



Caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua de lluvia de la Región Metropolitana de Guatemala

Fundación para la Conservación del Agua de la Región
Metropolitana de Guatemala

1. Lorena Castillo Mejía
Tesisista – Ing. Ambiental, Universidad Rafael Landívar
Correo electrónico: lc2355890@gmail.com

2. Ángela Méndez Mora
Coordinadora técnica de FUNCAGUA
Correo electrónico: tecnico@funcagua.org.gt

Lorena Castillo Mejía [1]
Ángela Méndez Mora [2]

[1] Tesisista – Ingeniería Ambiental, Universidad Rafael Landívar

[2] Fundación para la Conservación del Agua de la Región Metropolitana de Guatemala –
tecnico@funcagua.org.gt

Resumen

Se realizó una caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua de lluvia en la Región Metropolitana de Guatemala, con el objetivo de evaluar su calidad y posibles usos.

El estudio se llevó a cabo en cinco puntos de muestreo ubicados en los siguientes municipios: Mixco, Guatemala, Chinautla, Villa Nueva y Fraijanes.

Durante la temporada de lluvia del 2024 (mayo a noviembre), se recolectaron aproximadamente 2 muestras al mes por cada punto: una fisicoquímica y una microbiológica.

Las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Análisis Fisicoquímicos y Microbiológicos (LAFYM) de la Universidad de San Carlos, con base a los parámetros establecidos por la Norma COGUANOR 29001.

En total, se ingresaron 54 muestras al laboratorio. Los resultados indican que el agua de lluvia cumple con los límites permitidos para parámetros fisicoquímicos, pero no para los microbiológicos, lo cual limita su uso directo para consumo humano. Por lo tanto, se concluye que el agua pluvial recolectada requiere de un tratamiento o proceso de desinfección adecuado antes de poder ser utilizada con fines de consumo humano.

Esta caracterización del agua de lluvia urbana permite respaldar la realización de intervenciones de cosecha de agua pluvial con tratamientos sencillos como una fuente alternativa a la creciente escasez del agua y por ende reforzar la implementación de estos proyectos como una medida de adaptación al cambio climático en hogares y otras instalaciones urbanas.

Palabras Clave

Agua de lluvia, Calidad, Consumo humano

Abstract

This study documents research on the physicochemical and microbiological characterization of rainwater in the Metropolitan Region of Guatemala, with the aim of evaluating its quality and potential uses. The study was carried out at five sampling points located in: Mixco, Guatemala, Chinautla, Villa Nueva, and Fraijanes.

During the 2024 rainy season (May to November), approximately two samples per month were collected at each point: one physicochemical and one microbiological.

The samples were analyzed at the Laboratory of Physicochemical and Microbiological Analysis (LAFYM) of the University of San Carlos, based on the parameters established by the COGUANOR 29001 Standard.

A total of 54 samples were submitted to the laboratory. The results indicate that rainwater complies with the permissible limits for physicochemical parameters, but not for microbiological ones, which limits its direct use for human consumption. Therefore, it is concluded that the collected rainwater requires proper treatment or disinfection before it can be used for human consumption.

This characterization of urban rainwater supports rainwater harvesting interventions with simple treatments as an alternative source in water scarcity scenarios, therefore strength the implementation of these projects as a climate change adaptation measure in homes and other urban facilities.

Key words

Rainwater, quality, Human consumption

Introducción

La escasez de agua en la ciudad de Guatemala se ha consolidado como uno de los principales desafíos socioambientales en las últimas décadas. Factores como la deforestación y otras actividades antropogénicas han alterado significativamente el ciclo hidrológico, reduciendo la recarga de los mantos freáticos y, en consecuencia, disminuyendo la disponibilidad hídrica en la región. Asimismo, el crecimiento demográfico y la expansión urbana han incrementado la presión sobre los recursos naturales existentes (Van Tuylen, 2011).

La principal fuente de abastecimiento hídrico en la Región Metropolitana de Guatemala es desde pozos mecánicos en un 83%, tanto los que son operados por las municipalidades como pozos propios en condominios privados que los administran (FUNCAGUA, 2022). La otra parte está sustentada en plantas de tratamiento de agua superficial y su importación a través de un acueducto proveniente de los ríos Xayá y Pixcayá, así como de pozos mecánicos que extraen agua subterránea (Van Tuylen, 2011).

Esta dependencia de los mantos freáticos resalta la necesidad de explorar fuentes alternativas, como la captación de agua de lluvia. En este contexto, FUNCAGUA lidera proyectos de captación de agua de lluvia y conservación forestal, contribuyendo activamente a la seguridad hídrica de la Región Metropolitana de Guatemala (FUNCAGUA, 2022).

Entre 2018 y 2025 FUNCAGUA ha instalado 15 sistemas de cosecha de agua de lluvia en centros educativos que presentan abastecimiento intermitente de agua beneficiando así la higiene y entorno educativo de cientos de niños.

El aprovechamiento del agua pluvial mediante sistemas de captación representa una estrategia viable para reducir la sobreexplotación de acuíferos (Rojas, et al., 2012). No obstante, para garantizar su uso seguro, es indispensable realizar una caracterización fisicoquímica y microbiológica conforme a normativas correspondientes, como la Norma COGUANOR NTG 29001, que establece los parámetros que el agua para consumo humano debe cumplir en Guatemala.

Metodología y materiales

Durante la temporada de lluvia del 2024 (mayo-noviembre) se realizó la captación mensual de 2 muestras de agua pluvial (una muestra para análisis fisicoquímico y una para análisis microbiológico) en cada uno de los cinco puntos presentados en la Tabla 1.

Tabla 1. Ubicación de los puntos de captación de muestras de agua de lluvia

Municipio	Ubicaciones	Latitud	Longitud
Mixco	Colonia Monte Real II (zona 4)	14° 38' 49"N	90° 34'09.9"W
Chinautla	Finca Lomas de Emmanuel San Antonio Las Flores	14° 45' 17"N	90° 30'32.5"W
Villa Nueva	Parque Nacional Naciones Unidas, Villa Nueva	14° 29' 45.2"N	90° 36'53.3"W
Guatemala	Edificio Torre 11 (zona 11)	14° 36' 10.3"N	90° 33'01.2"W
Fraijanes	Finca San Francisco, Villa Canales, km. 21.5 Carretera a El Salvador	14° 19' 41.4"N	90° 31'26.8"W

En la Figura 1, se presenta un mapa de localización de los puntos de captación mencionados anteriormente.



Figura 1. Mapa de localización de los puntos de captación de agua de lluvia. Fuente: propia

Cantidad de muestra captada por tipo de análisis

- Análisis fisicoquímico. 1 L de agua de pluvial
- Análisis microbiológico. 200 ml de agua pluvial

Tipo de envase de captación utilizado por tipo de análisis

- Análisis fisicoquímico. Envases de plástico previamente esterilizados en el laboratorio de la Universidad Rafael Landívar
- Análisis microbiológico. Envases de vidrio previamente esterilizados en el laboratorio de la Universidad Rafael Landívar

Almacenamiento y transporte de las muestras

Cada una de las muestras captadas fue almacenada en una hielera a una temperatura de 4°C previo al ingreso al Laboratorio de Análisis Fisicoquímicos y Microbiológicos (LAFYM) de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Descripción técnica de los equipos de captación

Se utilizaron equipos totalizadores *OPeNS totalizer*, los cuales fueron entregados por la Universidad de Texas en Arlington (*The University of Texas at Arlington*). Estos equipos han sido elaborados por el laboratorio de detección ambiental de la Universidad Estatal de Oregón (*Openly Published Environmental Sensing (OPeNS) Lab at Oregon State University*).

