



Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C.

Posgrado en Ciencias del Agua

**EVALUACIÓN DE LA FACTIBILIDAD DE LA CAPTACIÓN DE AGUA DE
LLUVIA COMO COMPLEMENTO AL SUMINISTRO DE AGUA EN SUS
ASPECTOS DE CALIDAD Y SOCIAL**

Tesis que presenta

ALICIA SOSA MARTÍNEZ

En opción al título de

MAESTRA EN CIENCIAS DEL AGUA

Cancún, Quintana Roo, México

Abril, 2018

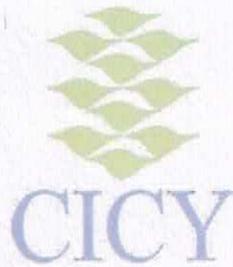
DECLARACIÓN DE PROPIEDAD

Declaro que la información contenida en la sección de Materiales y Métodos Experimentales, los Resultados y Discusión de este documento proviene de las actividades de experimentación realizadas durante el período que se me asignó para desarrollar mi trabajo de tesis, en las Unidades y Laboratorios del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C., y que a razón de lo anterior y en contraprestación de los servicios educativos o de apoyo que me fueron brindados, dicha información, en términos de la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley de Propiedad Industrial, le pertenece patrimonialmente a dicho Centro de Investigación. Por otra parte, en virtud de lo ya manifestado, reconozco que de igual manera los productos intelectuales o desarrollos tecnológicos que deriven o pudieran derivar de lo correspondiente a dicha información, le pertenecen patrimonialmente al Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C., y en el mismo tenor, reconozco que si derivaren de este trabajo productos intelectuales o desarrollos tecnológicos, en lo especial, estos se registrarán en todo caso por lo dispuesto por la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley de la Propiedad Industrial, en el tenor de lo expuesto en la presente Declaración.



Alicia Sosa Martínez

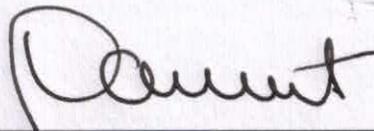
CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA DE YUCATÁN, A. C.
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS



RECONOCIMIENTO

Por medio de la presente, hago constar que el trabajo de tesis de Alicia Sosa Martínez titulado “Evaluación de la factibilidad de la captación de agua de lluvia como complemento al suministro de agua en sus aspectos de calidad y social” fue realizado en la Unidad de Ciencias del Agua, en la línea de Calidad y Uso Sostenible del Agua, en el Laboratorio de Cromatografía del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., bajo la dirección de los Dres. Diego A. Casas Beltrán y Rosa María Leal Bautista, pertenecientes al Programa de Posgrado en Ciencias del Agua de este Centro.

Atentamente.



Dr. Manuel Martínez Estévez

Director de Docencia

Mérida, Yucatán, México, a 20 de abril de 2018

AGRADECIMIENTOS

Al Centro de Investigación Científica de Yucatán y en especial a la Unidad de Ciencias del Agua por permitirme ser parte de esta institución y hacer posible el desarrollo de este trabajo.

A mis directores de tesis, el Dr. Diego Armando Casas Beltrán y a la Dra. Rosa María Leal Bautista por el apoyo académico y moral para lograr concluir esta meta.

A mi comité tutorial, la Dra. Cecilia Hernández Zepeda y al Dr. Oscar Frausto Martínez por sus observaciones a mi trabajo a lo largo de mi estancia en la maestría.

Al Colegio de Michoacán por permitirme realizar una estancia en esta institución y en especial al Dr. Nemer E. Narchi Narchi por todas sus valiosas aportaciones a este trabajo, así como la calidad de sus enseñanzas que impactaron profundamente en mi visión académica y personal.

A la doctora Christine Mccoy Cador por su participación dentro del jurado revisor.

A la técnico M. C. Cinthya Grimaldo Hernández por su apoyo en el área de laboratorio, así como a las técnicos M. C. Gabriela Rosiles González y Quim. Daniela Ortega Camacho por facilitar el uso de los equipos.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada para la realización de esta investigación (No. de becario 635226) en el periodo de enero de 2016 a diciembre de 2017.

A los proyectos de colaboración con el CICY, para el financiamiento del presente proyecto.

Al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM en Puerto Morelos, en especial al M. C. José Edgar Escalante Mancera, por contribuir con los datos meteorológicos de la localidad.

A la Dra. Guadalupe Velázquez Olimán por sus valiosos comentarios, apoyo y participación en el proyecto.

DEDICATORIA

A mi padre, Ramón Sosa Terán, quien fue el motor inicial de esta meta en mi vida, quien sembró en mí el gusto por el conocimiento y la ciencia, quien desde que tengo uso de razón me enseñó la belleza del agua y de la vida y a quien desafortunadamente perdí en el camino. A él, especialmente y con todo mi amor, le dedico este trabajo.

A mi madre, Roselia Martínez Díaz, mi apoyo en todos los aspectos, la mejor madre que me pudo haber dado la vida, quien, con su amor, su comprensión e inclusive con sus lágrimas, ha estado siempre siguiendo mis pasos y motivándome a continuar.

A mi compañero de vida, Alberto Rodríguez Bravo, a quien le agradezco eternamente el sacrificio y el esfuerzo que ha hecho por acompañarme en este sueño y quien ha estado amorosamente a mi lado a lo largo de esta empresa motivándome y apoyándome incondicionalmente para lograr este objetivo.

A mis hermanos Ramón, Ricardo y Gloria; y a mis amigos Denise, Eyra, Gloria, Jonás, Xiomara, José, Miguel, Sergio y Beto; quienes han sido fuente de inspiración y aprendizaje y por los cuales también he llegado hasta este punto.

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
ABSTRACT	3
ASPECTOS DESTACADOS DE LA INVESTIGACIÓN	5
RESEARCH HIGHLIGHTS.....	5
1. INTRODUCCIÓN.....	7
1.1. Sistemas de captación de agua de lluvia	8
1.2. Características fisicoquímicas y bacteriológicas del agua de lluvia y su calidad .	11
1.2.1. Enriquecimiento del agua de lluvia.....	11
1.2.2. Usos consuntivos del agua	13
1.2.3. Referencias de calidad para los usos del agua.....	16
1.3. Aspectos sociales.....	16
2. ANTECEDENTES	18
2.1. Antecedentes generales.....	18
2.1.1. Registros históricos de captación de agua de lluvia.....	18
2.1.2. Captación de agua de lluvia en el mundo actual.....	19
2.1.3. Captación de agua de lluvia en México.....	20
2.2. Antecedentes sobre estudios de calidad de agua de lluvia	21
2.2.1. Estudios sobre la calidad del agua de lluvia a nivel mundial.....	21
2.2.2. Estudios sobre la calidad del agua de lluvia en México	24
2.3. Antecedentes sociales sobre la captación de agua de lluvia.	27
3. JUSTIFICACIÓN	31
4. HIPÓTESIS	32

5. OBJETIVO GENERAL.....	32
5.1. Objetivos específicos	32
6. MATERIALES Y MÉTODOS	32
6.1. Área de estudio	32
6.2. Materiales y métodos para la evaluación de la calidad del agua de lluvia	34
6.2.1. Importancia de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos.....	34
6.2.1.1. Físicos	34
6.2.1.2. Químicos.....	35
6.2.1.3. Bacteriológicos	37
6.2.1.4. Volúmenes de muestra y recipientes requeridos.	38
6.2.2. Diseño experimental	40
6.2.2.1. Diseño y prueba de colectores para captación directa	40
6.2.2.2. Limpieza y preparación de los colectores y kit de muestreo.....	42
6.2.3. Muestreos	44
6.2.3.1. Muestreo de agua de lluvia colectada.....	45
6.2.3.2. Muestreo de agua de lluvia almacenada	55
6.3. Materiales y métodos para los aspectos sociales (características sociodemográficas, opiniones, percepciones, motivaciones y formas de manejo del agua de lluvia por parte de sus usuarios).....	60
6.3.1. Obtención de información sobre usuarios de agua de lluvia	60
6.3.2. Análisis de resultados	65
7. RESULTADOS	67
7.1. Aspectos fisicoquímicos y bacteriológicos	67
7.1.1. Precipitación y dirección del viento	67
7.1.2. Colecta de agua de lluvia	68

