Ingeniería USAC.

Figura 6. **Equipo utilizado para el examen fisicoquímico**



Fuente: elaboración propia.

Figura 7. **Examen bacteriológico por medio de tubos múltiples de fermentación**



Fuente: elaboración propia.

2.3. Reporte del muestreo y análisis inicial

2.3.1. Análisis fisicoquímico

Tabla III. Resultado de análisis fisicoquímico

Parámetro	Resultado
Temperatura (C)	23,1
Ph	6,36
Conductividad (µs/cm)	83
TDS (mg/l)	44
Color (UDC)	300
Turbiedad (UNT)	3,15
Alcalinidad por bicarbonatos (mg/l)	60
Dureza total (mg/l)	32
Calcio (mg/l)	12,83
Magnesio (mg/l)	0
Cloruros (mg/l)	35

Fuente: elaboración propia.

De los parámetros determinados en la tabla anterior, se puede concluir que el color no cumple, mientras que los demás parámetros indican que el agua es apta para consumo humano según la norma COGUANOR 29 001.

2.3.2. Análisis bacteriológico

Este parámetro se determinó por medio de tubos múltiples de fermentación llevando a cabo la prueba presuntiva y luego la confirmativa. En la prueba presuntiva se dejó incubar por 48 horas a 120 °C la muestra. Todos los tubos dieron resultado positivo. Luego se procedió a confirmar sembrando en medio nutritivo verde brillante y medio nutritivo EC. En los tubos con medio nutritivo verde brillante, todos los resultados fueron positivos, y en el medio EC, más del 50% de los resultados fueron negativos.

Tabla IV. **Resultados de análisis bacteriológico**

Parámetro	Resultado
Coliformes Totales NMP/100ml	$\geq 1,600$
Coliformes Fecales NMP/100ml	$\geq 1,600$

Fuente: elaboración propia.

Por lo anterior, del análisis bacteriológico se concluye que el agua está contaminada en términos de microbiología. Del análisis inicial se puede concluir que el agua que se encontró almacenada en el MOSAFARI carece de la calidad necesaria para ser utilizada directamente para consumo humano. Esto puede ser el resultado de que, durante un tiempo prolongado anterior, el sistema no gozó de un programa de operación y mantenimiento que garantizara un continuo estado de limpieza; de manera que este factor impacte negativamente lo menos posible la calidad del agua captada y almacenada.

Con la realización de este estudio, se pretende respaldar el hecho anteriormente mencionado. Por ello, es imprescindible la evaluación de las etapas posteriores del MOSAFARI (filtración y desinfección) las cuales deben ser evaluadas en otro estudio especial donde especifiquen los parámetros que se deben de considerar en función de la calidad del agua obtenida en el tanque de almacenamiento demostrada en el actual estudio especial. El propósito es que dichas etapas depuren la calidad del agua hasta alcanzar los límites máximos aceptables establecidos en COGUANOR 29001.

2.4. Descripción del área de estudio

El estudio especial se lleva a cabo en la zona 13 de la ciudad capital de Guatemala, en las instalaciones de la planta piloto de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos “Arturo Pazos”, zona que presenta una densidad vegetativa y poblada de árboles.

2.4.1. Preparación y limpieza del MOSAFARI para la realización del estudio

Antes de comenzar el estudio y luego de hacer un muestreo inicial para argumentar el problema, se procedió a limpiar los componentes de captación y almacenamiento del MOSAFARI.

Figura 8. **Limpieza del tanque de almacenamiento**



Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Limpieza del canal de captación**



Fuente: elaboración propia.

Se limpiaron los techos que proveen el área que tributa esorrentía hacia la canaleta recolectora que luego conduce el agua al tanque de almacenamiento. La canaleta estaba saturada de hojas, ramas, etcétera proveniente de los árboles que circundan el MOSAFARI. Estas se retiraron porque se determinó que proveen color al agua. Este parámetro, según el análisis fisicoquímico, es el único que puede causar rechazo del consumidor.

Finalmente, se lavó el tanque de almacenamiento utilizando hipoclorito de sodio para desinfectarlo.

Figura 10. **Canaleta de recolección después de la limpieza**



Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Tanque de almacenamiento después de la limpieza**



Fuente: elaboración propia.

Una vez se tienen los elementos del MOSAFARI de captación y almacenamiento en condiciones adecuadas se realiza el estudio por medio de muestreos a lo largo del periodo de lluvias. Las muestras fueron tomadas en el punto indicado en la figura 2 y en las fechas según tabla IV.

Tabla V. **Fechas de toma de muestras**

No. muestra	1	2	3	4	5	6	7	8
Fecha	27/08/'12	03/09/'12	04/09/'12	18/09/'12	24/09/'12	25/09/'12	01/10/'12	02/10/'12

Fuente: elaboración propia.

2.5. Muestra testigo

El objetivo de la muestra testigo es tener como referencia, para este estudio, una calidad del agua de lluvia antes de tener contacto con cualquier superficie, es decir que la muestra fue captada directamente de la atmósfera. De esta manera se podrá apreciar con los resultados de este estudio, cuáles parámetros fueron más afectados por los contaminantes en la atmósfera, o por los contaminantes en las superficies de captación, conducción, y tanque de almacenamiento del MOSAFARI.

Se tomará, como muestra testigo, los resultados de la calidad del agua de lluvia del estudio especial “Análisis de la calidad de agua de lluvia del sector ubicado en la zona 21 de la ciudad Guatemala, como parte del estudio de recarga de acuíferos del área metropolitana” realizado por los Ingenieros Jorge Mynor Henández Monzón y José Rolando Fuentes Handal.

Hernández y Fuentes hicieron muestreos y luego presentaron en la tabla VII, el promedio de los resultados para cada parámetro, las cuales fueron tomadas según las fechas indicadas en la tabla VI:

Tabla VI. **Fechas de toma de muestras testigo**

Muestra 1	22/09/1998
Muestra 2	05/10/1998
Muestra 3	08/10/1998
Muestra 4	08/10/1998

Fuente: elaboración propia.

Cabe mencionar que las fechas de recolección son del mismo periodo que las muestras tomadas en este estudio. Las ubicaciones de los puntos de muestra en ambos estudios son en zona urbana dentro de ciudad capital con características similares de clima, actividad industrial y vehicular. En ambos escenarios ya estaba por finalizar la temporada de lluvias. Esto significa que la atmósfera tenía las mismas condiciones, ya que, al haber recibido varias lluvias, estaba menos cargada que si el periodo de muestras hubiese sido cuando inició la temporada de lluvia.

Tabla VII. Promedio del resultado de muestras de lluvia, escorrentía y drenaje pluvial

PROMEDIO DE RESULTADOS DE LABORATORIO DE MUESTRAS DE LLUVIA, ESCORRENTIA Y DRENAJE DE AGUA PLUVIAL							
		AGUA DE LLUVIA	ESCORRENTIA	DRENAJE PLUVIAL	CRITERIO DE CALIDAD DE AGUA PARA RECARGA DE ACUIFEROS*		NORMA DE CALIDAD DE FUENTES DE AGUA
FISICO QUÍMICO					MINIMO	MAXIMO	LMA
COLOR	UNID.	25,5	84,7	43,5			300
TURBIEDAD	UTN	2,8	23,4	4,7			
POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH)	UNID.	6,6	7,3	7,1	5	9	
TEMPERATURA	°c	17,0	18,5	16,8			
CONDUCTIVIDAD	umhos/cm	41,0	79,9	112,8			
AMONIACO (NH3)	mg/l	0,390	0,662	0,398			0,5
NITRITOS (NO2)	mg/l	0,014	0,019	0,026	-	5	
NITRATOS (NO3)	mg/l	3,4	4,1	5,9	-	10	45
COLOR RESIDUAL	mg/l	0,0	0,0	0,0	-	0,05	
MANGANESO (Mn)	mg/l	0,0	0,0	0,0	-	10	5
CLORUROS (Cl)	mg/l	5,4	6,2	5,5			
FLUORUROS (F)	mg/l	0,148	0,141	0,173			1,5
SULFATOS (SO4)	mg/l	7,0	11,7	13,8			
HIERRO TOTAL (Fe)	mg/l	0,299	1,018	0,233	-	0,1	0,4 - 5,0 **
DUREZA TOTAL	mg/l CaCO3	20	33	43			
SOLIDOS TOTALES	mg/l	31	81	81			
SOLIDOS VOLATILES	mg/l	10	30	24			
SOLIDOS FIJOS	mg/l	21	50	57			
SOLIDOS DISUELTOS	mg/l	5	26	11	-	10	
SOLIDOS EN SUSPENSION	mg/l	23	44	62			1 500
ALCALINIDAD		0	0	0			
HIDROXIDOS	mg/l	0	0	0			
CARBONATOS	mg/l	0	2	0			
BICARBONATOS	mg/l	21	33	44			
ALCALINIDAD TOTAL	mg/l CaCO3	21	34	44			

*SECRETARIA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLÓGICO (SEDUE)

DIRECCION GENERAL DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN AMBIENTAL
MÉXICO, 1988

**NORMA CRITERIOS ECOLÓGICOS DE LA CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO, MEXICO 1989

Fuente: Hernández y Fuentes. Tabla F. Estudio especial "Análisis de la calidad de agua de lluvia del sector ubicado en la zona 21 de la ciudad Guatemala, como parte del estudio de recarga de acuíferos del área metropolitana". p. 73.

2.6. Metodología del cálculo del número de muestras a analizar

En promedio, al año, en la ciudad de Guatemala suceden 125 lluvias (INSIVUMEH). Se considera que la época de lluvias que va desde mayo hasta octubre está constituida por un total de 180 días calendario.

Para conocer la cantidad de lluvias por muestrear se empleó el siguiente análisis estadístico (*Estadística, Spiegel Murray*):

Para seleccionar el número de días (n) que se obtendrá muestra de lluvia dentro del rango de días al año que llueve (N) con un error estándar (Se^2) menor de 0.05 al 98% de confiabilidad (p).

$$S^2 = p(1 - p) = 0,98(1 - 0,98) = 0,0196$$

$$Se = \sigma^2 = 0,05^2 = 0,0025$$

$$n' = \frac{S^2}{\sigma^2} = \frac{0,0196}{0,0025} = 7,84$$

$$n = \frac{n'}{1 + n'/N} = \frac{7,84}{1 + 7,84/180} = 7,51 \approx 8$$

Se tomará una muestra no probabilística de 8 muestras durante el período de lluvias que comprende desde mayo hasta octubre de 2012. Las muestras se tomarán en días que, a criterio del investigador, se considere más conveniente para los resultados requeridos por la investigación.