Los equipos están compuestos por un embudo extraíble de menos de 10 cm de diámetro. Este dirige el agua hacia un filtro tipo rejilla encargado de bloquear el paso de cualquier materia u objeto sólido. A continuación, el agua fluye hacia una cámara de flotación que contiene una boya removible que actúa como un mecanismo de sellado automático tras cada evento de precipitación, evitando así la evaporación y la contaminación de la muestra. Finalmente, el agua es almacenada en una bolsa de captación con capacidad de 3,000 ml, cuyas dimensiones son 9.0 x 12.0 x 4.0 pulgadas y con una boquilla de 22 mm. Esta bolsa está fabricada por diferentes capas de los siguientes materiales: PET12/AL6/NY15/LLDPE120, y corresponde al modelo MylarFoil Stand Up SpoutPAK™.

A continuación, en la Figura 2 se presentan imágenes sobre la composición del embudo y la cámara de flotación de estos equipos.

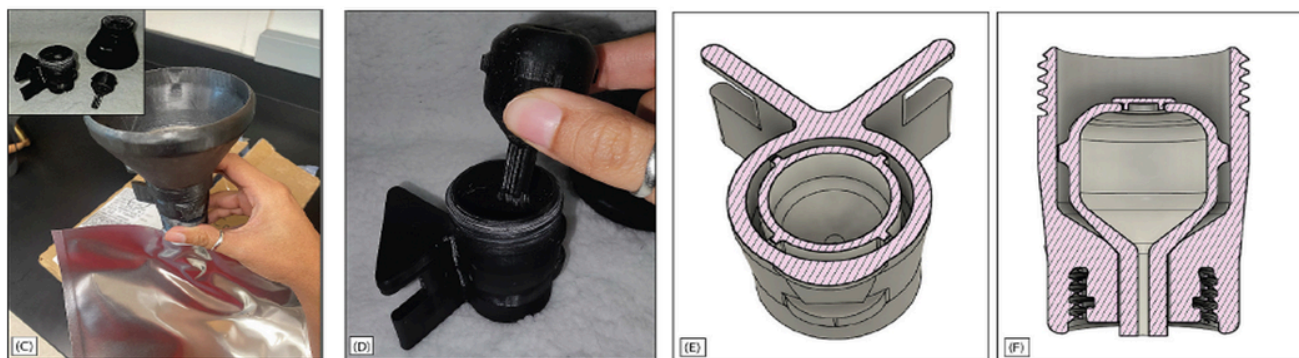


Figura 2. Embudo y boquilla del OPeNS totalizer. Fuente: (Arellano et al., 2024)

Por otro lado, en la Figura 3 se presenta una imagen de la bolsa de captación. Finalmente, en la Figura 4 se visualiza uno de los equipos de los puntos de captación.



Figura 3. Bolsa de captación.
Fuente: IMPAK CORPORATION (s.f.)



Figura 4. Equipo de captación ubicado en Chinautla.
Fuente: propia

Sin embargo, debido al desgaste de estos equipos por las condiciones climáticas a lo largo del tiempo, fueron sustituidos por equipos elaborados de manera casera para continuar con la captación de las muestras de agua de lluvia.

Su elaboración se basó en los lineamientos mencionados anteriormente, para garantizar la calidad y representatividad de las muestras captadas. Cada equipo está conformado por un embudo de 20 cm de diámetro, un filtro de lavaplatos que evita el ingreso de cualquier material sólido y una tapadera asegurada con cinta adhesiva para proteger la muestra de la luz solar y, por ende, del aumento de la temperatura. Como recipiente de captación, se utilizó un galón de plástico previamente esterilizado, pintado de color negro en el exterior y recubierto por papel aluminio para proteger la muestra de la luz solar y regular su temperatura.

A continuación, en la Figura 5 se presenta una imagen de uno de los equipos de captación caseros instalados en los puntos de captación



Figura 5. Equipo de captación casero. Fuente: propia

Unidades de análisis

En la Tabla 2, se presentan los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos sobre los cuales se realizó la caracterización, con base a la Norma COGUANOR 29001.

Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

Parámetros fisicoquímicos	Unidad	Método analítico
Color	(unidades Pt-Co)	Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater 22nd Edition
Olor	No rechazable	
Conductividad	$\mu\text{S/cm}$	
Sólidos totales disueltos	(mg/L)	
Turbidez	(UNT)	
pH		
Dureza total	(mg/L)	
Hierro total	(mg/L)	Método Spectroquant Merck Hierro 1.14770
Calcio	(mg/L)	Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater 22nd Edition
Magnesio	(mg/L)	
Manganeso	(mg/L)	Método Spectroquant Merck Manganeso 1.14770
Sulfatos	(mg/L)	Método HACH Sulfatos HWAH 8051
Aluminio	(mg/L)	Método Spectroquant Merck Aluminio 1.14825
Zinc	(mg/L)	Método HACH Zinc HWAH 8009
Cobre	(mg/L)	Método Spectroquant Merck Cobre 1.14767
Parámetros microbiológicos	Dimensional	Método analítico
<i>Escherichia coli</i>	(NMP/100)	Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater 22 ed. 2012. AOAC 17 ed. Método Oficial 991.15 Cap. 17.3.06 p 25. Coliformes totales y <i>Escherichia coli</i> en agua. Tecnología de Sustrato Definido (Colilert).
Coliformes totales	(NMP/100)	

Observación: los parámetros de cloruro (mg/L) y cloro residual libre (mg/L) no fueron incluidos en esta investigación debido al tipo de agua analizada.

Resultados

Del total de muestras estimadas, se realizó el análisis de 54 muestras de agua de lluvia en total: 25 muestras fisicoquímicas y 29 muestras microbiológicas. Las dos causas principales de la ausencia de captación de muestras fue la falta de precipitación durante algunos meses y la pérdida de muestra debido al desgaste de los equipos a lo largo del tiempo. A continuación, en las figuras 6 y 7 se presenta un cumplimiento global de cada parámetro con respecto a la Norma COGUANOR 29001.

De acuerdo con los informes de resultados de los análisis fisicoquímicos, se observa que la mayoría de los parámetros analizados cumplen con los límites establecidos por la Norma COGUANOR 29001.

Por otro lado, según los informes de resultados de los análisis microbiológicos, se observa un incumplimiento de los parámetros analizados con los límites establecidos por la Norma COGUANOR 29001.



Figura 6. Cumplimiento global de muestras fisicoquímicas según Norma COGUANOR 29001



Figura 7. Cumplimiento global de muestras microbiológicas según Norma COGUANOR 29001

Resultados fisicoquímicos

En la tabla 3, se presentan los resultados de los análisis fisicoquímicos del punto de captación ubicado en Mixco. Se visualiza que la mayoría de los parámetros analizados para este punto de captación sí cumplen con los límites establecidos por la norma citada anteriormente, a excepción de: Hierro Total y Manganeso durante el mes de julio, Conductividad y Sólidos Totales Disueltos durante el mes de septiembre.