7.1.3. Resultados de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos	71
7.1.3.1. Parámetros físicos	71
7.1.3.2. Parámetros químicos	73
7.1.3.3. Parámetros bacteriológicos	83
7.1.4. Calidad del agua de lluvia (colectada y almacenada) con respecto a las referencias de calidad	86
7.2. Aspectos sociales.....	92
7.2.1. Datos sociodemográficos principales	93
7.2.2. Opiniones y percepciones	94
7.2.2.1. Ambiente.....	95
7.2.2.2 Postura	95
7.2.2.3. Cultura	96
7.2.2.4. Calidad del agua de lluvia.....	96
7.2.2.5. Ventajas y desventajas	97
7.2.2.6. Usos.....	99
7.2.2.7. Preocupaciones manifestadas por los usuarios con respecto al uso de agua de lluvia.....	104
7.2.2.8. Necesidad	105
7.2.2.9. Responsabilidades/obligaciones de gobierno/civiles	106
7.2.3. Formas de manejo del recurso.....	106
7.2.3.1. Formas de abastecimiento de agua.....	108
7.2.3.2. Manejo de aguas residuales	109
7.2.3.3. Enfermedades asociadas al consumo de agua de lluvia	109
7.2.4. Tipos de usuarios de agua de lluvia.....	110

7.3. Contrastación de la calidad del agua de lluvia con los usos empleados en la localidad de Puerto Morelos.....	110
8. DISCUSIÓN.....	112
8.1. Aspectos fisicoquímicos y bacteriológicos (Calidad del agua)	112
8.1.1. Condiciones base de la precipitación en la zona de estudio	112
8.1.2. Condiciones del agua durante su almacenamiento.....	117
8.1.3. Calidad del agua de lluvia con respecto a sus usos a nivel doméstico.	121
8.2. Aspectos sociales.....	122
8.3. Entonces, ¿es la captación de agua de lluvia en la localidad de Puerto Morelos una alternativa complementaria de suministro de agua desde el aspecto de calidad del agua y desde el aspecto social?.....	133
9. CONCLUSIONES	135
10. LIMITANTES, PERSPECTIVAS Y RECOMENDACIONES	136
11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	137
ANEXO 1	158
ANEXO 2	159
ANEXO 3	162
ANEXO 4	164
ANEXO 5	165
ANEXO 6	166
ANEXO 7	167
ANEXO 8	169
ANEXO 9	170
ANEXO 10	176

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Volúmenes de muestra requeridos, recipientes y formas de preservación. (Elaboración propia).	39
Tabla 2. Tipos de lavado de recipientes de acuerdo con cada tipo de parámetro a analizar. (Elaboración propia).	40
Tabla 3. Cálculos para determinar la cantidad de precipitación necesaria para obtener 500 ml de agua de lluvia. (Elaboración propia).	46
Tabla 4. Formato de claves de muestra por sitio por evento (lluvia colectada). (Elaboración propia).	49
Tabla 5. Formato de claves de muestra por sitio por evento (lluvia almacenada). (Elaboración propia).	57
Tabla 6. Recipientes requeridos para la toma de muestra de los contenedores de almacenamiento. (Elaboración propia).	58
Tabla 7. Fecha de toma de muestra, tipos de lluvia muestreada, clave de las muestras y coordenadas de los sitios de muestreo. (Elaboración propia).	70
Tabla 8. Eventos de lluvia colectada y lluvia almacenada en los que se detectaron BTEX. (Elaboración propia).	80
Tabla 9. Eventos de lluvia colectada y lluvia almacenada en los que se detectaron PAH. (Elaboración propia).	82
Tabla 10. Coliformes totales detectados en agua de lluvia colectada y almacenada. (Elaboración propia).	84
Tabla 11. Valores mínimos, máximos y promedios de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos de agua de lluvia colectada comparados con las referencias de calidad. (Elaboración propia).	88
Tabla 12. Valores mínimos, máximos y promedios de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos de agua de lluvia almacenada comparados con las referencias de calidad. (Elaboración propia).	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localidad de Puerto Morelos. (Modificado de INEGI, 2010a).....	33
Figura 2. Prototipos de colectores de agua de lluvia a) banco de plástico con recipiente de plástico que sostiene a un frasco de vidrio, en el cual se encuentra el embudo de plástico por donde entraría el agua de lluvia; b) estructura de madera de tres extremidades y botellas de plástico con agua para evitar la caída del sistema debido al viento; c) dos cubetas empalmadas con un recipiente de plástico en la parte superior.	41
Figura 3. Recipiente colector.....	43
Figura 4. Kit de muestreo entregado a los voluntarios para realizar la colecta de agua de lluvia en Puerto Morelos.....	44
Figura 5. Precipitación colectada en un área de 10,000 cm ² (1m ²) y en un área de 510.07 cm ² (área del recipiente colector). (Elaboración propia).....	45
Figura 6. AGEB con carencia de agua potable. (Modificado de INEGI, 2010a).	63
Figura 7. Colonias y fraccionamientos seleccionados para la realización de las encuestas. (Modificado de INEGI, 2010a).....	64
Figura 8. Precipitación mensual en el periodo de muestreo, de octubre de 2016 a junio de 2017. (Elaboración propia).	67
Figura 9. Precipitación y dirección del viento de los eventos de lluvia en los que se colectó agua. (Elaboración propia).....	68
Figura 10. a) Color de lluvia colectada dividido por evento. b) Color de lluvia colectada y almacenada dividido por evento. (Elaboración propia).....	72
Figura 11. a) pH de lluvia colectada dividido por evento. b) pH de lluvia colectada y almacenada dividido por evento. (Elaboración propia).....	74
Figura 12. a) Conductividad eléctrica de lluvia colectada dividido por evento. b) Conductividad eléctrica de lluvia colectada y almacenada dividido por evento. (Elaboración propia).	76
Figura 13. a) Alcalinidad de lluvia colectada dividido por evento. b) Alcalinidad de lluvia colectada y almacenada dividido por evento. (Elaboración propia).....	78
Figura 14. Variación de valores entre agua de lluvia colectada y agua de lluvia almacenada. (Elaboración propia).....	86

Figura 15. Parámetros detectados por evento de lluvia que se encontraron fuera de los valores de referencias de calidad, agrupados como a) color y/o turbidez, b) pH, c) nitritos y nitratos, d) compuestos orgánicos y e) coliformes totales. (Elaboración propia).	91
Figura 16. Parámetros detectados por evento de lluvia y muestreo de almacenamiento que se encontraron fuera de los valores de referencias de calidad, agrupados como a) color y/o turbidez, b) pH, c) nitritos y nitratos, d) compuestos orgánicos y e) coliformes totales. (Elaboración propia)......	91
Figura 17. Distribución espacial de los usuarios de agua de lluvia en la localidad de Puerto Morelos (Modificado de INEGI, 2010a)......	92
Figura 18. Lugares de procedencia de los usuarios de agua de lluvia. (Elaboración propia).	93
Figura 19. Opiniones y percepciones de los encuestados con respecto al agua de lluvia y su captación. (Elaboración propia).	94
Figura 20. Usos actuales del agua de lluvia en Puerto Morelos. (Elaboración propia). 100	
Figura 21. Usos sugeridos por los encuestados para el agua de lluvia. (Elaboración propia).	100
Figura 22. Valores de uso por lugares de procedencia de los usuarios de agua de lluvia. (Elaboración propia).	102
Figura 23. Valores de uso por tipo de captación de los usuarios de agua de lluvia. (Elaboración propia).	103
Figura 24. Nivel de fidelidad para los usos del agua de lluvia. (Elaboración propia). ..	104
Figura 25. Formas de captación de los usuarios de agua de lluvia en Puerto Morelos.	107
Figura 26. Formas principales de abastecimiento de agua en la localidad de Puerto Morelos. (Elaboración propia).....	109
Figura 27. Usos del agua de lluvia en Puerto Morelos y su concordancia con el tipo de agua (precipitación colectada y precipitación almacenada). (Elaboración propia).	111
Figura 28. Prueba de rebote de agua en prototipo de colector de agua de lluvia. (Elaboración propia)	158