3. RESULTADOS

Tabla VIII. Resultados fisicoquímicos y microbiológicos

RESULTADOS DE EXÁMENES DE LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA DE LLUVIA																
Lugar:		Planta Piloto ERIS - USAC, Colonia Aurora II, zona 13, Guatemala.														
Fecha:		27/08/2012	03/09/2012	04/09/2012	18/09/2012	24/06/2012	25/09/2012	01/10/2012	02/10/2012	Indicadores estadísticos						
FISICO QUÍMICO																
no.	Análisis	Unidades	LMP	LMA	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 7	Muestra 8	Promedio	Máximo	Mínimo	Desviación estándar
1	Alcalinidad	mg/L CaCO ₃			8	10	12	14	12	16	20	20	14	20	8	4,41
2	Dureza	mg/L CaCO ₃	500	100	4	6	10	14	14	16	16	16	12	16	4	4,78
3	Cloruros	mg/L Cl ⁻	250	100	5	5,5	5,5	7,5	6,5	5,5	7	7,5	6,25	7,5	5	1,00
4	Fluoruros	mg/L F ⁻	1,7	---	0,07	0,05	0,06	0,37	0,17	0,23	0,31	0,08	0,181429	0,37	0,05	0,13
5	Nitratos	mg/L NO ₃	50	---	9,68	7,48	4,84	3,08	3,6	10,56	14,96	13,64	8,48	14,96	3,08	4,50
6	Nitritos	mg/L NO ₂	3	---	0,0429	0,0264	0,033	0,0561	0,026	0,0264	0,0627	0,1155	0,048625	0,1155	0,026	0,03
7	Hierro	mg/L Fe	---	0,3	0,06	0,23	0,13	0,13	0,17	0,18	0,2	0,22	0,165	0,23	0,06	0,06
8	Manganeso	mg/L Mn	0,4	0,1	0,03	0,057	0,043	0,074	0,069	0,084	0,111	0,108	0,072	0,111	0,03	0,03
9	Color	unidades	35	5	25	34	31	45	38	55	45	59	41,5	59	25	11,74
10	Turbiedad	NTU	15	5	2,2	1,59	1,65	1,81	2,19	3,26	3,43	6,1	2,78	6,1	1,59	1,51
11	Olor	no rechazable	no rechazable	materia orgánica	materia orgánica	materia orgánica	---	---	---	---						
12	Conductividad	µS/cm	1 500	750	15,4	27,4	27,3	41,3	38	49,5	56,1	56,1	38,89	56,1	15,4	14,78
13	Sólidos Disueltos	mg/L	1 000	500	8	15	15	22	20	26	32	32	21,25	32	8	8,53
14	pH	unidades	6,5-8,5	7,0-7,5	5,38	5,4	5,68	5,58	5,62	5,74	6,19	6,19	5,72	6,19	5,38	0,31
15	Sulfatos	mg/L SO ₄	250	100	0,5	1	2	4	2	1	2	3	1,94	4	0,5	1,15
16	Temperatura	°C	34	15-25	22,9	22,9	22	21,9	23,3	22	22	21,3	22,29	23,3	21,3	0,67
MICROBIOLÓGICO																
17	Coliformes fecales	NMP en 100 ml	0	500	4	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	64,5	500	2	175,97
18	Coliformes totales	NMP en 100 ml	0	≥ 1 600	350	≥ 1 600	600	17	≥ 1 600	26	≥ 1 600	924,13	1 600	17	745,60	

Fuente: elaboración propia.

4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Interpretación de resultados del hierro y manganeso

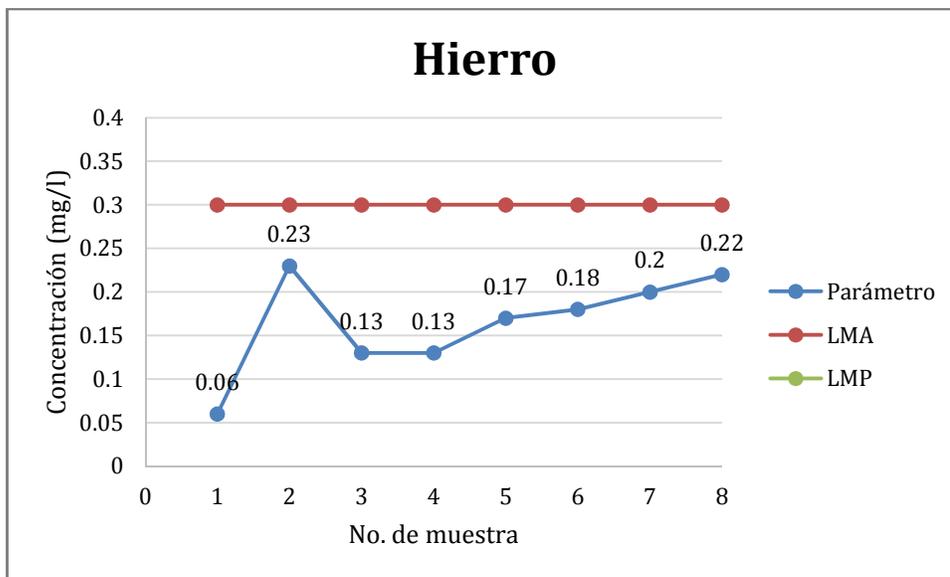
Considerando el ciclo que el agua debe recorrer para llegar a la precipitación, la presencia de hierro y manganeso en aguas de lluvia no suele ser común y, de estar presente, lo más probable es que se eleven los niveles a partir de que el agua entra en contacto con una superficie. En el caso específico de este estudio, la superficie de captación, así como la canaleta que conduce el agua hacia el depósito de almacenamiento, se encuentran bajo las ramas debido a que en el lugar hay una gran cantidad de árboles con follaje denso. Por lo anterior, los componentes son susceptibles a retener mayor cantidad de polvo, tierra y hojas. Estos elementos que en conjunto con la atmósfera dan la calidad al agua de lluvia.

Se puede observar que la primera muestra, la más próxima al día que se hizo limpieza del sistema, refleja el nivel más bajo, 0,06 mg/l en hierro (figura 12) y 0,03 mg/l en manganeso (figura 13) y, a medida que transcurre el tiempo de estudio, las muestras posteriores van incrementando los niveles de dichos parámetros, presentando un máximo de 0,23 mg/l en hierro (figura 12) y 0,111 mg/l en manganeso (figura 13), lo que determina que estos se van acumulando en el tanque de almacenamiento conforme transcurre el tiempo y este no se limpia. Comparando con la muestra testigo, se confirma lo anterior, ya que ésta refleja niveles similares a los obtenidos en este estudio: 0,299 mg/l en hierro (tabla VII). El manganeso no fue determinado. También refleja un aumento luego de haber tenido contacto con una superficie, hierro 1,018 mg/l (tabla VII) igual que lo demuestra este estudio.

Se aprecia, por medio de los valores de desviación estándar, hierro 0,06 mg/l (tabla VIII) y manganeso 0,03 mg/l (tabla VIII) que no son parámetros susceptibles a variación significativa dentro de su recorrido en el sistema.

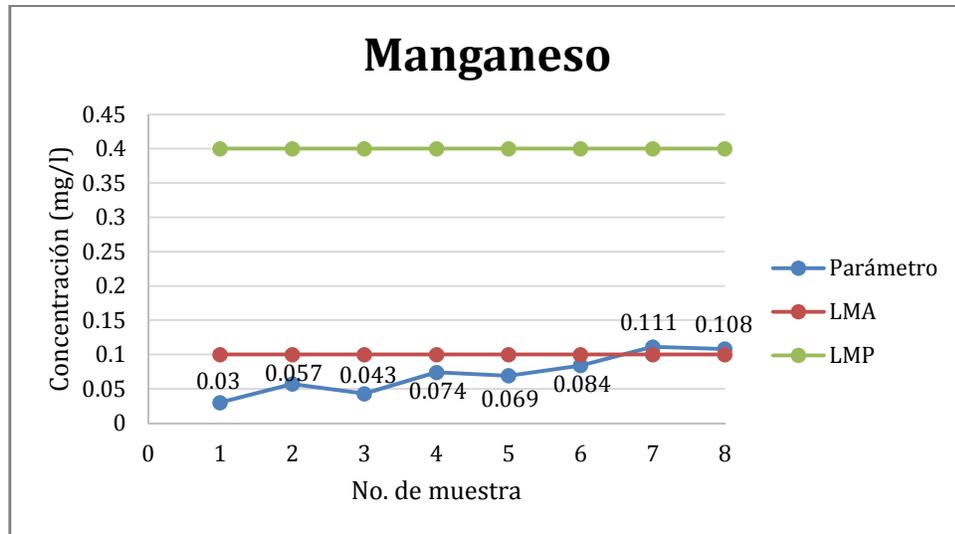
4.1.1. Análisis gráfico del hierro y manganeso

Figura 12. Hierro



Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Manganeso**



Fuente: elaboración propia.

4.2. Interpretación de resultados de turbiedad

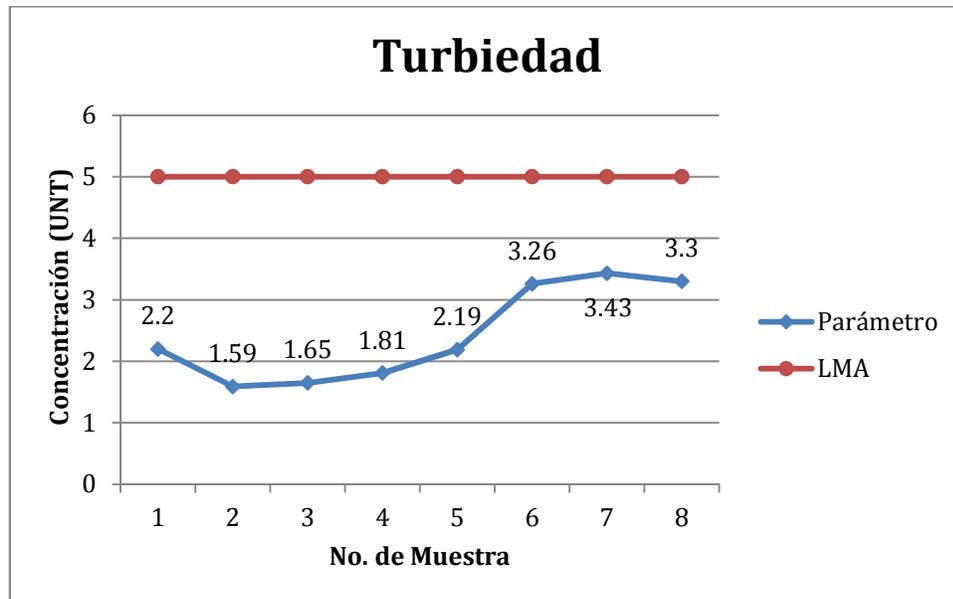
Este parámetro debe controlarse estrictamente debido a la diversidad de materia que lo puede causar. En el caso de este estudio, la superficie de captación, así como la canaleta que conduce el agua hacia el depósito de almacenamiento, se encuentran bajo una zona de ramas debido a la densidad del follaje de los árboles del lugar.

Por lo anterior, los componentes mencionados son susceptibles a retener mayor cantidad de polvo, tierra y hojas, elementos que en conjunto con la atmósfera dan la calidad al agua de lluvia. Se puede observar que la primera muestra, la más próxima al día que se hizo limpieza del sistema, refleja el nivel más bajo en turbiedad 2,2 UNT (figura 14), y a medida que transcurre el tiempo de estudio, las muestras posteriores van incrementando los niveles de dicho parámetro llegando a un máximo de 3,43 UNT (figura 14). Esto permite determinar que la materia en suspensión se va acumulando conforme transcurre el tiempo sin limpieza.

Comparando con la muestra testigo, se confirma lo anterior ya que esta refleja nivel similar de 2,2 UNT (tabla VII) que es comparable a la muestra 1 (figura 14), y también refleja un aumento, luego de haber tenido contacto con una superficie 23,4 UNT (tabla VII), igual que lo demuestra este estudio en las últimas muestras donde la acumulación de sólidos en el agua, con cada contacto con la superficie, aumenta la turbiedad (figura 14). Según la desviación estándar de 1,51 UNT (tabla VIII) es un parámetro que puede salir fácilmente del cumplimiento del límite máximo admisible de la normativa.