En la tabla 4, se presentan los resultados de los análisis fisicoquímicos del punto de captación ubicado en Zona 11. Se visualiza que la mayoría de los parámetros analizados para este punto de captación sí cumplen con los límites establecidos por la norma citada anteriormente, a excepción de: Hierro Total y Manganeso durante el mes de julio.

En la tabla 5, se presentan los resultados de los análisis fisicoquímicos del punto de captación ubicado en Chinautla. Se visualiza que la mayoría de los parámetros analizados para este punto de captación sí cumplen con los límites establecidos por la norma citada anteriormente, a excepción de: pH durante el mes de junio, Color durante el mes de julio y, Hierro y Manganeso durante el mes de agosto.

Para estos tres puntos de captación, no se incluyeron los meses de mayo y noviembre debido a que no se captó suficiente muestra para su análisis.

En la tabla 6, se presentan los resultados de los análisis fisicoquímicos del punto de captación ubicado en Villa Nueva. Se visualiza que la mayoría de los parámetros analizados para este punto de captación sí cumplen con los límites establecidos por la norma citada anteriormente, a excepción de: Color y pH durante el mes de junio, pH durante el mes de julio y, Conductividad y Sólidos Totales durante el mes de octubre.

Para este punto de captación, no se incluyeron los meses de mayo, agosto y noviembre debido a que no se captó suficiente muestra para su análisis.

En la tabla 7, se presentan los resultados de los análisis fisicoquímicos del punto de captación ubicado en Fraijanes. Se visualiza que la mayoría de los parámetros analizados para este punto de captación sí cumplen con los límites establecidos por la norma citada anteriormente, a excepción de: Turbiedad y pH durante el mes de junio, pH durante el mes de julio, Conductividad y Sólidos Totales durante el mes de agosto y septiembre, y Color durante el mes de octubre y noviembre.

Para este punto de captación, no se incluyó el mes de mayo debido a que no se captó suficiente muestra para su análisis.

Tabla 3. Resultados de análisis fisicoquímicos del punto de captación ubicado en Mixco

Parámetro	Unidad dimensional	LMA	LMP	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
Color	(UPt/Co)	5,0	35,0	14,0	14,0	3,0	11,0	9,0
Olor		NO RECHAZABLE	NO RECHAZABLE	NO RECHAZABLE	NO RECHAZABLE	NO RECHAZABLE	NO RECHAZABLE	NO RECHAZABLE
Conductividad	(μ S/cm)	750	1,500	8,16	11,96	7,65	9,262	14,31
Sólidos Totales Disueltos	(mg/ L)	500,0	1000,0	4,5	6,4	4,3	5,038	7,23
Turbiedad	(UNT)	5,0	15,0	0,81	0,63	1,34	1,34	1,14
pH		7,0-7,5	6,5-8,5	6,93	7,61	6,02	7,06	8,06
Dureza Total	(mg/ L)	100,0	500,0	24,4	31,8	20,6	36,4	15,8
Hierro Total	(mg/ L)	0	0,3	0,032	0,775	0,088	0,089	0,040
Calcio	(mg/ L)	75,0	150,0	5,60	9,05	5,8	9,7	1,92
Magnesio	(mg/ L)	50,0	100,0	2,52	2,23	1,5	2,9	1,67
Manganeso	(mg/ L)	0,1	0,4	0,041	0,480	0,072	0,097	0,056
Sulfatos	(mg/ L)	100,0	250,0	1,0	0,0	1,0	1,0	0,0
Aluminio	(mg/ L)	0,050	0,10	0,013	0,099	0,006	<0,020	0,029
Zinc	(mg/ L)	3,0	70,0	0,04	0,04	0,15	0,09	0,38
Cobre	(mg/ L)	0,050	1,500	0,12	0,07	0,15	0,04	0,40

Tabla 4. Resultados de análisis fisicoquímicos del punto de captación ubicado en Zona 11

Parámetro	Unidad dimensional	LMA	LMP	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
Color	(UPt/Co)	5,0	35,0	16,0	7,0	6,0	9,0	15,0
Olor		NO RECHAZABLE	NO RECHAZABLE	NO RECHAZABLE	NO RECHAZABLE	NO RECHAZABLE	NO RECHAZABLE	NO RECHAZABLE
Conductividad	(μ S/cm)	750	1,500	21,6	19,7	33,86	38,34	50,13
Sólidos Totales Disueltos	(mg/ L)	500,0	1000,0	11,07	10,15	1,21	19,29	24,7
Turbiedad	(UNT)	5,0	15,0	0,86	0,43	6,52	0,86	0,67
pH		7,0-7,5	6,5-8,5	6,15	6,76	6,52	6,60	7,06
Dureza Total	(mg/ L)	100,0	500,0	38,0	46,2	26,0	72,6	30,4
Hierro Total	(mg/ L)	0	0,3	0,034	0,437	0,150	0,084	0,040
Calcio	(mg/ L)	75,0	150,0	5,52	6,09	7,20	16,9	7,69
Magnesio	(mg/ L)	50,0	100,0	5,87	7,52	1,94	7,4	2,72
Manganeso	(mg/ L)	0,1	0,4	0,038	0,470	0,131	0,073	0,046
Sulfatos	(mg/ L)	100,0	250,0	2,0	3,0	1,0	2,0	3,0
Aluminio	(mg/ L)	0,050	0,10	< 0,020	0,010	0,055	0,017	0,036
Zinc	(mg/ L)	3,0	70,0	0,08	0,09	0,19	0,11	0,09
Cobre	(mg/ L)	0,050	1,500	0,06	0,03	0,65	0,03	0,19

Tabla 5. Resultados de análisis fisicoquímicos del punto de captación ubicado en Chinautla

Parámetro	Unidad dimensional	LMA	LMP	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
Color	(UPt/Co)	5,0	35,0	9,0	58,0	23,0	9,0	22,0
Olor		NO RECHAZABLE	NO RECHAZABLE	NO RECHAZABLE	NO RECHAZABLE	NO RECHAZABLE	NO RECHAZABLE	NO RECHAZABLE
Conductividad	(μ S/cm)	750	1,500	25,15	129,0	14,92	10,31	31,36
Sólidos Totales Disueltos	(mg/ L)	500,0	1000,0	12,8	63,72	7,81	5,50	15,87
Turbiedad	(UNT)	5,0	15,0	0,98	4,59	1,22	0,61	1,64
pH		7,0-7,5	6,5-8,5	5,8	7,68	7,71	6,57	6,90
Dureza Total	(mg/ L)	100,0	500,0	45,0	38,0	33,4	34,8	9,6
Hierro Total	(mg/ L)	0	0,3	0,062	0,069	0,911	0,040	0,059
Calcio	(mg/ L)	75,0	150,0	8,72	11,2	10,49	7,5	2,64
Magnesio	(mg/ L)	50,0	100,0	5,63	2,4	1,75	3,88	0,73
Manganeso	(mg/ L)	0,1	0,4	0,052	0,096	0,830	0,055	0,086
Sulfatos	(mg/ L)	100,0	250,0	0,0	21,0	1,0	0,0	1,0
Aluminio	(mg/ L)	0,050	0,10	0,026	0,039	0,022	0,018	<0,020
Zinc	(mg/ L)	3,0	70,0	0,08	0,06	0,13	0,02	0,05
Cobre	(mg/ L)	0,050	1,500	0,03	0,03	0,09	0,12	0,22