Figura 29. Prueba base de detección de naftaleno.	159
Figura 30. Prueba de detección de naftaleno 24 horas después de haberse colocado en un recipiente de vidrio a 4°C.....	160
Figura 31. Prueba de detección de naftaleno 24 horas después de haberse colocado en un recipiente de plástico a 4°C.	160
Figura 32. Muestras de agua de lluvia colectada del 28 de octubre de 2016. (Modificado de INEGI, 2010a).....	176
Figura 33. Muestras de agua de lluvia colectada del 10 de diciembre de 2016. (Modificado de INEGI, 2010a).	176
Figura 34. Muestra de agua de lluvia colectada del 11 de diciembre de 2016. (Modificado de INEGI, 2010a).	177
Figura 35. Muestras de agua de lluvia colectada del 19 de abril de 2017. (Modificado de INEGI, 2010a).....	177
Figura 36. Muestras de agua de lluvia colectada del 4 de mayo de 2017. (Modificado de INEGI, 2010a).....	178
Figura 37. Muestras de agua de lluvia almacenada del 6 de mayo de 2017. (Modificado de INEGI, 2010a).....	178
Figura 38. Muestras de agua de lluvia colectada del 7 de junio de 2017. (Modificado de INEGI, 2010a).....	179
Figura 39. Muestras de agua de lluvia almacenada del 9 de junio de 2017. (Modificado de INEGI, 2010a).....	179
Figura 40. Muestras de agua de lluvia colectada del 18 de junio de 2017. (Modificado de INEGI, 2010a).....	180
Figura 41. Muestras de agua de lluvia almacenada del 20 de junio de 2017. (Modificado de INEGI, 2010a).....	180
Figura 42. Muestras de agua de lluvia colectada del 19 de junio de 2017. (Modificado de INEGI, 2010a).....	181
Figura 43. Muestras de agua de lluvia almacenada del 21 de junio de 2017. (Modificado de INEGI, 2010a).....	181

Figura 44. Muestras de agua de lluvia colectada del 20 de junio de 2017. (Modificado de INEGI, 2010a)..... 182

Figura 45. Muestras de agua de lluvia almacenada del 22 de junio de 2017. (Modificado de INEGI, 2010a)..... 182

GLOSARIO DE ACRÓNIMOS

AGEB: Área Geoestadística Básica

APHA: American Public Health Association

ASUR: Aeropuertos del Sureste

ATSDR: Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades

BTEX: Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno.

CCPY: Consejo de Cuenca de la Península de Yucatán

CEMDA: Centro Mexicano de Derecho Ambiental

CEPIS: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente

CFC: Compuestos clorofluorocarbonados

CNA: Comisión Nacional del Agua

CONABIO: Comisión Nacional Para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad

CONAGUA: Comisión Nacional del Agua

CORQUIVEN: Corporación Química Venezolana, C. A.

COSUDE: Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación

COV: Compuestos Orgánicos Volátiles

DRP: Diagnóstico Rural Participativo

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

FIDA: Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola

INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía

IWA: The International Water Association

OMS: Organización Mundial de la Salud

ONU: Organización de las Naciones Unidas

OPS: Organización Panamericana de la Salud

PAH: Hidrocarburos aromáticos policíclicos o Hidrocarburos poliaromáticos

PAN: Nitratos de peroxiacetilo

PCB: Policlorobifenilos

PNSDW: Estándares Nacionales de Las Filipinas para el Agua Potable

REPDA: Registro Público de Derechos de Agua

SEDESOL: Secretaría de Desarrollo Social

SEDETUR: Secretaría de Turismo del Estado de Quintana Roo

SES: Sistemas Socio-ecológicos o Socio-ecosistemas

UCIA: Unidad de Ciencias del Agua

UNAM: Universidad Nacional Autónoma de México

UNESCO ETXEA: Centro UNESCO del País Vasco

UNESCO: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura

RESUMEN

La captación de agua de lluvia es una técnica de suministro de agua que tiene un origen ancestral y que actualmente se está empleando cada vez con mayor frecuencia tanto a nivel mundial como a nivel nacional. Su implementación se ha centrado en lugares con carencia de agua potable, teniendo como objetivo la cantidad y distribución de esta colecta; sin embargo, se han dejado fuera las condiciones de calidad de esta captación y las percepciones y características de sus usuarios. En la Península de Yucatán, la captación de agua de lluvia se lleva a cabo en varias localidades, un ejemplo es la localidad de Puerto Morelos en Quintana Roo, en donde el agua de lluvia tiene un uso doméstico.

El objetivo del presente estudio fue determinar la factibilidad de la captación del agua de lluvia como alternativa complementaria de suministro de agua en Puerto Morelos, Quintana Roo, partiendo de dos aspectos: 1) la calidad del agua precipitada como recurso y 2) las características sociodemográficas, percepciones y formas de manejo por parte de los usuarios. La calidad del agua de lluvia fue evaluada en dos formas: a) el agua precipitada directamente de la atmósfera, a través de colectores especializados; y b) el agua de lluvia almacenada por los usuarios. Se evaluaron 12 parámetros (temperatura, color, turbidez, pH, conductividad eléctrica, alcalinidad, nitritos, nitratos, PAH, BTEX, coliformes totales y *E. coli*), los cuales se compararon con cuatro referencias de calidad, una internacional (Guías para la calidad del agua potable de la OMS) y tres nacionales (para agua potable la NOM-127, para agua y hielo de consumo humano la NOM-201 y para agua en albercas la NOM-245).

Para conocer los aspectos sociales de los usuarios de agua de lluvia, se abordaron 274 domicilios en total y se encontraron 60 usuarios a los cuales se les aplicó una encuesta para conocer sus principales características sociodemográficas, opiniones, percepciones, motivaciones y formas de manejo del agua de lluvia.

Los resultados del estudio indican, en el aspecto de calidad, que tanto el agua de lluvia, (precipitación atmosférica) (Turbidez: 2.267 UNT, pH: 5.806, PAH: presencia, Benceno: presencia, Etilbenceno: presencia, coliformes totales: 415.318 NMP/100 ml), como el agua de lluvia almacenada (Color: 73.250 UCV, Turbidez: 7.125 UNT, Nitritos como nitrógeno 0.079 mg/l, PAH: presencia, Benceno: presencia, Etilbenceno: presencia y Coliformes totales: 1905.425 NMP/100 ml), no cumplen de manera general con las referencias de calidad anteriormente citadas. Desde el aspecto social, se pudo apreciar una alta heterogeneidad en las características de los usuarios, debido a la diversidad de los mismos, donde destaca la alta tasa de inmigración, por lo que sus opiniones, percepciones, motivaciones y formas de manejo del recurso también fueron heterogéneas; sin embargo, se pudo apreciar una postura positiva generalizada, con respecto a la captación y al uso del agua de lluvia.