4.2.1. Análisis gráfico de turbiedad

Figura 14. Turbiedad



Fuente: elaboración propia.

4.3. Interpretación de resultados de conductividad

Este parámetro está en función de la cantidad de sólidos disueltos en el agua. Se determina que su concentración la aportan la superficie de captación y la canaleta que conduce el agua hacia el depósito de almacenamiento. Ambas se encuentran bajo zona de ramas debido a la densidad del follaje de los árboles del lugar. Por ello, son capaces de retener polvo, tierra y hojas, elementos que aportan concentración de sólidos disueltos y capacidad de conductividad al agua.

Se puede observar que la primera muestra, la más próxima al día que se hizo limpieza del sistema, refleja el nivel más bajo en conductividad $15,4 \mu\text{s/cm}$ (figura 15). Las muestras posteriores incrementan los niveles conforme transcurre el tiempo sin limpieza. El valor máximo al que llegan en la muestra 8 es de $56,1 \mu\text{s/cm}$ (figura 15).

Se aprecia en la gráfica que los valores están lejos de sobrepasar el LMA, aún en el análisis inicial se obtuvo un valor pequeño de $83 \mu\text{S/cm}$ (tabla III) a pesar de que varios meses antes careció de mantenimiento. Por lo anterior, a este parámetro no se le debe prodigar cuidado especial, ya que en la medida que se mitiguen los demás parámetros, disminuirá, y siempre estará muy por debajo del LMA.

Comparando con la muestra testigo, se confirman los resultados de este estudio. La muestra mencionada refleja un nivel promedio a los obtenidos en este estudio $41,0 \mu\text{s/cm}$ (tabla VII) y un aumento luego de haber tenido contacto con una superficie $79,9 \mu\text{s/cm}$ (tabla VII), igual que lo demuestra este estudio. Según su desviación estándar de $14,78 \mu\text{s/cm}$ (tabla VIII) este no es un valor susceptible a quedar fácilmente fuera del cumplimiento de la normativa.

4.3.1. Análisis gráfico de conductividad

Figura 15. Conductividad



Fuente: elaboración propia.

4.4. Interpretación de resultados de pH y alcalinidad

Como lo indica la teoría, se observa que al aumentar la alcalinidad aumenta el pH del agua (figura 16 y 17). Así mismo, se relacionan los primeros valores de pH que están en el rango de acidez con los ácidos que se forman en la atmósfera debido a las emisiones, que luego son arrastrados por las lluvias (lluvia ácida) hacia las superficies y afectan los cuerpos y sistemas de agua.

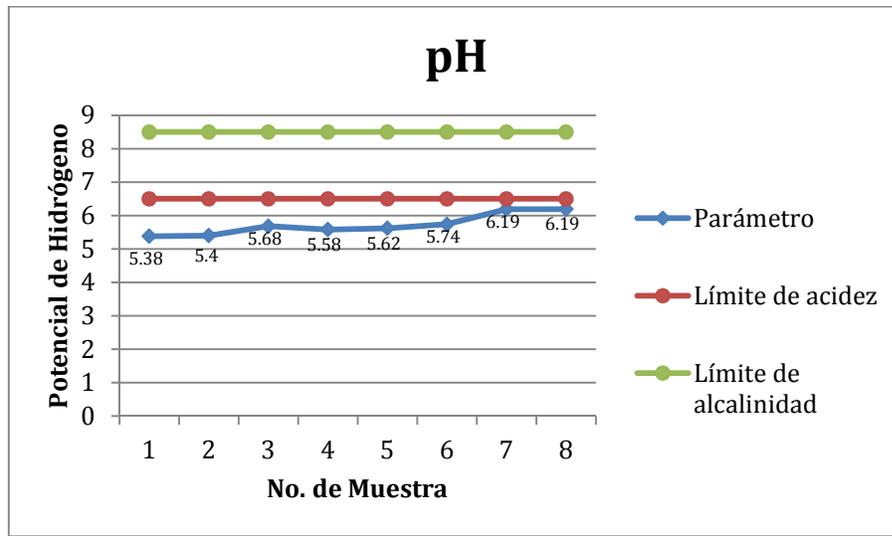
Otro factor, también indicado en la teoría, es la estrecha relación del dióxido de carbono con la acidez y la alcalinidad; y este, se puede producir en el agua por oxidación biológica de la materia orgánica. Por lo mismo, es importante apegarse al plan de mantenimiento, específicamente, al de limpieza de las áreas de captación y canaletas de conducción de todo material vegetal que se pueda acumular, sobre todo por la alta susceptibilidad que tiene el sistema al estar bajo zona de árboles.

Un factor que debe ser contemplado en este módulo es el mecanismo de descarte de primeras lluvias. Esto se debe a que antes de estas primeras precipitaciones, la atmósfera está más cargada de ácidos gaseosos que forman la lluvia ácida y pueden alcanzar los sistemas de abastecimiento. El resultado en la primera muestra fue de 5,38 (figura 16) e incrementó progresivamente con cada muestra hasta llegar a 6,10 en la muestra 8 (figura 16).

Comparando con la muestra testigo, esta está dentro del rango de los resultados obtenidos en este estudio, con un pH de 6,6 (tabla VIII), levemente en el rango de acidez, y también refleja un aumento a 7,3 (tabla VIII) luego de haber tenido contacto con una superficie, como lo demuestra este estudio.

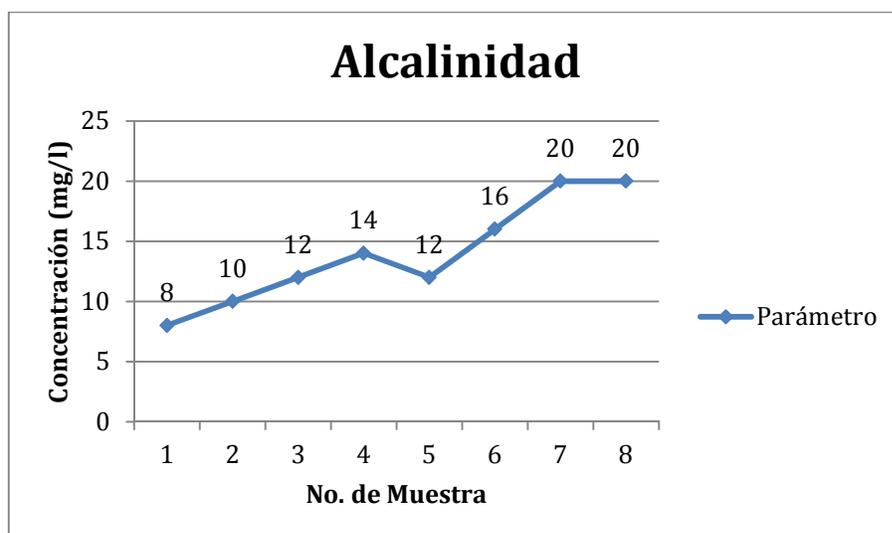
4.4.1. Análisis gráfico de pH y alcalinidad

Figura 16. pH



Fuente: elaboración propia.

Figura 17. Alcalinidad



Fuente: elaboración propia.

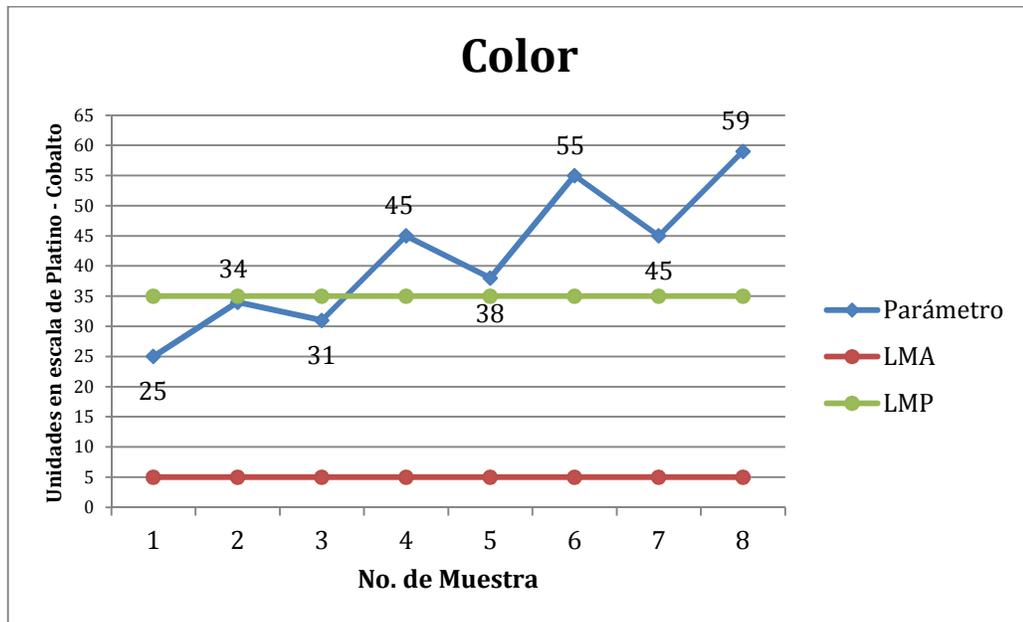
4.5. Interpretación de resultados del color

Como lo indica la teoría, el agua no tiene color, por lo que el mismo es causado por materia pigmentada disuelta y en suspensión, transmitida al agua. En el caso de este estudio, el factor principal de transmisión de color fue el contacto con la superficie de captación y el canal de conducción, debido a la acumulación de hojas y tierra que caen de los árboles. Luego estos desechos son arrastrados por la escorrentía de lluvia y se depositan en el canal de conducción. Esto fomenta, significativamente, la transferencia de color de las hojas al agua, ya que se lleva a cabo un efecto de “infusión” que se evidencia fuertemente en el tanque de almacenamiento.

Se puede observar que la primera muestra, la más próxima al día que se hizo limpieza del sistema, refleja el nivel más bajo en color de 25 unidades Pt-Co (figura 18). Con ello se cumple con el límite máximo permisible y se apega a la muestra testigo que denota un resultado de 25,5 unidades Pt-Co (tabla VIII) , y a medida que transcurre el tiempo sin limpieza, con cada escorrentía que acopia, se incrementa el color hasta llegar a un máximo en la muestra 8 de 59 unidades Pt-Co (figura 18), y nuevamente existe congruencia con la muestra testigo donde se aprecia que el color aumenta en la muestra de escorrentía con 84,7 unidades Pt-Co (tabla VIII). La desviación estándar de 11,74 unidades Pt-Co muestran que este parámetro es muy susceptible a salir del cumplimiento de la norma.

4.5.1. Análisis gráfico del color

Figura 18. Color



Fuente: elaboración propia.