Tabla 6. Resultados de análisis fisicoquímicos del punto de captación ubicado en Villa Nueva

Parámetro	Unidad dimensional	LMA	LMP	Junio	Julio	Septiembre	Octubre
Color	(UPt/Co)	5,0	35,0	51,0	18,0	11,0	25,0
Olor		NO RECHAZABLE	NO RECHAZABLE	NO RECHAZABLE	NO RECHAZABLE	NO RECHAZABLE	NO RECHAZABLE
Conductividad	(µS/cm)	750	1,500	22,9	7,96	10,80	9,199
Sólidos Totales Disueltos	(mg/ L)	500,0	1000,0	11,73	4,40	5,79	5,007
Turbiedad	(UNT)	5,0	15,0	1,58	1,44	1,11	1,44
pH		7,0-7,5	6,5-8,5	4,99	5,69	7,06	7,78
Dureza Total	(mg/ L)	100,0	500,0	28,6	9,4	21,6	24,2
Hierro Total	(mg/ L)	0	0,3	0,107	0,044	0,083	0,098
Calcio	(mg/ L)	75,0	150,0	6,56	1,92	3,12	3,2
Magnesio	(mg/ L)	50,0	100,0	2,96	1,12	3,05	3,9
Manganeso	(mg/ L)	0,1	0,4	0,108	0,065	0,049	0,082
Sulfatos	(mg/ L)	100,0	250,0	1,0	1,0	0,0	1,0
Aluminio	(mg/ L)	0,050	0,10	<0,020	0,028	0,013	0,019
Zinc	(mg/ L)	3,0	70,0	0,15	0,15	0,17	0,25
Cobre	(mg/ L)	0,050	1,500	0,04	0,02	0,03	0,02

Tabla 7. Resultados de análisis fisicoquímicos del punto de captación ubicado en Fraijanes

Parámetro	Unidad dimensional	LMA	LMP	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
Color	(UPT/Co)	5,0	35,0	35,0	5,0	0,0	12,0	121,0	56,0
Olor		NO RECHAZABLE	NO RECHAZABLE	NO RECHAZABLE	NO RECHAZABLE	NO RECHAZABLE	NO RECHAZABLE	NO RECHAZABLE	NO RECHAZABLE
Conductividad	(μ S/cm)	750	1,500	18,10	16,7	7,950	7,415	48,8	7,15
Sólidos Totales Disueltos	(mg/ L)	500,0	1000,0	9,37	8,67	4,395	4,133	24,41	2,42
Turbiedad	(UNT)	5,0	15,0	1,000	0,99	0,92	1,14	2,09	6,81
pH		7,0-7,5	6,5-8,5	5,16	5,66	6,63	8,36	7,22	6,8
Dureza Total	(mg/ L)	100,0	500,0	39,2	15,4	8,0	6,4	11,6	14,01
Hierro Total	(mg/ L)	0	0,3	0,101	0,042	0,092	0,038	0,249	0,167
Calcio	(mg/ L)	75,0	150,0	6,72	2,80	0,72	1,84	2,27	2,0
Magnesio	(mg/ L)	50,0	100,0	5,43	0,10	0,50	0,43	2,24	0,43
Manganeso	(mg/ L)	0,1	0,4	0,093	0,055	0,073	0,071	0,284	0,169
Sulfatos	(mg/ L)	100,0	250,0	1,0	2,0	0,0	0,0	3,0	2,0
Aluminio	(mg/ L)	0,050	0,10	< 0,020	0,016	0,044	0,014	0,021	0,025
Zinc	(mg/ L)	3,0	70,0	0,16	0,22	0,02	0,07	0,15	0,29
Cobre	(mg/ L)	0,050	1,500	0,06	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03

Resultados microbiológicos

En la tabla 8, se presentan los resultados de los análisis microbiológicos del punto de captación ubicado en Mixco. Se visualiza que los dos parámetros analizados para este punto de captación no cumplen con los límites establecidos por la norma citada anteriormente, a excepción de *Escherichia coli* que presenta un resultado favorable en los meses de mayo, julio y agosto. Sin embargo, las muestras no fueron consideradas aptas para consumo humano por la presencia de Coliformes Totales en cada una de ellas..

En la tabla 9, se presentan los resultados de los análisis microbiológicos del punto de captación ubicado en Zona 11. Se visualiza que los dos parámetros analizados para este punto de captación no cumplen con los límites establecidos por la norma citada anteriormente, a excepción de *Escherichia coli* que presenta un resultado favorable en los meses de mayo, junio, julio, octubre y septiembre. Sin embargo, las muestras no fueron consideradas aptas para consumo humano por la presencia de Coliformes Totales en cada una de ellas.

La única muestra de este punto que se consideró apta para consumo humano es la muestra captada durante el mes de julio.

En la tabla 10, se presentan los resultados de los análisis microbiológicos del punto de captación ubicado en Chinautla. Se visualiza que los dos parámetros analizados para este punto de captación no cumplen con los límites establecidos por la norma citada anteriormente, a excepción de *Escherichia coli* que presenta un resultado favorable en los meses de mayo, agosto y septiembre. Sin embargo, las muestras no fueron consideradas aptas para consumo humano por la presencia de Coliformes Totales en cada una de ellas.

En la tabla 11, se presentan los resultados de los análisis microbiológicos del punto de captación ubicado en Villa Nueva. Se visualiza que los dos parámetros analizados para este punto de captación no cumplen con los límites establecidos por la norma citada anteriormente, a excepción de *Escherichia coli* que presenta un resultado favorable en todos los meses. Sin embargo, las muestras no fueron consideradas aptas para consumo humano por la presencia de Coliformes Totales en cada una de ellas.

En la tabla 12, se presentan los resultados de los análisis microbiológicos del punto de captación ubicado en Fraijanes. Se visualiza que los dos parámetros analizados para este punto de captación no cumplen con los límites establecidos por la norma citada anteriormente, a excepción de *Escherichia coli* que presenta un resultado favorable en los meses de octubre y noviembre. Sin embargo, las muestras no fueron consideradas aptas para consumo humano por la presencia de Coliformes Totales en cada una de ellas.