Los resultados demostraron que el agua de lluvia no tiene la calidad suficiente para ser utilizada como agua potable, ni para un contacto directo extensivo. Sin embargo, puede utilizarse para otros usos domésticos no normados (con contacto directo significativo), por lo que la técnica de captación de agua podría ser una alternativa complementaria de suministro para usos domésticos no potables (riego de plantas, limpieza de la vivienda, uso en el escusado, etc.), lo cual es concordante con las percepciones y opiniones de los usuarios en Puerto Morelos.

ABSTRACT

Rainwater harvesting is a water supply technique that has an ancestral origin and is used more frequently at different scales. Its implementation has focused on places where scarcity is the main problem, consequently several studies have focused in the quantity, storage and distribution and they have been left out the quality conditions of its collection, the perceptions and characteristics of its users. In the Yucatan Peninsula, rainwater harvesting takes place in several locations, an example is the town of Puerto Morelos in Quintana Roo, where rainwater has a domestic use.

The aim of this study was to determine the feasibility of rainwater harvesting as a complementary alternative to water supply in Puerto Morelos, Quintana Roo, based on two aspects: 1) the quality of the precipitated water to identify its potential use, 2) the sociodemographic characteristics, perceptions and ways of water management of the users. The quality of the rainwater was evaluated in two stages: a) the water precipitated directly from the atmosphere, caughted with designed collectors; b) rainwater stored by users. 12 parameters were evaluated (temperature, color, turbidity, pH, electrical conductivity, alkalinity, nitrites, nitrates, PAH, BTEX, total coliform and *E. coli.*), which were compared with four quality references, one international drinking water (Guidelines for drinking-water quality from the World Health Organization); and three Mexican regulations [drinking water (NOM-127), water and ice for human consumption (NOM-201) and water for swimming pools (NOM-245)].

In order to know the social aspects, 274 households were addressed, and 60 users were found, a survey was applied to each one to know their main sociodemographic characteristics, opinions, perceptions, motivations and ways of rainwater management of the actual rainwater harvesting users.

The results of the study indicate, that with respect to the water quality: both rainwater (atmospheric precipitation) (Turbidity: 2.267 NTU, pH: 5.806, PAH: presence, Benceno: presence, Etilbenceno: presence, Total coliform: 415.318 MPN/100 ml) and stored

rainwater (Color: 73.250 TCU, Turbidez: 7.125 NTU, Nitrite value as nitrogen 0.079 mg/l, PAH: presence, Benceno: presence, Etilbenceno: presence y Total coliform: 1905.425 MPN/100 ml), do not comply, in a general way, with the quality references previously mentioned. Results of the social aspects indicate a high heterogeneity in the characteristics of the users due to the cultural diversity, where the high immigration rate stands out, thus their opinions, perceptions, motivations and ways of water management were also heterogeneous; nevertheless, a generalized positive position could be appreciated, with respect to the technique and the use of rainwater.

The results showed that the rainwater quality is not enough to be used as drinking water, nor for extensive direct contact. However, it can be used for other non-regulated domestic uses (with significant direct contact), so the rainwater harvesting technique could be a complementary supply alternative for non-potable domestic uses (watering plants, cleaning the house, use in the toilet, etc.), which is consistent with the perceptions and opinions of users in Puerto Morelos.

ASPECTOS DESTACADOS DE LA INVESTIGACIÓN

- La calidad del agua de lluvia en la localidad de Puerto Morelos, Quintana Roo no es apta para uso potable o con contacto directo extensivo.
- Las características sociodemográficas, opiniones, percepciones, motivaciones y formas de manejo del agua de los usuarios de agua de lluvia son heterogéneas.
- Existe una postura positiva generalizada de los usuarios de agua de lluvia (98%) con respecto a este recurso y a su captación.
- El 55% de los usuarios de agua de lluvia le da usos acordes con su calidad fisicoquímica y bacteriológica (usos con contacto directo significativo como riego de plantas, limpieza de la vivienda, uso en el escusado, etc.) en la localidad de Puerto Morelos.
- El agua de lluvia no tiene la calidad suficiente para darle un uso potable o con un contacto directo extensivo, sin embargo, sí puede ser utilizada para usos domésticos no normados (con contacto directo significativo). Por otro lado, los usuarios tienen opiniones y percepciones positivas con respecto a la captación del agua; por lo que se puede considerar una técnica complementaria de suministro factible para la localidad de Puerto Morelos.

RESEARCH HIGHLIGHTS

- The rainwater quality in the town of Puerto Morelos, Quintana Roo is not suitable for potable use or with extensive direct contact.
- The sociodemographic characteristics, opinions, perceptions, motivations and ways of water management of rainwater users are heterogeneous.
- There is a generalized positive attitude of rainwater users (98%) with respect to this resource and its harvesting.
- 55% of the users of rainwater use the water according to their physicochemical and bacteriological quality (watering plants, house cleaning, use in the toilet, etc.) in the town of Puerto Morelos.

- Rainwater does not have the quality to give it a potable use or a use with extensive direct contact, however, it can be used for non-regulated domestic uses (with significant direct contact). On the other hand, users have positive opinions and perceptions regarding harvesting rainwater; so it can be considered a complementary technique of feasible supply for the town of Puerto Morelos.

1. INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento fundamental para la vida en la Tierra y, por consiguiente, para el ser humano; en sus múltiples actividades, desde el consumo propio y la higiene personal hasta el uso industrial. Sin embargo, la cantidad de agua dulce disponible para uso humano en la Tierra es muy pequeña (aproximadamente el 0.007% del total del agua) (Toledo, 2002), su distribución cada vez es más difícil y costosa, y su calidad es cada vez más dudosa debido a diversos factores como la polución generada por residuos domésticos, industriales y agrícolas, la alteración de los ecosistemas, la deforestación, el vertimiento de aguas a altas temperaturas, el cambio climático, entre otros (UNESCO ETXEA *et al.*, 2004; UNESCO *et al.*, 2015). Por lo cual, la sociedad ha buscado alternativas para su abastecimiento, como lo es la captación de agua de lluvia (CEMDA *et al.*, 2006).

La captación de agua de lluvia es una técnica de abastecimiento de agua para uso y/o consumo humano, la cual no es una novedad, sin embargo, presenta nuevas alternativas a la escasez y a los problemas de calidad de otras fuentes. Estos sistemas pueden constar de elementos para la recolección, transporte y almacenamiento del agua de lluvia que cae sobre una superficie natural o elaborada por el hombre y que puede ser utilizada para cualquier fin (Adler, Carmona y Bojalil., 2008).

A nivel mundial, países como China, Japón, India, Estados Unidos, Brasil, Honduras, Nicaragua, entre otros, emplean esta técnica como alternativa de fuente de abastecimiento (Ballén, Galarza y Ortiz, 2006; Anaya, 2009a). En el caso de México se emplea en varias regiones del país como: el Estado de México, Michoacán y la Península de Yucatán. En esta última específicamente, las autoridades y organizaciones no gubernamentales han promovido su utilización en comunidades donde no hay servicio de agua potable (Consejo de Cuenca de la Península de Yucatán, 2014; Vázquez *et al.*, 2014).

Los usos que se le dan al agua de lluvia tanto a nivel mundial, como nacional y regional son diversos; en algunos casos se le ha destinado para uso doméstico (Abdulla y Al-Shareef, 2009; Bada, Olatunde, y Bankole, 2012), en algunos lugares es utilizada para fines agropecuarios (FAO, 2000; Gay *et al.*, 2010; Vázquez *et al.*, 2014) y en ocasiones, sobre todo en lugares con pobreza extrema, es utilizada para consumo humano (Esguerra, Madrid y Nillo., 2011; Achadu, Ako y Dalla, 2013).