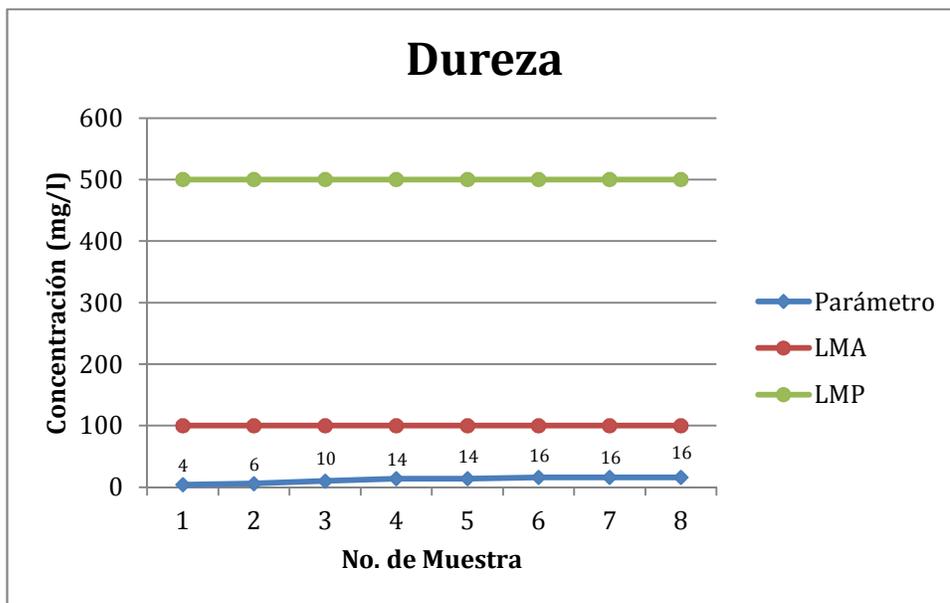
4.6. Interpretación de resultados de la dureza

Por la naturaleza del agua de lluvia, este no es un parámetro principal al que se le deba prestar mayor atención, debido a que el agua no entra en contacto en ningún momento con algún tipo de formación geológica antes de llegar al tanque de almacenamiento.

Este hecho se refleja en los resultados de los análisis del agua. Se aprecia un leve aumento gradual con cada una de las muestras analizadas con un mínimo de 4 mg/l y un máximo de 16 mg/l (tabla VIII), con una desviación estándar de 4,78 mg/l (tabla VIII) que indica que este parámetro difícilmente sobrepasara el límite máximo admisible. En cuanto a la muestra testigo, esta corrobora que el agua, al pasar de precipitación con un resultado de 20 mg/l a 33 mg/l en escorrentía (tabla VII), obtiene el incremento luego del contacto con una superficie.

4.6.1. Análisis gráfico de la dureza

Figura 19. Dureza



Fuente: elaboración propia.

4.7. Interpretación de resultados de nitratos y nitritos

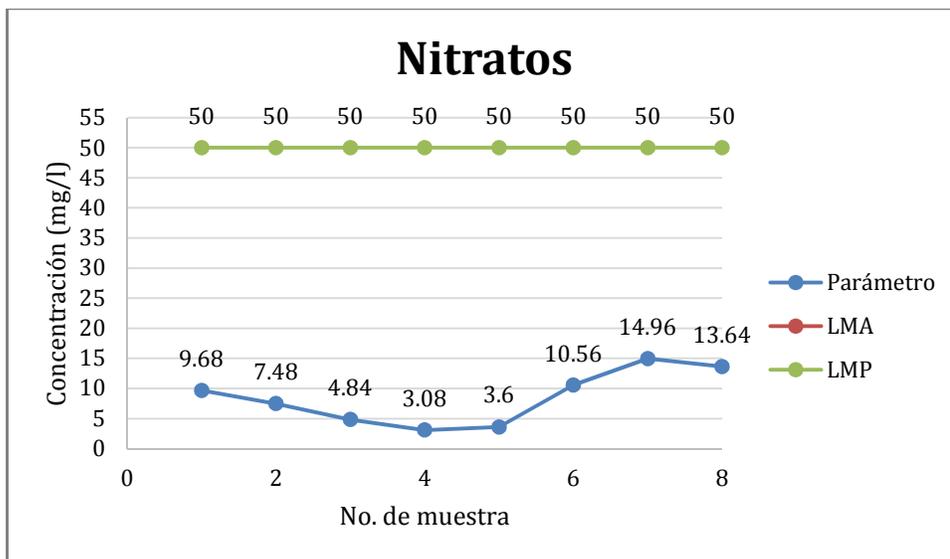
En los nitratos (figura 20) se aprecian niveles variables dentro del tiempo de estudio con un máximo de 14,96 mg/l y mínimo de 3,08 mg/l (tabla VIII). La desviación estándar de 4,5 mg/l muestra que no es un parámetro muy susceptible a salir de cumplimiento. Basados en la teoría se puede analizar que el nitrógeno arrastrado de la atmósfera por la lluvia, finalmente, se transforma en nitratos al entrar en contacto con la tierra y materia orgánica que se acumula en las áreas de captación y canales de conducción. Se puede decir que el proceso anterior favorece la nitrificación ya que, además, se tienen condiciones aerobias por ser un sistema abierto. Las variaciones se deben a que en los momentos en que se tomó la muestra, el agua había estado en contacto con diferentes cantidades de materia orgánica en cada una de las muestras tomadas.

Los niveles de los nitritos (figura 21) se mantienen bajos debido a que dicha forma del nitrógeno es el siguiente paso en el ciclo del nitrógeno. Muestra un nivel máximo de 0,1155 mg/l y mínimo de 0,026 mg/l (tabla VIII) con una desviación estándar de 0,03 mg/l (tabla VIII) que muestra lo poco susceptible de este parámetro a salir del cumplimiento. Un factor que fomenta los bajos niveles, es que no se presentan las condiciones anaerobias necesarias, para dar continuidad al ciclo del nitrógeno, es decir, que no se da la desnitrificación.

En cuanto a la muestra testigo, se corrobora el aumento en ambos parámetros, al pasar de precipitación a escorrentía, 3,4 mg/l en precipitación y 4,1 mg/l en escorrentía para nitratos (tabla VIII), y 0,014 mg/l en precipitación y 0,019 mg/l en escorrentía para nitritos (tabla VIII); sin embargo, en un rango más bajo que los resultados de este estudio. Posiblemente las muestras testigo estuvieron expuestas a menores cantidades de materia orgánica que las del presente estudio.

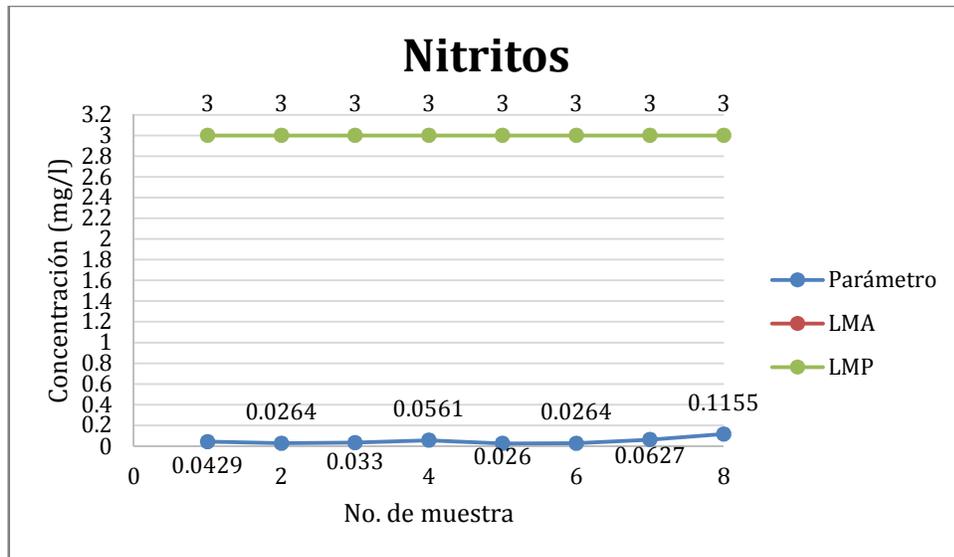
4.7.1. Análisis gráfico de nitratos y nitritos

Figura 20. Nitratos



Fuente: elaboración propia.

Figura 21. Nitritos



Fuente: elaboración propia.

4.8. Interpretación de resultados de sólidos disueltos totales

Se consideró la determinación de este parámetro, ya que todos los demás tipos de sólidos están implícitos en otros parámetros, como la turbiedad. En este estudio es el indicador de la materia, incluyendo gases que el agua pueda recolectar a lo largo de su recorrido por la atmósfera antes de hacer contacto con la superficie de captación.

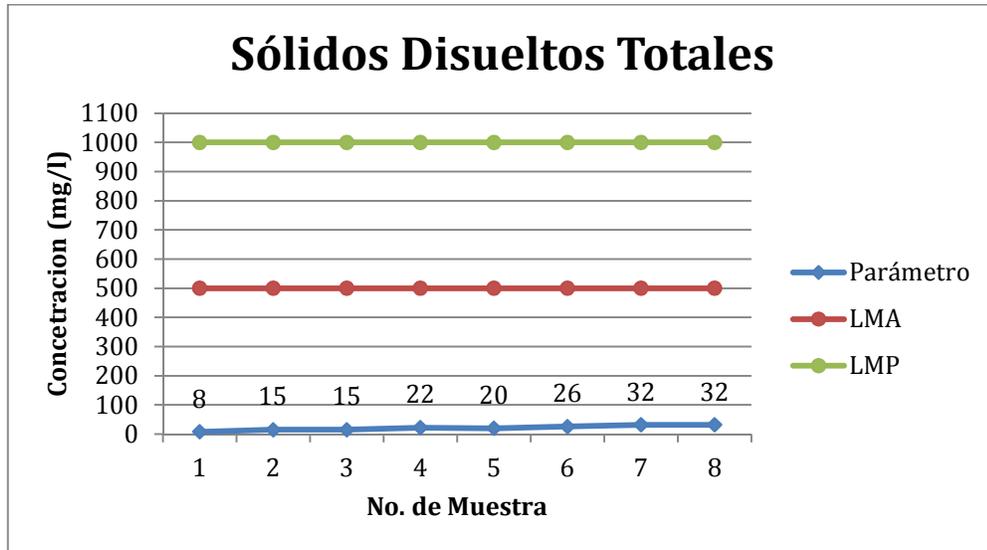
Se puede observar que la primera muestra, la más próxima al día que se hizo limpieza del sistema, refleja el nivel más bajo en de sólidos disueltos 8 mg/l (figura 22) y, a medida que transcurre el tiempo sin limpieza, los valores van incrementando hasta llegar a un máximo de 32 mg/l en la muestra 8 (figura 22). Esto permite determinar que la materia en suspensión se acumula en el componente de almacenamiento del MOSAFARI con cada escorrentía que almacena. Según la desviación estándar de 8,53 mg/l, indica que no es un parámetro susceptible a salir de cumplimiento.

Los resultados de este estudio están en congruencia con la muestra testigo, que demuestra el aumento de este parámetro en la escorrentía, pasando de 5 mg/l en precipitación a 26 mg/l en escorrentía (tabla VII). No alcanza los niveles de este estudio, ya que en la muestra testigo no se analizó agua en un tanque de almacenamiento, por lo cual el parámetro solamente se afectaba de cero para cada nueva lluvia, no así en este estudio donde los sólidos se iban acumulando.

Se aprecia en la figura 22 que los valores están lejos de sobrepasar el LMP, aún en el análisis inicial donde obtuvo un valor de 44 mg/L (tabla II) a pesar de que, antes, estuvo varios meses sin mantenimiento. Por lo anterior, este no es un parámetro al que se le deba prestar atención, ya que en la medida que se mitiguen los demás parámetros; este disminuirá y siempre estará muy por debajo del LMP.

4.8.1. Análisis gráfico de sólidos disueltos totales

Figura 22. Sólidos disueltos totales



Fuente: elaboración propia.