Tabla 8. Resultados de análisis microbiológicos del punto de captación ubicado en Mixco

Parámetro	Límite COGUANOR NTG 29001;2013	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiem bre	Octubre	Noviem bre
Coliformes Totales	No detectable/ 100 ml	235,9	42,6	540	2,755	148,3	187,2	540
<i>Escherichia coli</i>	No detectable/ 100 ml	No detectable	7,5	No detectable	No detectable	2	6,3	110

Tabla 9. Resultados de análisis microbiológicos del punto de captación ubicado en Zona 11

Parámetro	Límite COGUANOR NTG 29001;2013	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
Coliformes Totales	No detectable/ 100 ml	>1,600	90,9	No detecta ble	7,8	56,1	4,1	4,200
<i>Escherichia coli</i>	No detectable/ 100 ml	No detecta ble	No detecta ble	No detecta ble	2,0	4,1	No detecta ble	No detectable

Tabla 10. Resultados de análisis microbiológicos del punto de captación ubicado en Chinautla

Parámetro	Límite COGUANOR NTG 29001;2013	Mayo	Junio	Agosto	Septiembre
Coliformes Totales	No detectable/ 100 ml	920	350	48,840	350
<i>Escherichia coli</i>	No detectable/ 100 ml	No detectable	240	No detectable	No detectable

Tabla 11. Resultados de análisis microbiológicos del punto de captación ubicado en Villa Nueva

Parámetro	Límite COGUANOR NTG 29001;2013	Mayo	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
Coliformes Totales	No detectable/ 100 ml	8	17	330	1.723	487	210
<i>Escherichia coli</i>	No detectable/ 100 ml	No detectable	--	No detectable	No detectable	No detectable	No detectable

Tabla 12. Resultados de análisis microbiológicos del punto de captación ubicado en Fraijanes

Parámetro	Límite COGUANOR NTG 29001;2013	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
Coliformes Totales	No detectable/ 100 ml	2,419.50	1.355	31	27,2	2,2
<i>Escherichia coli</i>	No detectable/ 100 ml	3	2	45	No detectable	No detectable

Análisis estadístico de los resultados fisicoquímicos

El parámetro de olor se evaluó de forma cualitativa según los criterios establecidos por la Norma COGUNOR 29001, por lo que no fue incluido en los siguientes análisis estadísticos.

Pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk)

La figura 8 presenta el comportamiento estadístico de los 14 parámetros fisicoquímicos analizados en cada uno de los puntos de captación, de acuerdo con los resultados obtenidos en la prueba de normalidad (Shapiro-Wilk). Se observa que el punto de captación ubicado en Villa Nueva presenta la mayor cantidad de parámetros con distribución normal, lo cual indica una mayor estabilidad estadística en sus datos. Por otro lado, el punto de captación ubicado en Fraijanes presenta una mayor proporción de parámetros con distribución no normal, lo que refleja una mayor variabilidad de la calidad de agua captada en este punto. Finalmente, los puntos de captación ubicados en Mixco, Zona 11 y Chinautla, presentaron un patrón promedio, indicando una tendencia más equilibrada en la distribución de datos.

Por lo tanto, los datos que presentaron normalidad fueron evaluados por una prueba de análisis de varianza (ANOVA) y los datos que presentaron no normalidad, fueron analizados por una prueba no paramétrica (Kruskal-Wallis). Ambos se presentan a continuación en las figuras 11 y 12.

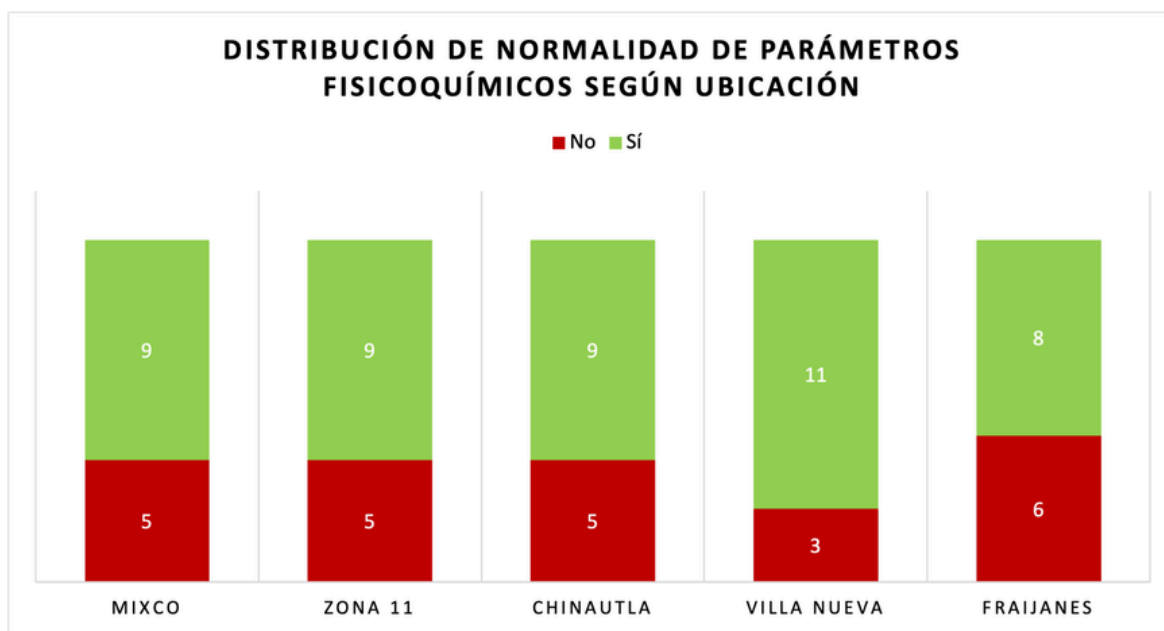


Figura 8. Distribución de normalidad de parámetros fisicoquímicos según ubicación

En la figura 9 se observa una visión general del comportamiento estadístico de cada uno de los 14 parámetros fisicoquímicos analizados, considerando la cantidad de ubicaciones en las que presentaron una distribución normal o no normal.

Los parámetros que presentaron una distribución normal en todas las ubicaciones y, por lo tanto, una mayor estabilidad en sus resultados fue: Aluminio, Color y pH

Por otro lado, parámetros como la Conductividad y los Sólidos Totales Disueltos presentaron una alta variabilidad estadística al presentar una distribución no normal en la mayoría de los puntos de captación.

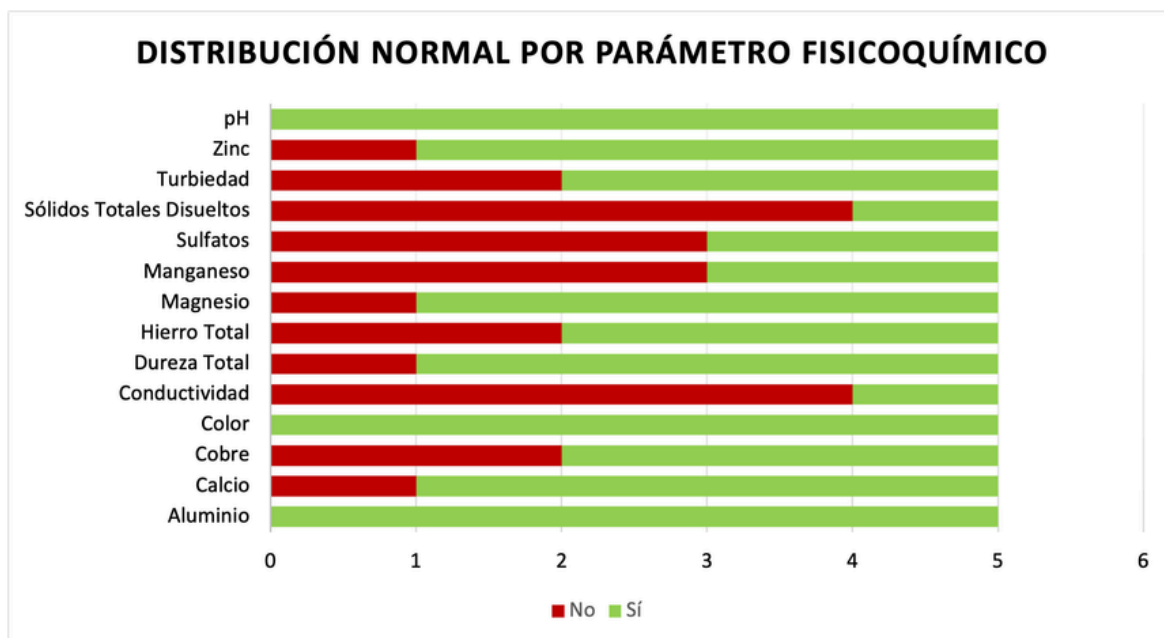


Figura 9. Distribución normal por parámetro fisicoquímico

En la figura 10 se visualiza que, de los 70 resultados fisicoquímicos, el 66% de los casos presentó una distribución normal mientras que el 34% no presentó una distribución normal. Este último resultado sugiere que las condiciones de captación no son completamente uniformes entre todos los puntos y que algunas características varían de manera no predecible.