Cabe mencionar que, a pesar de que esta alternativa de abastecimiento de agua se está utilizando cada vez más, en México hay pocos estudios sobre la calidad del agua de lluvia que permitan respaldar sus usos (limpieza de la vivienda, higiene personal, riego de áreas verdes, ingesta, etc.); por otro lado, tampoco existen estudios sobre las características sociodemográficas, percepciones, motivaciones y formas de manejo del recurso de los usuarios de agua de lluvia, que permitan entender sus formas de pensar con respecto a la técnica y al recurso, así como las formas de captación y los usos que se le dan al agua tomando en cuenta su contexto sociocultural. Y más aún, la existencia de estudios que integren estos dos aspectos son nulos.

La importancia de tomar en cuenta tanto el aspecto ambiental como el social radica en conocer e integrar ambas partes, ya que generalmente los temas se abordan aisladamente, sin tomar en cuenta otros aspectos que pueden contribuir con información valiosa para la implementación exitosa de sistemas de captación en una localidad.

1.1. Sistemas de captación de agua de lluvia

Un sistema de captación de agua de lluvia se puede definir como aquel que se utiliza para la recolección de agua de lluvia para su aprovechamiento posterior.

De acuerdo con García (2012), los sistemas de captación se pueden clasificar desde diferentes aspectos (p. 25):

- Por fuente

- Lluvia
- Niebla
- Nieve
- Por tipo de escurrimiento
 - Terrazas y patios
 - Techos
 - Tierra y campo
 - Roca
- Por área o extensión
 - Grandes extensiones (comunal)
 - Extensiones medianas
 - Extensiones pequeñas (microcaptación)
- Por almacenamiento
 - Cisterna (Cemento, plástico, etc.).
 - Tanque (plástico, metálico, etc.)
 - Suelo (roca, suelo impermeabilizado, etc.)
- Por uso o aprovechamiento
 - Animales
 - Humano
 - Agricultura o riego

El presente estudio se centra en sistemas de captación de agua de lluvia para su uso a nivel doméstico. Y se establece una clasificación propia en la que se distinguen dos tipos de sistemas dependiendo de su complejidad:

- Sistema de captación simple: es aquel que se lleva a cabo con áreas, superficies o artículos no especializados en la captación de agua, tales como cubetas o tambos, ya sea de forma directa o a través de algún tipo de escurrimiento (techos de lámina, techos de cemento, lonas, telas, etc.).
- Sistema de captación complejo: es aquel que posee superficies, conductos y contenedores de almacenamiento especialmente diseñados para la recolección,

conducción y almacenamiento del agua de lluvia y se encuentran adaptados o integrados a una vivienda.

En la actualidad, los sistemas complejos son los más conocidos, utilizados, recomendados por la literatura y utilizados para programas sociales [iniciativas desarrolladas que se generan para resolver situaciones que afectan a cierto grupo poblacional en desventaja económica, cultural, social, etc. y que como resultado se espera que reflejen un cambio positivo en las oportunidades, condiciones y/o calidad de vida de los sujetos involucrados (Vega, 1998; ONU, 1998)].

A nivel mundial se puede apreciar esta tendencia de la utilización de sistemas complejos en lugares como Nepal (Chandra, 2015), Filipinas (Esguerra, Madrid y Nillo, 2011), China, Canadá (Ballén, Galarza y Ortiz, 2006) y Reino Unido (Fewtrell y Kay, 2007). En México, también se observan este tipo de sistemas en la Ciudad de México (El Universal, 2016), Oaxaca (Ríos, 2003), Michoacán (Anaya, 2009b), Guanajuato (Jiménez y Asteinza, 2003) y la Península de Yucatán (Vázquez *et al.* 2014).

Particularmente, en la Península de Yucatán se han observado sistemas de captación de agua de lluvia desde la época prehispánica, los mayas utilizaban los *chultunes* (un tipo de cisterna impermeabilizada que excavaban en el suelo) para poder almacenar agua de lluvia que escurría de explanadas que rodeaban la entrada a los Chultunes (Lynn, 2003). Recientemente, entre los siglos XIX y XX, en Chetumal se utilizaban los curbatos, que eran contenedores hechos con alguna madera fina, como el ciprés (Olvera, 2010; Carrillo, 2013) y que almacenaban el agua de lluvia que escurría de los techos. En Mérida se construyeron aljibes en muchas viviendas, los cuales eran alimentados por agua de lluvia proveniente de los techos de las casas y conducida por tuberías de lata. Si había excedentes de agua, ésta era vendida a la población por medio de carros comúnmente llamados “pipotes” (Chávez, 2016). En la actualidad las formas complejas de captación (con superficies de captación, líneas de conducción y contenedores de almacenamiento) se están llevando a cabo en poblaciones

principalmente rurales, con el apoyo y promoción de alguna institución, un ejemplo son algunas comunidades de los municipios de Lázaro Cárdenas, Felipe Carrillo Puerto, Tulum y José María Morelos en Quintana Roo (Amigos de Sian Ka'an A. C., 2013; Becerra, 2013, Vázquez *et al.*, 2014).

1.2. Características fisicoquímicas y bacteriológicas del agua de lluvia y su calidad

1.2.1. Enriquecimiento del agua de lluvia

El agua de lluvia sufre dos tipos de enriquecimiento, el primero se da en la atmósfera y el segundo, al tener contacto con las superficies de captación. A continuación, se explican cada una por separado.

El agua de lluvia puede contener compuestos químicos desde su origen dada su capacidad disolvente y reactiva. Desde su formación en las nubes hasta la precipitación, las gotas de agua pueden disolver partículas y gases que se encuentran en la atmósfera. Por otro lado, esta composición va a depender de las condiciones de: temperatura, presión atmosférica, clima, región geográfica, entre otros factores. El agua de lluvia contiene gases disueltos tales como CO₂, SO₂, NO, O₂, O₃ y CH₄ (Canales, 2015).

El agua de lluvia puede ser enriquecida en la atmósfera por diversos procesos naturales, como las erupciones volcánicas (SO₂, SO₃, H₂S, NO, NO₂), los incendios forestales naturales (BTEX, PAH, CH₄, NO_x, CO₂), las actividades de los seres vivos, como la respiración (CO₂), los procesos de reproducción (polen, esporas), descomposición anaerobia (CH₄), entre otros, además puede ser enriquecida por la influencia marina (aerosoles marinos, los cuales contienen SO₄⁻², Cl⁻, Na⁺, Mg²⁺) y/o por procesos antropogénicos en los que se utilizan combustibles fósiles para el transporte (PAH, BTEX, metales pesados) o la industria (metales pesados, BTEX, PAH, HCl), los fertilizantes, las grandes concentraciones de ganado y la eliminación de residuos sólidos a través de la incineración, entre otros (Calvo, Molina y Salvachúa, 2009).

Su enriquecimiento depende de su posición con respecto a zonas marinas o continentales. El agua de lluvia que precipita en sitios costeros contiene más SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ y Mg^{2+} que la precipitación en el continente. Así mismo, el agua de lluvia posee un contenido bajo en sustancias orgánicas procedentes de la oxidación de compuestos orgánicos y de ciertos hidrocarburos. El pH del agua de lluvia en promedio tiene valores de entre 5.66 (Drever, 1997) y 5.7 (Caroll, 1962). Debido a que no contiene componentes amortiguadores, al entrar en contacto con ciertos gases, como los SO_x y NO_x , puede acidificarse fácilmente (Snoeyink y Jenkins, 1999). Por otro lado, es importante mencionar, que la atmósfera es un medio para la dispersión de microorganismos, como bacterias, virus, hongos, esporas, etc., por lo que las precipitaciones también pueden arrastrar en su paso por la atmósfera este tipo de microorganismos (De la Rosa, Mosso y Ullán, 2002).