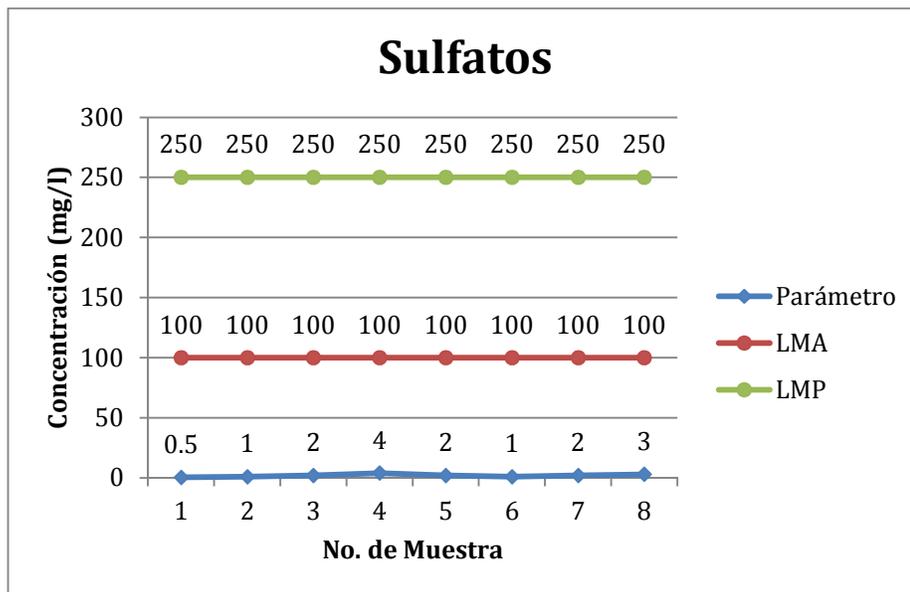
4.9. Interpretación de resultados de sulfatos

Se considera que los niveles expresados en la figura 23 se deben a que la lluvia arrastra dicho ion a través de la atmósfera y se reflejan bajos, debido a que los niveles que contiene la atmósfera no son considerablemente altos dentro de la zona de estudio. Por otro lado, en caso de haber S elemental o en otras formas, desde el momento que es arrastrado por la lluvia hasta que alcanza el tanque de almacenamiento, no se facilitan las condiciones para la formación de sulfatos.

Por otro lado, se está considerablemente lejos de los niveles que pueden llegar a causar problemas al consumidor, mostrando los resultados un máximo de 4 mg/l (figura 23) y con una desviación estándar de 1,15 mg/l que indica que el parámetro no es susceptible a salir de cumplimiento. De igual manera, se confirma con los resultados de la muestra testigo, 7 mg/l en precipitación y 11,7 mg/l en escorrentía (tabla VII), lo que confirma que este parámetro es más afectado durante la escorrentía que en la precipitación.

4.9.1. Análisis gráfico de sulfatos

Figura 23. Sulfatos



Fuente: elaboración propia.

4.10. Interpretación de resultados de temperatura

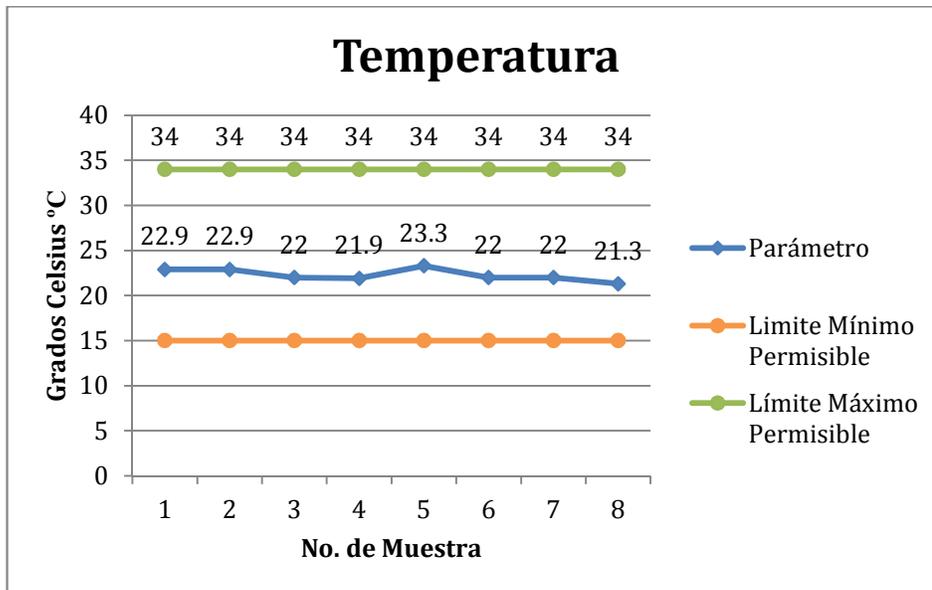
Generalmente, este parámetro en el agua de lluvia no será un problema debido a que siempre estará regulado por la temperatura ambiente y tiende a estar unos grados por debajo que la misma. El consumidor, normalmente, estará acostumbrado al clima de su entorno y a la temperatura del agua que las fuentes naturales brinden.

En la figura 24 se presentan los límites tanto para temperaturas altas como bajas que se consideran forman el rango de aceptación del consumidor. Sin embargo, al no ser un parámetro relacionado frecuentemente con contaminación, un valor por fuera del rango no necesariamente será rechazado por el consumidor a menos que se llegue a niveles extremos, por ejemplo, que queme o que esté a punto de congelamiento. Los resultados en este estudio reflejan una temperatura máxima de 23,3 °C y mínima de 21,3 °C (figura 24).

La muestra testigo muestra un leve aumento de la temperatura durante la escorrentía, pasando de 17 °C en precipitación a 18,5 °C en escorrentía (tabla VII). Esto se puede atribuir al calor almacenado de la superficie a causa de la radiación solar, pero en un tiempo corto las superficies se enfrían y el agua baja nuevamente su temperatura, buscando el valor ambiente como lo corrobora la muestra testigo tomada en el alcantarillado pluvial con resultado de 16,8 °C (tabla VII), punto posterior de muestreo al punto de escorrentía.

4.10.1. Análisis gráfico de resultados de temperatura

Figura 24. Temperatura



Fuente: elaboración propia.

4.11. Interpretación de resultados de coliformes fecales y totales

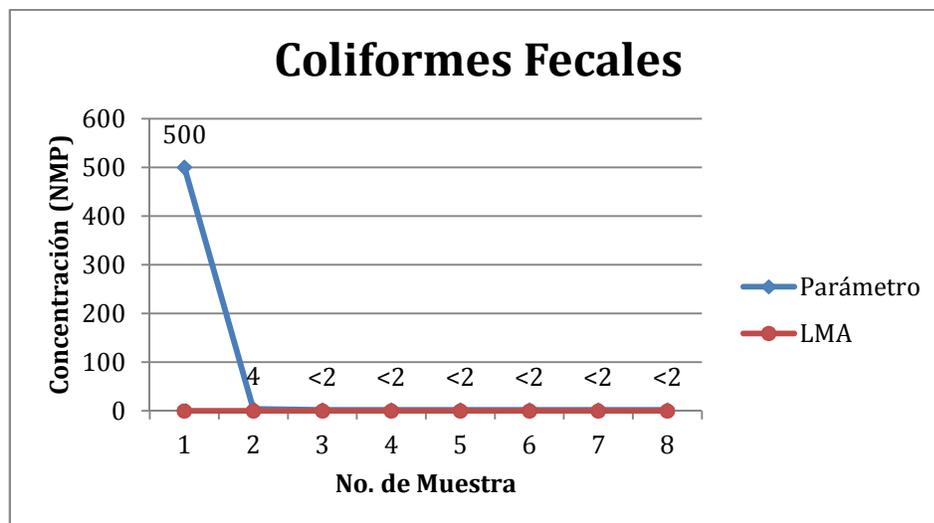
En la figura 1 se puede apreciar que no hay una vía habitual para contaminación con coliformes en las aguas provenientes de la lluvia; sin embargo, se muestra cierta presencia en las muestras tomadas en el tanque de almacenamiento, mostrando únicamente en la muestra 1 un resultado de 500 NMP/100 ml (figura 25) para coliformes fecales.

La mayoría de muestras reflejan que no hay problema de coliformes fecales con un resultado de < 2 NMP/100ml (figura 25). El mismo comportamiento, solamente que, de forma menos predecible, son los resultados de los coliformes totales, los cuales dando como el menor resultado 17 NMP/100ml y más del 50% de las muestras con resultado $>1,600$ NMP/100ml (figura 26), muestran una gran susceptibilidad a contaminación del agua.

Los resultados de la tabla VIII, que indican presencia de coliformes, se deben a que los techos de captación son susceptibles a excretas de aves, así como a hojas, polvo y tierra. Por lo anterior, es imprescindible que haya etapas posteriores de tratamiento, incluyendo desinfección para que el agua sea apta para consumo humano. En la muestra testigo no hubo análisis microbiológico.

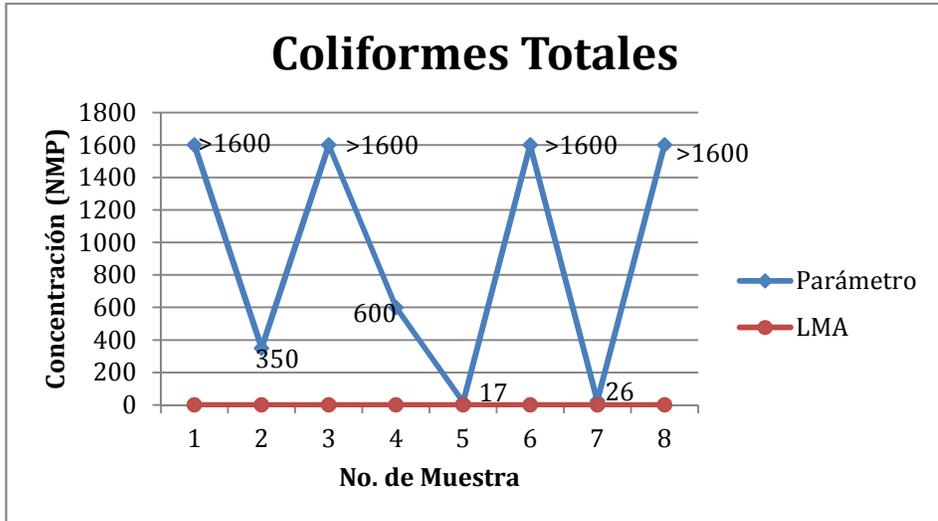
4.11.1. Análisis gráfico de coliformes fecales y totales

Figura 25. Coliformes fecales



Fuente: elaboración propia.

Figura 26. **Coliformes totales**



Fuente: elaboración propia.

5. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Es sabido que todo sistema requiere que se tomen acciones antes de su puesta en marcha, durante su funcionamiento y en eventuales salidas de operación. De esta manera se garantiza que el producto para el que el sistema está previsto, sea entregado siempre con las características deseadas.