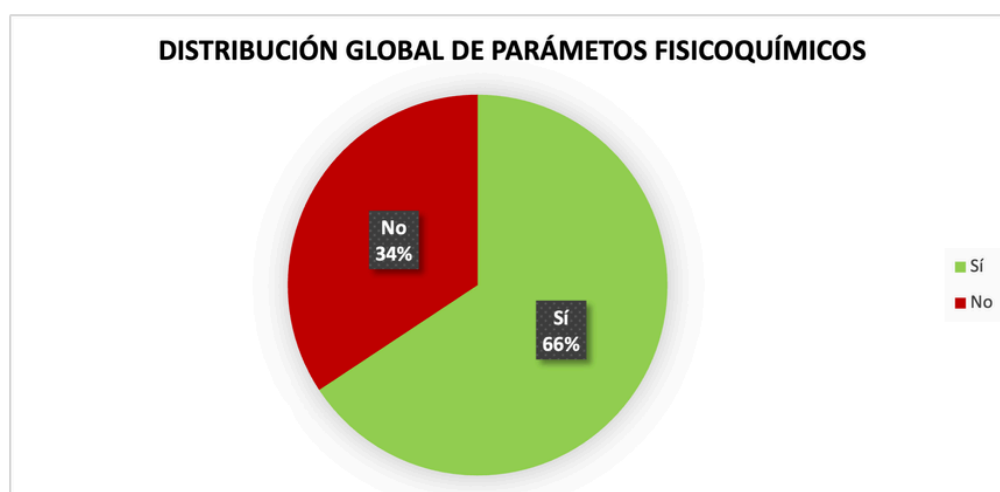


Figura 10. Distribución global de parámetros fisicoquímicos

Prueba de análisis de varianza (ANOVA)

La figura 11 presenta los resultados del *p*-valor para la prueba de análisis de varianza (ANOVA) aplicada para los siguientes parámetros fisicoquímicos: Color, pH y Aluminio. Estos resultados indican que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes puntos de ubicación. Por lo tanto, indica que la ubicación geográfica no fue un factor determinante en la variación de los parámetros durante el periodo de muestreo, sugiriendo una homogeneidad en su comportamiento durante el periodo de estudio.

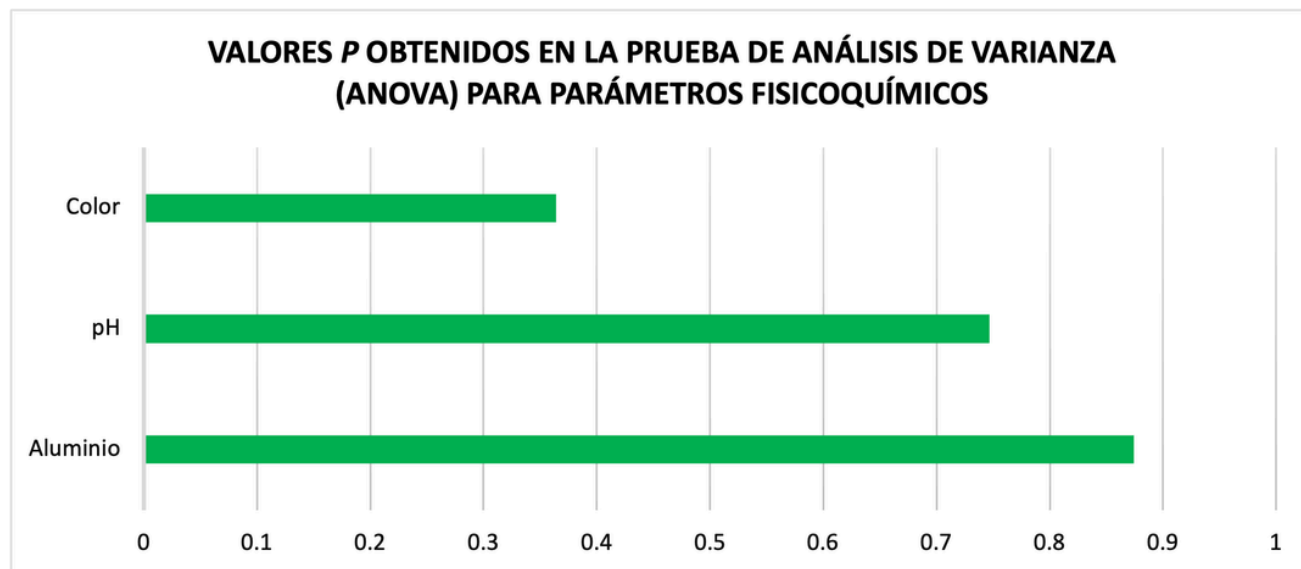


Figura 11. Valores *p* obtenidos en la prueba de análisis de varianza (ANOVA) para parámetros fisicoquímicos

Prueba Kruskal-Wallis

La figura 12 presenta los valores p obtenidos en la prueba no paramétrica, Kruskal-Wallis, aplicada para los 11 parámetros fisicoquímicos que no presentaron una distribución normal.

De la totalidad de parámetros, 8 no evidenciaron diferencias estadísticas significativas, lo cual sugiere que la calidad fisicoquímica del agua de lluvia tiene una tendencia homogénea en el área de estudio.

Por otro lado, 3 parámetros (Calcio, Cobre y Dureza Total) sí presentaron una diferencia significativa entre ubicaciones y lo cual podría estar relacionado con factores ambientales propios de la ubicación.