Muchos componentes atmosféricos con los que se enriquece la lluvia debido a actividades humanas pueden convertirse en contaminantes, así, la Organización Mundial de la Salud, establece que existe contaminación atmosférica cuando (Organización Mundial de la Salud, citado en Calvo, Molina y Salvachúa, 2009, p. 234):

“...en su composición aparecen una o varias sustancias extrañas, en determinadas cantidades y durante determinados periodos de tiempo, que pueden resultar nocivas para el ser humano, los animales, las plantas o las tierras, así como perturbar el bienestar o el uso de los bienes”

Los contaminantes atmosféricos pueden ser de dos tipos:

- Primarios: son sustancias emitidas a la atmósfera directamente, de fuentes conocidas, dentro de este grupo se encuentran las partículas (polvo, aerosoles y humos), los compuestos de azufre (SO_2 , SO_3 y H_2S), óxidos de nitrógeno (N_2O , NO y NO_2), óxidos de carbono (CO y CO_2), compuestos orgánicos [hidrocarburos: compuestos orgánicos volátiles (COV), policlorobifenilos (PCB), Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP o PAH por sus siglas en inglés),

dioxinas y furanos], compuestos halogenados [HCl, HF, halocarburos y los clorofluorocarbonados (CFC)], metales pesados (Pb, Hg, Cd) y los olores (Calvo, Molina y Salvachúa, 2009).

- Secundarios: se forman a partir de las reacciones químicas de los contaminantes primarios en la atmósfera. Los más sobresalientes son el SO₃, NH₂, SO₄, HNO₃, O₃ y los nitratos de peroxiacetilo (PAN) (Calvo, Molina y Salvachúa, 2009).

De esta forma, los componentes atmosféricos son arrastrados hacia la superficie terrestre a través de la lluvia, teniendo en algunos casos interacciones químicas como con los SO_x y NO_x, los cuales reaccionan con las moléculas de agua de lluvia promoviendo su acidez, a lo que comúnmente se le denomina lluvia ácida (Calvo, Molina y Salvachúa, 2009).

Por otro lado, al momento en el que el agua entra en contacto con las superficies de captación y almacenamiento, también sufre un enriquecimiento debido a varios factores, como son la naturaleza del sistema, los materiales utilizados para su captación; la presencia de polvo, partículas y desechos de aves, mamíferos u otros animales en las superficies con las que tiene contacto el agua de lluvia, así como las condiciones en las que se mantiene almacenada el agua (Achadu, Ako y Dalla, 2013; Bada, Olatunde y Bamkole, 2012; Canada Mortgage and Housing Corporation, 2012), estos factores promueven la modificación de las características fisicoquímicas y bacteriológicas de la precipitación atmosférica.

1.2.2. Usos consuntivos del agua

La composición fisicoquímica y bacteriológica del agua debida a su enriquecimiento a través de su paso por la atmósfera, en el caso de la captación de agua de lluvia se vincula al concepto de calidad de agua, el cual a su vez está ligado a los usos y valores que la sociedad le confiere, tomando en cuenta además el contexto ecológico, y que van de acuerdo con los atributos físicos, químicos y microbiológicos del agua (Jiménez *et al.*, 2010). De esta forma, de acuerdo con las proporciones en las que se encuentren

las sustancias, partículas, gases y microorganismos contenidos en el agua de lluvia, ésta podrá ser utilizada para ciertos fines. En este sentido, existen dos tipos de usos, el no consuntivo y el consuntivo. El uso no consuntivo es aquel en el que no se consume el agua, por ejemplo, la generación de energía hidroeléctrica [Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2010]. El uso consuntivo se puede definir de la siguiente manera:

A nivel internacional la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) define al uso consuntivo como: “agua extraída de su lugar de origen para su aprovechamiento, el cual implica la pérdida de su cantidad por evaporación o la pérdida de su calidad al ser devuelta al sistema”, y establece 3 usos consuntivos (Kohlil *et al.*, 2010, p. 1):

- Uso municipal: es el agua provista por medio de la red pública de agua potable, usada principalmente para beber, cocinar y limpiar. Esta agua también considera el uso industrial conectado a esta red, así como el paisajismo urbano (que incluye la jardinería) y la agricultura urbana.
- Uso agrícola: incluye el uso agropecuario autoabastecido y el uso doméstico en poblaciones rurales.
- Uso industrial: Es el agua de autoabastecimiento utilizada por la industria.

A nivel nacional la Ley de Aguas Nacionales (1992, p. 8) define un uso consuntivo como: “El volumen de agua de una calidad determinada que se consume al llevar a cabo una actividad específica...”. Dentro del Registro Público de Derechos de Agua (REPD), existen 12 usos del agua, los cuales 11 de ellos se agrupan dentro de los usos consuntivos de la siguiente manera:

- Uso agrícola. Este es el mayor uso que se le da al agua en México e incluye:
 - Agricultura.
 - Acuicultura.
 - Uso pecuario.
 - Usos múltiples.
- Abastecimiento público. Este es el agua distribuida a la población para:

- Uso doméstico.
- Servicios públicos urbanos.
- Industria autoabastecida. Este incluye la industria que tiene sus propios medios de abastecimiento de agua, tomándola directamente de las fuentes naturales como ríos, lagos o acuíferos. Se clasifica en:
 - Uso agroindustrial.
 - Uso en servicios.
 - Uso industrial.
 - Uso comercial.
- Energía eléctrica (excluyendo hidroelectricidad). Este es el agua que se utiliza en las centrales de vapor, carboeléctricas, de ciclo combinado, de turbogas y de combustión interna (CONAGUA, 2014).

Es importante conocer esta clasificación para poder determinar el uso consuntivo del agua de lluvia con respecto a su calidad. El presente trabajo se enfocó en el uso de abastecimiento público doméstico, dentro del cual se considera, según la Ley de Aguas Nacionales (1992, p. 8) “el uso particular de las personas y del hogar, riego de jardines y de árboles de ornato, incluyendo abrevadero de animales domésticos que no incluya una actividad lucrativa”.

Así mismo, se toma en cuenta el grado de contacto que se tenga con el agua de acuerdo con su uso para considerar los riesgos potenciales de enfermarse debido a su ingestión. A nivel internacional la Organización Mundial de la Salud creó las Guías para Ambientes Recreativos Seguros: Volumen 2: Piscinas, SPAs y ambientes similares de recreación en agua (2000), en donde se establecen tres grados de contacto para riesgos donde el contacto con el agua y su ingestión son importantes:

- “Sin contacto: por ejemplo, piscinas al aire libre donde tomar el sol puede ser la razón principal para visitar la instalación” (p. 1-10).

- “Contacto directo significativo: implica un riesgo insignificante de tragar agua, como vadear y el uso de spas, piscinas de hidroterapia, etc., donde el cuerpo está sumergido, pero la cabeza no” (p. 1-10).
- “Contacto directo extensivo: con inmersión de cuerpo entero y un riesgo significativo de tragar agua, por ejemplo, natación, buceo” (p.1-10).

Aunque esta clasificación está enfocada en el agua y uso en albercas y en otros sitios de recreación con agua, la guía anterior es útil para este estudio ya que permite definir con claridad el tipo de contacto de acuerdo con los usos que pueden darse al agua de lluvia.

1.2.3. Referencias de calidad para los usos del agua

Existen guías internacionales y normas nacionales que especifican los valores de referencia de calidad que se requieren en el agua de acuerdo con el uso al que se le destina. Para efectos de este estudio, y ya que el objetivo es conocer el uso del agua de lluvia a nivel doméstico, se utilizarán referencias de calidad para agua potable y para agua con fines recreativos.