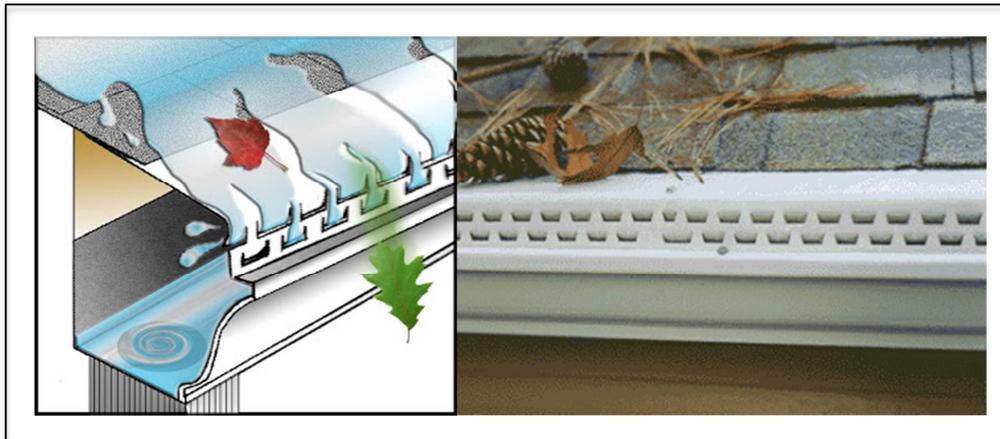
Por lo anterior, a continuación, se enlistan recomendaciones y actividades con las que se pretende garantizar la disminución de la vulnerabilidad a la contaminación del sistema, y que la calidad del agua cruda no sufra alteraciones una vez captada, conducida y almacenada. Las actividades que se describen a continuación están en función del Módulo Sanitario Familiar de Rápida Instalación ubicado en la planta piloto de la ERIS/USAC.

5.1. Relación entre la ubicación y el mantenimiento

La selección de una ubicación ideal simplifica las actividades de mantenimiento y etapas de pulimiento para el tratamiento posterior. Es natural que el sistema se coloque lo más cercano posible a los usuarios, pero si dicho sistema está ubicado cerca de industrias o zonas urbanas con emisiones de gases hacia la atmósfera, muchos compuestos de estas emisiones se transferirán al agua de lluvia durante su precipitación hacia el suelo y la contaminará.

Un factor que influye en la calidad del agua de lluvia es todo lo que esté por encima de las áreas de captación, como las ramas de árboles, cuando el sistema se ubica en una zona arbolada. Este es el caso del sistema objeto de este estudio. Este hecho causa la caída y acumulación de material vegetal, tierra, polvo, y excretas de aves sobre las áreas de captación. Esto implica que deben aplicarse medidas de mantenimiento adicionales, como mecanismos de protección para evitar la contaminación del agua, como lo muestra la figura 27.

Figura 27. **Mecanismo de protección de canaleta**

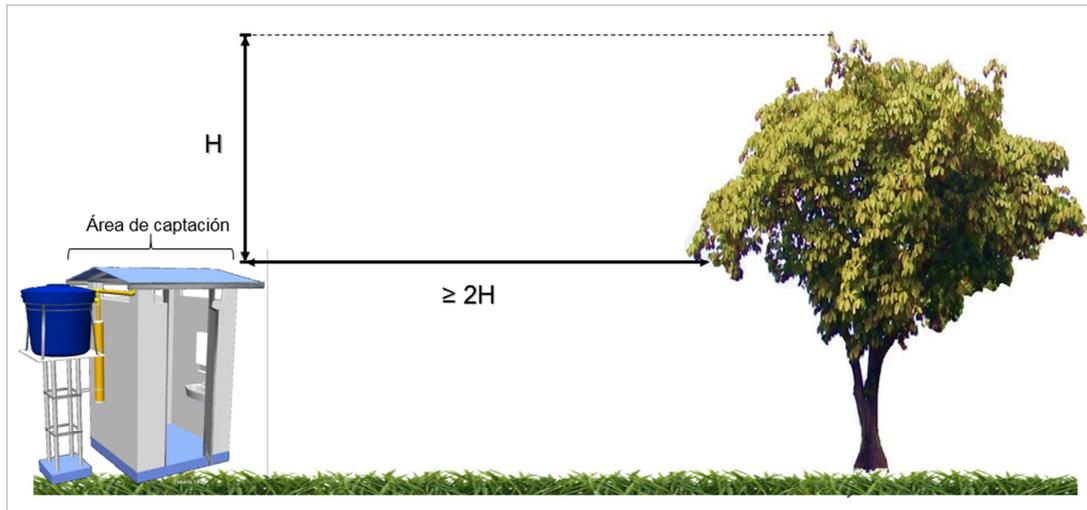


Fuente: <http://tipscasa.blogspot.com/2009/03/canaletas-y-bajadas-de-agua-lluvia.html>.

Consulta: Junio de 2011.

Para disminuir el efecto descrito en el párrafo anterior, cuando se seleccione la ubicación del MOSAFARI, se recomienda adoptar el principio de la ubicación del pluviómetro, el cual se basa en disminuir la influencia que puedan tener cuerpos cercanos y más altos que el sistema; sobre la precipitación de agua de lluvia (Sánchez San Román). Este principio se ilustra con la imagen a continuación:

Figura 28. **Distancia mínima recomendada**



Fuente: elaboración propia.

5.2. Puesta en marcha

Cada vez que el sistema MOSAFARI deje de funcionar por un tiempo prolongado, se interrumpa su funcionamiento por alguna contaminación eventual, se ponga a funcionar por primera vez, o algún escenario equivalente a los anteriores, se realizaran las siguientes actividades.

El tanque debe someterse a una limpieza más exhaustiva antes de ponerlo en marcha, luego de haber estado un tiempo considerable fuera de operación, lo cual pudo deberse a épocas secas o por algún evento de contaminación fortuita. Se recomienda el uso de desinfectantes.

5.2.1. Limpieza de las áreas de captación

Las áreas de captación de agua de lluvias previstas para este sistema es el techo del área de taller del CIDETA. (Ver figura 27)

Figura 29. Limpieza en zona de captación y canaleta



Fuente: elaboración propia.

Antes de empezar a coleccionar agua de lluvia con el MOSAFARI, es primordial la limpieza de las áreas de captación y la canaleta de conducción, ya que la acumulación de materia vegetal que cae de los árboles es un factor que cambia las características del agua. Puede afectar el color, contenido de materia orgánica, olor y sabor, entre otros. Como consecuencia, el pulimiento posterior que se le debe dar al agua, se verá alterado. Además de la limpieza rutinaria, se pueden considerar trampas como una malla de cobertura para la canaleta de conducción. De esta manera se evitará, en buena medida, el ingreso y acumulación de material vegetal en ellas.

5.2.2. Limpieza tanque de almacenamiento

Este tanque debe someterse a una limpieza exhaustiva antes de su puesta en marcha. Se recomienda el uso de desinfectantes.

Figura 30. **Limpieza en tanque de almacenamiento**



Fuente: elaboración propia.

5.2.3. Dispositivo de primeras lluvias

En el marco teórico de este estudio se describió la lluvia ácida y sus efectos. Para contrarrestar la captación de dichas aguas contaminadas, el MOSAFARI cuenta con un mecanismo de descarte de primeras lluvias que funciona por hidráulica por gravedad. Se debe revisar que dicho mecanismo no esté obstruido y, de ser posible, hacerle una prueba de hidráulica. Para ello, se debe dejar correr agua para corroborar su correcto funcionamiento.

5.2.4. Inspección preliminar

Una vez realizadas las limpiezas correspondientes, es necesario hacer una inspección de todo el sistema. Se inicia con las zonas de captación, canaletas de conducción, tanque de almacenamiento, y dispositivo de primeras lluvias. El objetivo es detectar, algún daño, objetos que interfieran en el funcionamiento, entre otros.

5.2.5. Prueba de hidráulica

De ser posible, se debe realizar una prueba que consiste en dejar correr el agua para verificar la funcionalidad de todo el sistema. Debe hacerse desde las zonas de captación, verificación de sistema de descarte de primeras lluvias, hasta que el agua alcance el tanque de almacenamiento.

5.3. Operación normal

5.3.1. Actividades rutinarias en las áreas de captación

Es primordial la limpieza diaria del techo, que es el área de captación, así como la canaleta de conducción, ya que la acumulación de materia vegetal que cae de los árboles es un factor que cambia las características del agua, como el color, contenido de materia orgánica, olor, sabor, entre otros y como consecuencia, el tratamiento posterior que se le debe dar al agua, se alterará.

Además de la limpieza rutinaria se pueden considerar trampas como una malla de cobertura para la canaleta de conducción que evite, en buena medida, el ingreso y acumulación de material vegetal en ellas.

5.3.2. Actividades rutinarias en el tanque de almacenamiento

Es necesaria la limpieza rutinaria del tanque de almacenamiento en periodos de tiempo que van en función de la vulnerabilidad del sistema a recibir contaminantes. Materia como el polvo y tierra se pueden acumular paulatinamente en el fondo del tanque creando complicaciones en los accesorios del mismo, asimismo, puede haber transferencia de otros parámetros contaminantes al agua.

Una limpieza más exhaustiva debe ser realizada a este tanque antes de ponerlo en marcha, luego de haber estado fuera de operación un tiempo considerable, debido a épocas secas o por algún evento de contaminación fortuita. Se recomienda el uso de desinfectantes.

5.3.3. Dispositivo primeras lluvias

Verificar, después de un período de lluvias seguidas, que el depósito de agua se vacíe para que las primeras aguas de las siguientes lluvias sean descartadas.

CONCLUSIONES

1. Los análisis de agua de lluvia realizados al agua almacenada en el MOSAFARI ubicado en la planta piloto de la ERIS/USAC demuestran que se cumple la hipótesis de este estudio, indicando que el agua de lluvia de escorrentía y luego almacenada, a través de buenas prácticas es apta para consumo humano y otros usos que requieran calidad de agua potable según la norma COGUANOR 29 001.
2. Los 17 parámetros evaluados para el estudio de la calidad del agua de lluvia de escorrentía del techo del MOSAFARI cumplen con la norma COGUARNOR 29 001, mientras se realice la limpieza del techo, canaletas y tanque de almacenamiento, ya que, al abandonar las atribuciones de limpieza, el color es el primer parámetro en no cumplir la norma, y el manganeso no cumple en las últimas dos muestras. Los demás parámetros si cumplen en todas las muestras, pero reflejan un aumento conforme transcurre el tiempo de muestreo sin limpieza. Se determinó que implementar medidas de protección para evitar acumulación de hojas y tierra disminuye la contaminación del agua, y se elaboró el manual de operación y mantenimiento.

3. La muestra del agua de escorrentía almacenada, tomada antes de la limpieza, desde el punto de vista fisicoquímico y microbiológico, el color no cumple con un resultado de 300 UDC, los coliformes totales y fecales no cumplen con un resultado de $\geq 1,600$ NMP/100ml. Los demás parámetros cumplen la normativa con los siguientes resultados, la temperatura con 23,1°C, pH de 6,36, conductividad 83 $\mu\text{s}/\text{cm}$, TDS con 44 mg/l, turbiedad de 3,15 UNT, dureza 32 mg/l, calcio 12,83 mg/l, magnesio 0 (cero) mg/l, y cloruros con 35 mg/l.