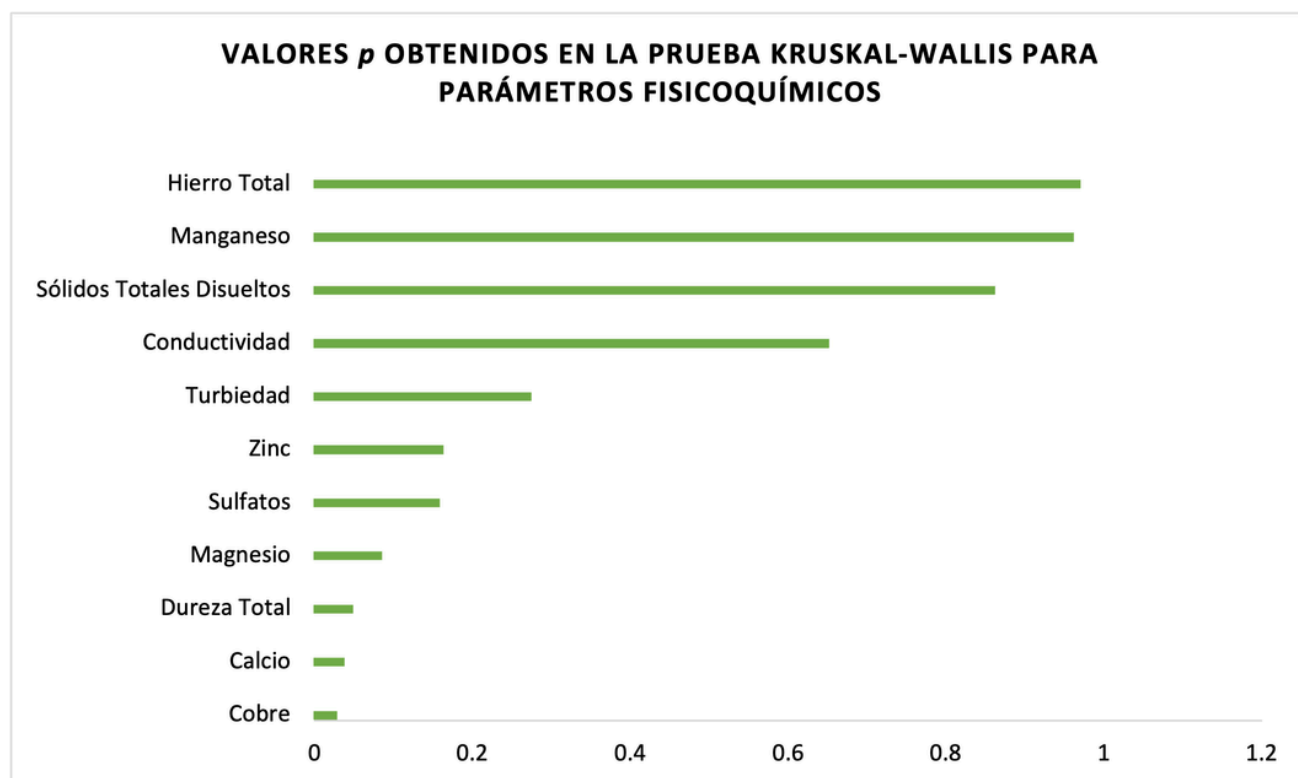


Figura 12. Valores p obtenidos en la prueba de Kruskal-Wallis para parámetros fisicoquímicos

Análisis estadístico de los resultados microbiológicos

Pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk)

Según la figura 12, se observa que, en los puntos de captación ubicados en Mixco, Zona 11 y Chinautla, los parámetros microbiológicos (Coliformes totales y *Escherichia coli*) presentaron una distribución no normal según la prueba de Shapiro-Wilk.

Para el punto de captación ubicado en Villa Nueva, no se pudo evaluar la distribución en uno de los parámetros debido a que todos sus valores registrados fueron cero. Por lo tanto, el cálculo estadístico no fue posible (aunque se interpreta como un resultado favorable desde el punto de vista microbiológico).

Finalmente, el punto de captación ubicado en Fraijanes fue el único que presentó distribución normal en uno de los parámetros (*Escherichia coli*). Sin embargo, no se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para este parámetro en este punto de captación debido a que, por la falta de valores por mes, no es posible realizar el cálculo del término de error necesario para determinar la significancia estadística entre los grupos. Esta limitación impide la validez de este análisis, por lo que se realizó un análisis descriptivo únicamente.

Durante el periodo de estudio, presentó valores promedio de 1.9 NMP/100 mL con una desviación estándar de 1.95 y una media de 2 NMP/100 mL, lo cual indica que al menos la mitad de las muestras se encontraron por debajo o en ese valor. Estos resultados permiten evidenciar la presencia ocasional de *Escherichia coli* en las muestras de agua de lluvia recolectadas en esta ubicación.

En general, los resultados para la prueba de normalidad reflejan que los valores microbiológicos no siguen una distribución normal. Por lo tanto, estos datos fueron analizados por una prueba no paramétrica (Kruskal-Wallis) y sus resultados se presentan a continuación en la figura 15.

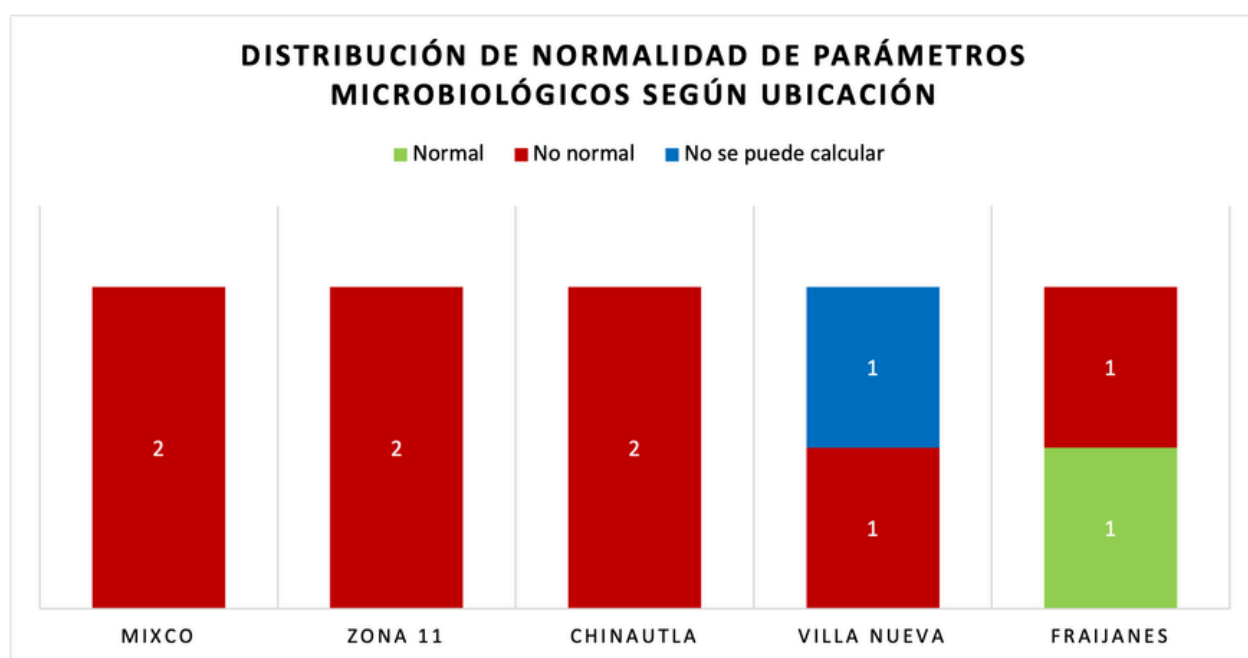


Figura 13. Distribución de normalidad de parámetros microbiológicos según ubicación

En la figura 14 se presenta una visión global del comportamiento estadístico de los parámetros microbiológicos analizados en relación con la prueba de normalidad (Shapiro-Wilk). Se puede observar que el 90% presentó una distribución no normal, mientras que el 10% una distribución normal. Se evidencia la alta variabilidad de los datos microbiológicos, por lo que se justifica el uso de pruebas no paramétricas.