Del ámbito internacional, las Guías para la calidad del agua potable de la Organización Mundial de la Salud (2006) y en el ámbito nacional, las Normas Oficiales Mexicanas: NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental, agua para uso y consumo humano – Límites permisibles de calidad y tratamiento a que debe someterse el agua para su potabilización; NOM-201-SSA1-2002, Productos y servicios. Agua y hielo para consumo humano, envasados y a granel. Especificaciones sanitarias y la NOM-245-SSA1-2010, Requisitos sanitarios y calidad del agua que deben cumplir las albercas (en el sentido de que se presente contacto directo extensivo).

1.3. Aspectos sociales

Los estudios sociales, como los de percepción del usuario, son necesarios para comprender las tendencias locales y llevar a cabo una correcta toma de decisiones para

la promoción e implementación de técnicas alternativas y complementarias al abasto habitual de agua, como lo es la captación de agua de lluvia. Lo anterior cobra especial relevancia al observar la creciente diversidad de usuarios potenciales. Es bien sabido que la necesidad de nuevas formas de abasto de agua ocurre principalmente en localidades rurales y en localidades marginadas urbanas (CEMDA *et al.*, 2006). No obstante, existen también personas que cosechan el agua de lluvia por motivos diferentes a la baja accesibilidad del recurso, por ejemplo, en ocasiones es utilizada por tradición o costumbre, o por ideales de sustentabilidad, por ahorro del recurso o ahorro económico, entre otros.

El estudio de las motivaciones de los usuarios hacia la adopción del agua de lluvia como estrategia de suministro, así como sus características sociodemográficas y las percepciones que tienen alrededor del recurso han sido poco exploradas. Esta aproximación demanda la atención de las características culturales, sociológicas, cognoscitivas y etnoecológicas de los actores involucrados (Vargas, 1994). Tomar en cuenta estos factores permite obtener información sobre la situación actual del uso del agua de lluvia y la percepción que una comunidad dada tiene con respecto al recurso y a su manejo. El análisis de estos factores contribuye con datos que permitan conocer las interpretaciones y los significados que los usuarios tienen alrededor de esta práctica (Benez, Kauffer y Álvarez, 2010), su disposición a la implementación de la misma y los posibles obstáculos ideológicos y/o económicos que interfieren en la tendencia de su uso en la localidad.

Actualmente, la captación de agua de lluvia se lleva a cabo en varios municipios del estado de Quintana Roo, como son Cozumel (O. Frausto, comunicación personal, junio, 2016; García, 2011), Tulum, Carrillo Puerto, José María Morelos, Lázaro Cárdenas (A. López de Amigos de Sian Ka'an A. C., comunicación personal, agosto, 2016) y Puerto Morelos (R. M. Leal, comunicación personal, enero, 2016). En todas las localidades anteriores, excepto en Puerto Morelos, la técnica de captación de agua de lluvia ha sido implementada por instituciones externas a las comunidades. La localidad de Puerto

Morelos es un caso excepcional, donde la implementación de la técnica se ha dado por motivos y circunstancias que no implican una intervención externa.

Este trabajo tuvo como objetivo abordar la captación de agua de lluvia en la localidad de Puerto Morelos integrado el aspecto de calidad del agua y el aspecto social (características, percepciones, opiniones y formas de manejo por parte de los usuarios), con lo cual se pudo conocer el estado actual de esta práctica, así como obtener información para determinar si los usos actuales del agua de lluvia en la localidad son concordantes con su calidad y finalmente determinar si la captación de agua de lluvia es una técnica complementaria de suministro de agua factible en la localidad de Puerto Morelos. Por otro lado, la información aportada y la metodología usada pueden ser útiles en caso de realizarse la implementación de sistemas de captación de agua de lluvia, ya sea en la localidad mencionada o en otra localidad.

2. ANTECEDENTES

2.1. Antecedentes generales

2.1.1. Registros históricos de captación de agua de lluvia

De acuerdo con la reseña histórica realizada por Ballén *et al.* (2006) sobre la captación de agua de lluvia, señalan que esta técnica ha sido utilizada desde tiempos ancestrales en distintos lugares alrededor del mundo, incluido México. Ballén *et al.* (2006) mencionan que existen registros de esta práctica desde hace aproximadamente 4000 años, en Israel y Jordania. Sus sistemas consistían en desmontar pequeños cerros para incrementar los escurrimientos pluviales, que eran dirigidos a terrenos de siembra. Así mismo en Yemen se encuentran construcciones dedicadas al culto espiritual, donde existían terrazas y patios utilizados para la recolección de agua de lluvia, estos datan aproximadamente del año 1000 a.C. En los siglos III y IV a.C. los romanos poseían en sus viviendas pequeños estanques a cielo abierto, llamados “impluvium”, para recolectar agua de lluvia. En China se han encontrado jarras y pozos para este mismo fin con una antigüedad de más de 2000 años. En Irán existen sistemas de colecta y almacenamiento llamados “abarbands”.

En América, con la cultura maya en Yucatán, se descubrió un sistema de abastecimiento para la población y para el riego de cultivos, por medio de la recolección de agua en un área de 100 a 200 m² para ser almacenada posteriormente en cisternas nombradas “Chultunes”, las cuales eran excavadas en el suelo e impermeabilizadas por medio de yeso mineral. Por otro lado, en Campeche, los mayas construyeron un canal colector de agua de lluvia, la cual se utilizaba para consumo y riego de cultivos (Ballén *et al.*, 2006).

2.1.2. Captación de agua de lluvia en el mundo actual

Las actividades del hombre han dependido de la disponibilidad del agua, la cual ha sido obtenida principalmente de cuerpos superficiales, ya sea por abastecimiento para sus actividades, consumo o como vía de transporte. Sin embargo, cuando se descubre la agricultura, comienza a encontrarse utilidad al agua de lluvia para los cultivos. Así, cuando las poblaciones fueron creciendo y desplazándose lejos de cuerpos de agua, el abastecimiento de ésta ya no fue tan sencillo. De esta forma, el hombre desarrolló otras alternativas, como lo fue la captación de agua de lluvia. Se deduce, en base a la distribución de las construcciones de captación de agua de lluvia encontradas y el uso constate de éstas a lo largo de la historia, que sus principales usos fueron las actividades domésticas y agrícolas. (Ballen *et al.*, 2006)

Según lo descrito por Ballén *et al.*, a comienzos de este siglo, la crisis hídrica a nivel mundial obligó a mucha gente a recurrir nuevamente a técnicas de recolección de agua de lluvia. Ejemplos de éstas se pueden observar en casi todos los continentes. En países de África, como Botswana, Mali, Sudáfrica, Zimbabwe, Mozambique, entre otros. En Asia, en países como la India también se ha promovido esta solución debido a su alta densidad poblacional. En Tokio, la recolección de agua se utiliza, entre otras cosas, para disminuir la escasez de agua y para el control de inundaciones. En el continente europeo se puede destacar Berlín, Alemania, en donde en 1998 se introdujeron los sistemas de captación de agua de lluvia como mecanismo para contrarrestar las

inundaciones, fomentar el uso racional del recurso y promover un microclima más adecuado. En Oceanía, hablando específicamente de Australia, se utiliza la captación como una solución para el abastecimiento de agua en poblados rurales y en menor medida para las ciudades.

En América también se han implementado los sistemas de captación; en Vancouver, Canadá existe un programa para el subsidio en el aprovechamiento de agua de lluvia por medio de barriles colectores. En Estados Unidos los sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia son utilizados en 15 estados, estimándose aproximadamente 500,000 personas beneficiadas de estos. En Brasil las personas nativas tradicionalmente han utilizado el agua de lluvia. En Honduras, en algunos barrios de Tegucigalpa, las viviendas poseen sistemas de captación de agua.