4. Cuando se llevan a cabo las actividades de limpieza, todos los parámetros cumplen el LMA o LMP de dicha norma, según los siguientes resultados, dureza 4 mg/l, cloruros 5 mg/l, fluoruros 0,07 mg/l, nitratos 9,68 mg/l, nitritos 0,0429 mg/l, hierro 0,06 mg/l, manganeso 0,03 mg/l, color 25 UDC, turbiedad 2,2 NUT, conductividad 15,4 $\mu\text{s}/\text{cm}$, TDS 8mg/l, sulfatos 0,5mg/l, temperatura 22,9°C, coliformes <2 NMP/100ml. Los resultados anteriores son los correspondientes a la primera muestra tomada después de la limpieza, y conforme transcurrió el tiempo sin limpieza y se analizaron las siguientes muestras, el color ya no cumple el LMP a partir de la muestra 4 con un resultado de 45 UDC, y el manganeso ya no cumple a partir de la muestra 7 con un resultado de 0,111mg/l.

5. Al implementar medidas de limpieza en el techo de captación, tanque de almacenamiento y canaletas, así como medidas de protección que disminuyan la acumulación de tierra y hojas, mejora la calidad del agua de lluvia cruda como lo demuestran los parámetros de color y coliformes, cuyo resultado para el color en el análisis inicial en donde se encontró el MOSAFARI en condiciones sin mantenimiento fue de 300 UDC y, luego de la limpieza, tuvo un resultado de 25 UDC, y el valor de los coliformes inicialmente fue de $>1,600$ NMP/100 ml contra cero luego de la limpieza.

Los demás parámetros se encontraron en cumplimiento con la norma en ambos escenarios, pero más elevados previo a la limpieza.

6. El MOSAFARI evaluado no contaba con manual de operación y mantenimiento. Se realizó el manual de operación y mantenimiento, indicando los principales criterios trabajados en este estudio, enfatizando en la frecuencia de la limpieza de cada uno de los componentes del MOSAFARI, uso de mecanismo para evitar acumulación de hojas y tierra, y criterio de ubicación del módulo basado en el principio del pluviómetro, que indica implementar una distancia horizontal igual a 2 veces la diferencia de alturas entre el techo de captación y la copa del árbol.

RECOMENDACIONES

1. Para la instalación se debe tomar en alta consideración la ubicación y contexto cercano del módulo, principalmente al componente de captación, ya que este es el más susceptible a la contaminación que pueda venir de los árboles, las aves, o zonas en donde se levanten partículas por causa del viento.
2. Al momento de la implementación de un MOSAFARI, se debe acompañar de lineamientos de operación y mantenimiento en función del contexto del módulo. Así mismo, debe haber entidades, como el centro de salud más cercano que capaciten a la comunidad para utilizar el sistema.
3. Se debe incluir en las actividades de mantenimiento el monitoreo del mecanismo de descarte de primeras lluvias, ya que estas hacen una limpieza inicial de la atmósfera y el agua tiende a ser ácida y con alta concentración de sólidos en suspensión.
4. Para el módulo sujeto a este estudio, se debe de emplear un mecanismo que impida la acumulación de las hojas de los árboles circundantes dentro de la canaleta recolectora, ya que la clorofila provee al agua un color que en función de la Norma Coganor 29 001 no cumple el límite máximo permisible para consumo humano.

5. Es necesario dejar previsto un mecanismo de acceso para alcanzar las áreas de captación que tributen caudal hacia la canaleta recolectora que va hacia el tanque de almacenamiento del MOSAFARI, ya que, de lo contrario no será práctica común la limpieza de este elemento.
6. Para dar mejor soporte a los resultados de la muestra testigo de la calidad del agua de lluvia de precipitación, se recomienda hacer un análisis de los parámetros contaminantes del aire.
7. Debido a que la mayoría de sistemas de abastecimiento por medio de agua de lluvia se realizan para almacenar agua durante todo el periodo de lluvias, inclusive para almacenar durante el periodo seco, se recomienda que el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, realice un muestreo y análisis del agua de lluvia durante todo un periodo de lluvia para conocer el comportamiento de los parámetros contaminantes.
8. Se recomienda que, para cada instalación de un MOSAFARI, se adapte el manual de operación y mantenimiento al lenguaje cultural de la comunidad donde esté ubicado.

BIBLIOGRAFÍA

1. CASTILLO DIAZ, Ava Gabriela. *Captación y Uso del agua de lluvia, reproducción de plantas medicinales y servicios comunitarios en Purulhá, Rabinal, Baja Verapaz*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. Guatemala, 2008. 152 p.
2. FLORES AUCEDA, Carlos David. *Evaluación de la Calidad del Agua de Lluvia e Infraestructura de Cisternas Rurales, para diferentes usos*. Estudio Especial. USAC, ERIS. Guatemala, 1996. 40 p.
3. INSIVUMEH, Atlas Hidrológico: *Número promedio de días de lluvia al año*. [en línea].
<http://www.insivumeh.gob.gt/hidrologia/ATLAS_HIDROMETEOROLOGICO/Atlas_hidro.htm> [Consulta: abril, 2013].
4. MUCH SANTOS, Zenón. *Manual de Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria*. Material de apoyo para el laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria. Universidad de San Carlos de Guatemala, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, 2012. 55 p.
5. NATIONAL GEOGRAPHIC, *Lluvia ácida*. [en línea].
<<http://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/calentamiento-global/acid-rain-overview>> [Abril, 2013].

6. OMS. *Salud y Derechos Humanos*. [en línea].
<<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs323/es/>> [Abril, 2013].
7. OPS/OMS. [en línea].
<http://www.paho.org/gut/index.php?option=com_content&view=article&id=530&Itemid=216> [Enero, 2013].
8. SANCHEZ SAN ROMÁN, F. JAVIER. *Departamento de Geología*. [en línea].
<<http://web.usal.es/javisan/hidro> > [Marzo, 2013].
9. PROYECTO BIÓSFERA. Gobierno De España. [en línea].
<<http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/alumno/1ESO/hidrosfe/seres.htm>> [Abril, 2013]
10. RODAS, Iris C. *Estadística*. 4a ed. Guatemala: Zantmaró Ediciones S.A., 2002. 211p.
11. ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. *Calidad del Agua*. 3a. ed. Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2009. 485 p.
12. SAWYER, CLAIR N., McCarty, Perry L., & Parkin, Gene F. *Química para Ingeniería Ambiental*. Colombia, 2009. 713 p.
13. GARCÍA SEPULVEDA, Silvia. *La Lluvia Ácida*. Revista digital Innovación y Experiencias Educativas. No. 23. Octubre de 2009. ISSN 1988-6047
14. UNICEF. *Sistema de captación y almacenamiento de Agua de lluvia para abastecimiento a comunidades rurales*. Guatemala, 1997. 48 p.

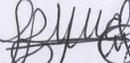
APÉNDICES

Apéndice 1. Análisis fisicoquímico y microbiológico de la muestra no.1




Análisis de la calidad de agua de lluvia

Muestra 1	<p>Lugar: Planta Piloto ERIS-USAC Colonia Aurora II, zona 13, Guatemala.</p> <p>Fuente: Escorrentía de agua de lluvia</p> <p>Día: 27/08/2012</p> <p>Hora: 07:00 a. m.</p> <p>Tomada por: David Aguilar</p>				
FISICO-QUÍMICO					
No.	Análisis	Resultado	Unidades	LMA	LMP
1	Alcalinidad	8	mg/L CaCO ₃		
2	Dureza	4	mg/L CaCO ₃	100	500
3	Cloruros	5	mg/L Cl-	100	250
4	Fluoruros	0.07	mg/L F-	---	1.7
5	Nitratos	9.68	mg/L NO ₃	---	50
6	Nitritos	0.0429	mg/L NO ₂	---	3
7	Hierro	0.06	mg/L Fe	0.3	---
8	Manganeso	0.03	mg/L Mn	0.1	0.4
9	Color	25	unidades	5	35
10	Turbiedad	2.2	NTU	5	15
11	Olor	Materia orgánica		no rechazable	no rechazable
12	Conductividad	15.4	µS /cm	750	1,500
13	Sólidos Disueltos	8	mg/L	500	1,000
14	pH	5.38	unidades	7,0-7,5	6,5-8,5
15	Sulfatos	0.5	mg/L SO ₄	100	250
16	Temperatura	22.9	°C	15-25	34
BACTERIOLÓGICO					
Medio	5 de 10 ml cada uno	5 de 1 ml cada uno	5 de 0,1 ml cada uno	NMP	
EC	5	5	2	500	
VB	5	5	5	≥ 1,600	



Zenen Much Barrios
Ing. Químico Cel. N.º 450
Msc. en Ingeniería Sanitaria

Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria - Técnico Laboratorio



"Dra. Alba Tabarini Molina"

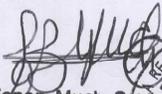
Fuente: elaboración propia. Realizados en el Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria "Dra. Alba Tabarini Molina". Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería.

Apéndice 2. **Análisis fisicoquímico y microbiológico de la muestra no. 2**




Análisis de la calidad del agua de lluvia

Muestra 2	Lugar: Planta Piloto ERIS-USAC Colonia Aurora II, zona 13, Guatemala.				
	Fuente: Escorrentía de agua de lluvia				
	Día: 03/09/2012				
	Hora: 07:00 a. m.				
	Tomada por: David Aguilar				
FISICO-QUÍMICO					
No.	Análisis	Resultado	Unidades	LMA	LMP
1	Alcalinidad	10	mg/L CaCO ₃		
2	Dureza	6	mg/L CaCO ₃	100	500
3	Cloruros	5.5	mg/L Cl ⁻	100	250
4	Fluoruros	0.05	mg/L F ⁻	---	1.7
5	Nitratos	7.48	mg/L NO ₃	---	50
6	Nitritos	0.0264	mg/L NO ₂	---	3
7	Hierro	0.23	mg/L Fe	0.3	---
8	Manganeso	0.057	mg/L Mn	0.1	0.4
9	Color	34	unidades	5	35
10	Turbiedad	1.59	NTU	5	15
11	Olor	materia orgánica		no rechazable	no rechazable
12	Conductividad	27.4	μS/cm	750	1,500
13	Sólidos Disueltos	15	mg/L	500	1,000
14	pH	5.4	unidades	7,0-7,5	6,5-8,5
15	Sulfatos	1	mg/L SO ₄	100	250
16	Temperatura	22.9	°C	15-25	34
BACTERIOLÓGICO					
Medio	5 de 10 ml cada uno	5 de 1 ml cada uno	5 de 0,1 ml cada uno	NMP	
EC	1	1	0	4	
VB	5	4	4	350	



Zenon Much Santos
Ing. Químico Col. N.º. 420
MSc. en Ingeniería Sanitaria
Jefe Técnico Laboratorio

Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria
"Dra. Alba Tabarini Molina"



Fuente: elaboración propia. Realizados en el Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria "Dra. Alba Tabarini Molina". Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería.