Figura 14. Distribución global de la normalidad en los parámetros microbiológicos

Prueba Kruskal-Wallis

En la figura 15 se presentan los valores de la prueba no paramétrica (Kruskal-Wallis) aplicada a los parámetros microbiológicos *Escherichia coli* y Coliformes Totales, con base a su variación entre los diferentes puntos de captación.

Ambos resultados indican que no existen diferencias significativas entre ubicaciones con respecto a las concentraciones de ambos parámetros. Por lo tanto, no se encontró evidencia para afirmar que la ubicación geográfica influye significativamente en los niveles de *Escherichia coli* y Coliformes Totales en el agua de lluvia recolectada.

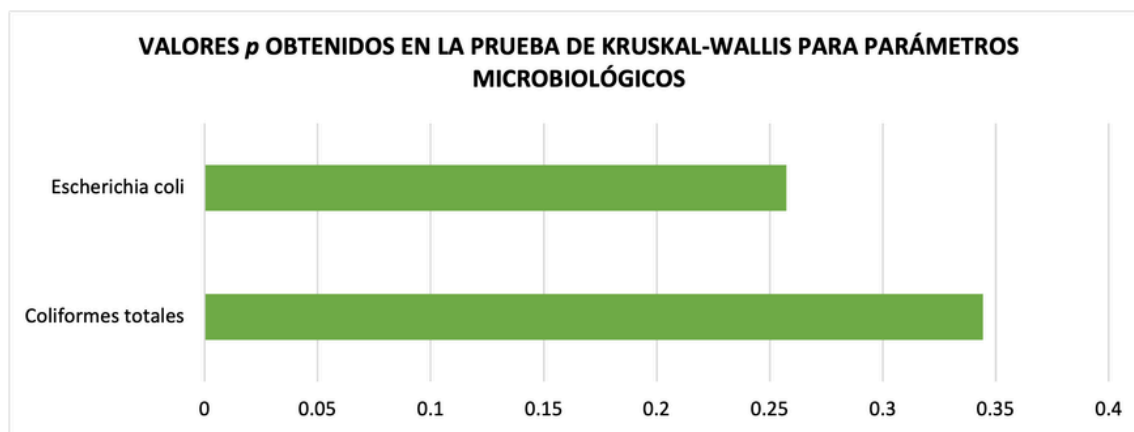


Figura 15. Valores p obtenidos en la prueba de Kruskal-Wallis para parámetros microbiológicos

Comparación de resultados con antecedentes internacionales

Los resultados obtenidos en este estudio fueron contrastados por experiencias internacionales relevantes para el aprovechamiento del agua de lluvia para consumo humano. Se tomaron como referencia estudios realizados en Moyobamba, Perú y en Saltillo, México, los cuales también evaluaron la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua pluvial en contextos urbanos y rurales.

Estudio realizado en Moyobamba, Perú

De acuerdo al estudio realizado en Perú, según Fachín y Panduro (2005), se analizaron parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en un sistema de captación de agua de lluvia a través de techos, con fines de uso doméstico. Entre los parámetros evaluados se incluyen varios que también fueron seleccionados en este estudio como: Color, Turbiedad, pH, Sólidos Totales Disueltos, Conductividad, Cobre, Dureza Total, Hierro, Magnesio y Aluminio.

Los resultados obtenidos mostraron que ninguno de los valores sobrepasó los límites máximos permisibles establecidos por la autoridad nacional (SUNASS), concluyendo que el agua de lluvia en esa zona era apta para consumo humano tras una captación adecuada. Se puede concluir que existe una coincidencia parcial con los hallazgos del presente estudio, en la que la mayoría de los parámetros fisicoquímicos también cumplieron con los límites establecidos por la normativa nacional (COGUANOR NTG 29001). Sin embargo, una diferencia con el estudio realizado en Perú, es que se identificaron diferencias estadísticas significativas en los parámetros de Cobre, Calcio y Dureza Total entre los puntos de captación, lo que sugiere la influencia de factores ambientales locales en el comportamiento localizado.

Estudio realizado en Saltillo, México

De acuerdo con el estudio realizado en México, según Arauz y colaboradores (2023) se evaluaron 12 muestras de agua de lluvia recolectadas mediante canaletas de una azotea el mismo día. Este análisis incluyó parámetros como: Conductividad, Sólidos Totales Disueltos, Dureza Total, Sulfatos, pH, Hierro, Cobre y Nitratos. Los resultados detectaron altos niveles de: Dureza Total, Sulfatos, Plomo y Cadmio, los cuales fueron atribuidos a contaminantes presentes en las superficies de captación, el arrastre de polvo y contaminaciones industriales. En contraste con el presente estudio, la mayoría de valores están por debajo los límites permisibles establecidos por la normativa guatemalteca, a excepción de casos puntuales relacionados con la variabilidad estadística de ciertos parámetros.

Si bien este estudio no realizó un análisis microbiológico detallado, se reconoce la posibilidad de contaminación por microorganismos transportados por el polvo y se recomendó realizar procesos de desinfección antes de considerar el agua apta para consumo humano. Esta misma recomendación es válida para el presente estudio, ya que los resultados microbiológicos obtenidos, recalcan la necesidad de un tratamiento de desinfección previo a cualquier aprovechamiento potable.

Se concluye que los resultados de este estudio presenta similitudes con antecedentes internacionales en comportamiento de parámetros fisicoquímicos, demuestra el aprovechamiento limitado del agua de lluvia para consumo humano sin un tratamiento previo. Asimismo, también se respalda el potencial del agua de lluvia como fuente de abastecimiento alterna siempre que se implementen medidas de captación, manejo y tratamiento apropiados.

Agradecimientos

A cada uno de los propietarios de los puntos, por brindar el espacio para la instalación del equipo de captación, así como por su apoyo en cada una de las visitas.

A Defensores de la Naturaleza, por el espacio brindando en el Parque Nacional Naciones Unidas para la instalación del equipo de captación y por su apoyo durante cada visita.

Referencias bibliográficas

Arellano, L. N., Beverly, E. J., Selker, J. S., Nelke, M., Singh, G., & Walter, C. (20 de noviembre de 2024). Testing triple oxygen isotope preservation in the new OPEnS totalizer against conventional monthly rainfall collectors. *Chemical Geology*, 668(122351), 10. doi:<https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2024.122351>

Fachín, K., & Panduro, E. (2005). Evaluación del aprovechamiento de agua de lluvia para uso doméstico en Moyobamba-San Martín. Perú.

FUNCAGUA. (2022). Informe del estado del agua de la Región Metropolitana de Guatemala 2022: el agua nos une. Fundación para la Conservación del Agua de la Región Metropolitana de Guatemala, Guatemala.

IMPAK CORPORATION. (s.f.). Obtenido de <https://www.impakcorporation.com/CSP0912BG04?srsId=AfmBOooF0pG8i7IRWxxHdZckalK5FuOBx5t5oF9YByDXCjoXY0Qf9lXu>

Van Tuylen, S. (2011). Fondo para la Conservación del Agua de Guatemala. Guatemala: The Nature Conservancy. The Nature Conservancy.

Rojas, M., Gallardo, J., & Martínez, A. (2012). Implementación y Caracterización de un Sistema de Captación y Aprovechamiento de Agua de Lluvia. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 15 (1), 16-23.



FUNCAGUA
por la vida

**Caracterización fisicoquímica y
microbiológica del agua de lluvia de la
Región Metropolitana de Guatemala**