Apéndice 3. **Análisis fisicoquímico y microbiológico de la muestra no. 3**





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala



Análisis de la calidad del agua de lluvia

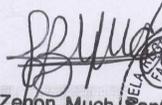
Muestra	3	Lugar: Planta Piloto ERIS-USAC Colonia Aurora II, zona 13	Fuente: Escorrentia de agua de lluvia	Día: 04/09/2012	Hora: 08:00 a. m.
		Tomada por: David Aguilar			

FISICO-QUÍMICO					
No.	Análisis	Resultado	Unidades	LMA	LMP
1	Alcalinidad	12	mg/L CaCO3		
2	Dureza	10	mg/L CaCO3	100	500
3	Cloruros	5.5	mg/L Cl-	100	250
4	Fluoruros	0.06	mg/L F-	---	1.7
5	Nitratos	4.84	mg/L NO3	---	50
6	Nitritos	0.033	mg/L NO2	---	3
7	Hierro	0.13	mg/L Fe	0.3	---
8	Manganeso	0.043	mg/L Mn	0.1	0.4
9	Color	31	unidades	5	35
10	Turbiedad	1.65	NTU	5	15
11	Olor	materia orgánica		no rechazable	no rechazable
12	Conductividad	27.3	µS /cm	750	1,500
13	Sólidos Disueltos	15	mg/L	500	1,000
14	pH	5.68	unidades	7,0-7,5	6,5-8,5
15	Sulfatos	2	mg/L SO4	100	250
16	Temperatura	22	°C	15-25	34

BACTERIOLÓGICO				
Medio	5 de 10 ml cada uno	5 de 1 ml cada uno	5 de 0,1 ml cada uno	NMP
EC	0	0	0	<2
VB	5	5	5	> 1,600

Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria

"Dra. Alba Tabarini Molina"




Zepón Much Santos
Ing. Químico Col. 427
MSc. en Ingeniería Sanitaria
Jefe Técnico Laboratorio

Fuente: elaboración propia. Realizados en el Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria "Dra. Alba Tabarini Molina". Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería.

Apéndice 4. **Análisis fisicoquímico y microbiológico de la muestra no. 4**



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

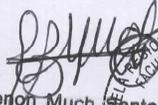


Análisis de la calidad del agua de lluvia

Muestra	Lugar: Planta Piloto ERIS-USAC Colonia Aurora II, zona 13				
4	Fuente: Escorrentía de agua de lluvia				
	Día: 18/09/2012				
	Hora: 09:30 a. m.				
Tomada por: David Aguilar					
FISICO-QUÍMICO					
No.	Análisis	Resultado	Unidades	LMA	LMP
1	Alcalinidad	14	mg/L CaCO ₃		
2	Dureza	14	mg/L CaCO ₃	100	500
3	Cloruros	7.5	mg/L Cl ⁻	100	250
4	Fluoruros	0.37	mg/L F ⁻	---	1.7
5	Nitratos	3.08	mg/L NO ₃	---	50
6	Nitritos	0.0561	mg/L NO ₂	---	3
7	Hierro	0.13	mg/L Fe	0.3	---
8	Manganeso	0.074	mg/L Mn	0.1	0.4
9	Color	45	unidades	5	35
10	Turbiedad	1.81	NTU	5	15
11	Olor	materia orgánica		no rechazable	no rechazable
12	Conductividad	41.3	μS /cm	750	1,500
13	Sólidos Disueltos	22	mg/L	500	1,000
14	pH	5.58	unidades	7,0-7,5	6,5-8,5
15	Sulfatos	4	mg/L SO ₄	100	250
16	Temperatura	21.9	°C	15-25	34
BACTERIOLÓGICO					
Medio	5 de 10 ml cada uno	5 de 1 ml cada uno	5 de 0,1 ml cada uno		NMP
EC	0	0	0		<2
VB	5	5	4		600

Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria

"Dra. Alba Tabarini Molina"




Zenon Much Santos
Ing. Químico Col. No. 42
MSc. en Ingeniería Sanitaria
Jefe Técnico Laboratorio

Fuente: elaboración propia. Realizados en el Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria "Dra. Alba Tabarini Molina". Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería.

Apéndice 5. **Análisis fisicoquímico y microbiológico de la muestra no. 5**



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

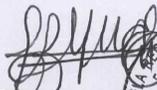


Análisis de la calidad del agua de lluvia

5	Muestra		Lugar: Planta Piloto ERIS-USAC Colonia Aurora II, zona 13		
			Fuente: Escorrentía de agua de lluvia		
			Día: 24/09/2012		
			Hora: 08:30 a. m.		
			Tomada por: David Aguilar		
FISICO-QUÍMICO					
No.	Análisis	Resultado	Unidades	LMA	LMP
1	Alcalinidad	12	mg/L CaCO ₃		
2	Dureza	14	mg/L CaCO ₃	100	500
3	Cloruros	6.5	mg/L Cl ⁻	100	250
4	Fluoruros	0.17	mg/L F ⁻	---	1.7
5	Nitratos	3.6	mg/L NO ₃	---	50
6	Nitritos	0.026	mg/L NO ₂	---	3
7	Hierro	0.17	mg/L Fe	0.3	---
8	Manganeso	0.069	mg/L Mn	0.1	0.4
9	Color	38	unidades	5	35
10	Turbiedad	2.19	NTU	5	15
11	Olor	materia orgánica		no rechazable	no rechazable
12	Conductividad	38	μS/cm	750	1,500
13	Sólidos Disueltos	20	mg/L	500	1,000
14	pH	5.62	unidades	7,0-7,5	6,5-8,5
15	Sulfatos	2	mg/L SO ₄	100	250
16	Temperatura	23.3	°C	15-25	34
BACTERIOLÓGICO					
Medio	5 de 10 ml cada uno	5 de 1 ml cada uno	5 de 0,1 ml cada uno	NMP	
EC	0	0	0	<2	
VB	4	0	1	17	

Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria

"Dra. Alba Tabarini Molina"




Zedon Much Santos
Ing. Químico Col. No. 420
MSc. en Ingeniería Sanitaria
Jefe Técnico Laboratorio

Fuente: elaboración propia. Realizados en el Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria "Dra. Alba Tabarini Molina". Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería.

Apéndice 6. **Análisis fisicoquímico y microbiológico de la muestra no. 6**

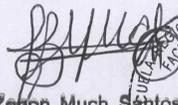



Análisis de la calidad del agua de lluvia

Muestra 6	Lugar: Planta Piloto ERIS-USAC Colonia Aurora II, zona 13 Fuente: Escorrentia de agua de lluvia Día: 25/09/2012 Hora: 08:30 a. m. Tomada por: David Aguilar				
FISICO-QUÍMICO					
No.	Análisis	Resultado	Unidades	LMA	LMP
1	Alcalinidad	16	mg/L CaCO ₃		
2	Dureza	16	mg/L CaCO ₃	100	500
3	Cloruros	5.5	mg/L Cl ⁻	100	250
4	Fluoruros	0.23	mg/L F ⁻	---	1.7
5	Nitratos	10.56	mg/L NO ₃	---	50
6	Nitritos	0.0264	mg/L NO ₂	---	3
7	Hierro	0.18	mg/L Fe	0.3	---
8	Manganeso	0.084	mg/L Mn	0.1	0.4
9	Color	55	unidades	5	35
10	Turbiedad	3.26	NTU	5	15
11	Olor	materia orgánica		no rechazable	no rechazable
12	Conductividad	49.5	μS/cm	750	1,500
13	Sólidos Disueltos	26	mg/L	500	1,000
14	pH	5.74	unidades	7,0-7,5	6,5-8,5
15	Sulfatos	1	mg/L SO ₄	100	250
16	Temperatura	22	°C	15-25	34
BACTERIOLÓGICO					
Medio	5 de 10 ml cada uno	5 de 1 ml cada uno	5 de 0,1 ml cada uno	NMP	
EC	0	0	0	<2	
VB	5	5	5	>1,600	

Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria

"Dra. Alba Tabarini Molina"




Zenon Much Santos
 Ing. Químico Col. No. 2120
 MSc. en Ingeniería Sanitaria
 Jefe Técnico Laboratorio

Fuente: elaboración propia. Realizados en el Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria "Dra. Alba Tabarini Molina". Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería.

Apéndice 7. **Análisis fisicoquímico y microbiológico de la muestra no. 7**





Análisis de la calidad del agua de lluvia

7	Muestra		Lugar: Planta Piloto ERIS-USAC Colonia Aurora II, zona 13		
			Fuente: Escorrentía de agua de lluvia		
			Día: 01/10/2012		
			Hora: 08:30 a. m.		
			Tomada por: David Aguilar		
FISICO-QUÍMICO					
No.	Análisis	Resultado	Unidades	LMA	LMP
1	Alcalinidad	20	mg/L CaCO3		
2	Dureza	16	mg/L CaCO3	100	500
3	Cloruros	7	mg/L Cl-	100	250
4	Fluoruros	0.31	mg/L F-	---	1.7
5	Nitratos	14.96	mg/L NO3	---	50
6	Nitritos	0.0627	mg/L NO2	---	3
7	Hierro	0.2	mg/L Fe	0.3	---
8	Manganeso	0.111	mg/L Mn	0.1	0.4
9	Color	45	unidades	5	35
10	Turbiedad	3.43	NTU	5	15
11	Olor	materia orgánica		no rechazable	no rechazable
12	Conductividad	56.1	µS/cm	750	1,500
13	Sólidos Disueltos	32	mg/L	500	1,000
14	pH	6.19	unidades	7,0-7,5	6,5-8,5
15	Sulfatos	2	mg/L SO4	100	250
16	Temperatura	22	°C	15-25	34
BACTERIOLÓGICO					
Medio	5 de 10 ml cada uno	5 de 1 ml cada uno	5 de 0,1 ml cada uno	NMP	
EC	0	0	0	<2	
VB	4	2	1	26	

Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria

"Dra. Alba Tabarini Molina"

Zenon Much Santos
 Ing. Químico Col. No. 420
 MSc. en Ingeniería Sanitaria
 Jefe Técnico Laboratorio



Fuente: elaboración propia. Realizados en el Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria "Dra. Alba Tabarini Molina". Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería.

Apéndice 8. **Análisis fisicoquímico y microbiológico de la muestra no. 8**



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala



Análisis de la calidad del agua de lluvia

Muestra 8	Lugar: Planta Piloto ERIS-USAC Colonia Aurora II, zona 13				
	Fuente: Escorrentía de agua de lluvia				
	Día: 02/10/2012				
	Hora: 09:00 a. m.				
	Tomada por: David Aguilar				
FISICO-QUÍMICO					
No.	Análisis	Resultado	Unidades	LMA	LMP
1	Alcalinidad	20	mg/L CaCO3		
2	Dureza	16	mg/L CaCO3	100	500
3	Cloruros	7.5	mg/L Cl-	100	250
4	Fluoruros	0.08	mg/L F-	---	1.7
5	Nitratos	13.64	mg/L NO3	---	50
6	Nitritos	0.1155	mg/L NO2	---	3
7	Hierro	0.22	mg/L Fe	0.3	---
8	Manganeso	0.108	mg/L Mn	0.1	0.4
9	Color	59	unidades	5	35
10	Turbiedad	6.1	NTU	5	15
11	Olor	materia orgánica		no rechazable	no rechazable
12	Conductividad	56.1	µS/cm	750	1,500
13	Sólidos Disueltos	32	mg/L	500	1,000
14	pH	6.19	unidades	7,0-7,5	6,5-8,5
15	Sulfatos	3	mg/L SO4	100	250
16	Temperatura	21.3	°C	15-25	34
BACTERIOLÓGICO					
Medio	5 de 10 ml cada uno	5 de 1 ml cada uno	5 de 0,1 ml cada uno	NMP	
EC	0	0	0	<2	
VB	5	5	5	>1,600	

Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria

"Dra. Alba Tabarini Molina"

Zenón Much Santos
Ing. Químico Col. No. 420
MSc. en Ingeniería Sanitaria
Jefe Técnico Laboratorio



Fuente: elaboración propia. Realizados en el Laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria "Dra. Alba Tabarini Molina". Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería.

ANEXOS

Anexo 1. Isoyetas promedio anual de la República de Guatemala



Fuente: INSIVUMEH, Atlas Hidrológico: *Número promedio de días de lluvia al año.* [en línea].