2.1.3. Captación de agua de lluvia en México

En México ha habido diversos proyectos en varios estados, por ejemplo, en el Estado de México se instaló un sistema de captación de agua de lluvia para abastecer a 6000 personas en el Municipio de San Felipe del Progreso. Este sistema de captación de agua integra la captación, la conducción, el filtrado, el almacenamiento, la disposición y la purificación del agua, de tal manera que el agua recolectada es utilizada para consumo humano (Pacheco, 2008). En Guanajuato, en 2010, se implementó un sistema piloto de captación de agua de lluvia y de reutilización del agua residual en la comunidad rural de La Concepción, donde el abasto de agua potable era por medio de pipas y el agua era insuficiente y de mala calidad (Gay *et al.*, 2010). En Michoacán, se llevó a cabo un proyecto para el abastecimiento y almacenamiento de agua por medio de la captación de agua de lluvia a poblaciones rurales de la cuenca del lago de Pátzcuaro. Por medio de éste se beneficiaron alrededor de 9,792 habitantes de diez comunidades. Estos sistemas también se llevaron a cabo en otras regiones rurales de San Luis Potosí, Morelos, Guerrero y Zacatecas (Rivero, Gómez y Barrios, 2012).

En la Península de Yucatán, en 2011, dentro del “Plan Rector en materia de agua para la protección, conservación y recuperación ambiental de la Península de Yucatán. Diagnóstico e identificación de retos y problemas, estrategias, objetivos, acciones y proyectos prioritarios”, financiado por la Fundación Gonzalo Río Arronte, en colaboración con el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, el Consejo de Cuenca de la Península de Yucatán (CCPY), instancias locales, municipales, estatales, federales y de la sociedad civil, se llevó a cabo entre otros proyectos la promoción e implementación de sistemas de captación de agua de lluvia en diferentes comunidades de los tres estados que conforman la Península (Campeche, Yucatán y Quintana Roo) (Vázquez *et al.*, 2014).

2.2. Antecedentes sobre estudios de calidad de agua de lluvia

2.2.1. Estudios sobre la calidad del agua de lluvia a nivel mundial

Es evidente que la necesidad de abastecimiento de agua es una prioridad, sobre todo para lugares con escasez del recurso y muchas veces con bajo nivel económico, sin embargo, la evaluación de la calidad del agua de lluvia no es frecuente. A continuación, se verán algunos ejemplos a nivel mundial.

Abdulla y Al-Shareef en 2008 realizaron un estudio en Jordania para evaluar el potencial de agua de lluvia para su potabilización en sectores residenciales de 12 localidades y aportar recomendaciones para mejorar la calidad y cantidad del agua de lluvia colectada. La calidad del agua mostró que los compuestos inorgánicos medidos generalmente estuvieron dentro de los parámetros de las guías de la Organización Mundial de la Salud para el agua potable. Sin embargo, los coliformes fecales excedían los límites máximos de estas guías.

Achadu, Ako y Dalla, en 2013, evaluaron la calidad del agua de lluvia almacenada en depósitos de viviendas particulares en Wukari, al Noreste de Nigeria. Consideraron tanques de tres tipos de materiales diferentes (metal, plástico y concreto). Evaluaron parámetros fisicoquímicos y microbiológicos tomando como referencia las guías de

calidad de agua para consumo humano de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Encontraron que todas las muestras evaluadas contenían valores altos para coliformes fecales, sobrepasando los límites máximos permisibles para el agua de ingesta de las guías para la calidad del agua potable de la OMS. Por otro lado, encontraron que los elementos traza y los metales pesados se encontraban por lo general dentro de los límites máximos, exceptuando el cobre y el hierro en los tanques metálicos. Concluyeron que los tanques de PVC y los de concreto son los más adecuados para el almacenamiento del agua de lluvia. Así mismo, el estudio mostró que, si bien el agua de lluvia no es adecuada para su ingesta, sin un tratamiento previo, bien puede ser utilizada para otros usos domésticos.

Esguerra, Madrid y Nillo llevaron a cabo en 2010 un proyecto en el que evaluaron la calidad del agua de lluvia y su utilización en una comunidad de La Unión, en las Filipinas. Encontraron que los coliformes totales y *E. coli* estuvieron en bajas concentraciones encontrándose dentro de los límites establecidos por los Estándares Nacionales de Las Filipinas para el Agua Potable (PNSDW por sus siglas en inglés). Así también, registraron valores de Sólidos disueltos totales y dureza total dentro de los límites indicados por los PNSDW. Comprobaron tanto a nivel fisicoquímico y microbiológico como a nivel económico la factibilidad de los sistemas de captación de agua, estableciendo que la calidad del agua de lluvia es mejor que el agua que normalmente es consumida en la comunidad.

Moreira *et al.*, en 2012, llevaron a cabo un estudio en el aeropuerto Internacional de Tancredo Neves de la ciudad de Minas, Gerais en Brasil, en el que evaluaron la calidad del agua de lluvia y su tratamiento para ser utilizada para actividades *in situ*. Tomaron en cuenta que el uso del agua no sería potable, aun con un tratamiento. A partir de estas consideraciones analizaron las muestras y obtuvieron niveles bajos de turbidez, alcalinidad, dureza total, STD, SST, materia orgánica y *E. coli*. Así mismo, encontraron que en cuanto aceites, grasas, BTEX y metales pesados totales las concentraciones estuvieron por debajo del límite de detección del método. En el caso de *E. coli* al no

tener valores recomendados, hicieron una comparación con los límites de concentración de coliformes fecales, mostrando que el valor medio superó las recomendaciones para torres de enfriamiento y descarga de inodoros.

En 1982, Jickells *et al.*, realizaron un estudio en Bermudas sobre el pH del agua de lluvia y su composición química. Obtuvieron resultados con valores ácidos de pH (< 5.6), y valores de 64.54 $\mu\text{eq/l}$ para SO_4^{2-} y 6.31 $\mu\text{eq/l}$ para NO_3^- , los cuales son precursores de la lluvia ácida. Infirieron la existencia del arrastre de estos gases desde el continente, gracias a la trayectoria meteorológica de los sistemas de tormentas provenientes de Norteamérica, que provocaron la acidificación de la lluvia en Bermuda.

Existen algunos estudios sobre la composición fisicoquímica del agua de lluvia en algunos países del Caribe, por ejemplo, Eklund *et al.* (1997) realizaron un estudio sobre la variación química estacional de la precipitación en la estación biológica de La Selva, en Costa Rica. Los autores registraron que los iones más abundantes fueron Na^+ (38.9 $\mu\text{eq/l}$) y Cl^- (46.7 $\mu\text{eq/l}$). Los aerosoles marinos aportaron el 97% de Cl^- y el 88% de Mg^{2+} . Mientras que las fracciones no salinas de SO_4^{2-} , Ca^{2+} y K^+ fueron de 73%, 76% y 62% respectivamente. Así mismo observaron series de valores de SO_4^{2-} a través de los tres años del estudio, con concentraciones de hasta 56.4 $\mu\text{eq/l}$, mientras que por otro lado se obtuvieron valores de aniones de 1.9 $\mu\text{eq/l}$, lo cual indicó la posible presencia de concentraciones bajas de ácidos orgánicos. Los autores concluyeron que el sitio presentaba fuertes tendencias estacionales tanto en cantidad como en la composición química de la precipitación. Durante los meses húmedos (junio-diciembre) las concentraciones de casi todos los iones disminuyeron. No se distinguieron tendencias estacionales para ninguna de las especies de sal no marina. En la temporada de estiaje (febrero-abril) del año 1994, se apreció una elevada concentración de todos los constituyentes evaluados. Y se observó que el factor de control principal sobre la composición del agua de lluvia fue la dilución durante los periodos prolongados de ocurrencia de los eventos. La concentración promedio de SO_4^{2-} (13 $\mu\text{eq/l}$) excedió ligeramente al límite máximo propuesto por Galloway *et al.* (1984) para regiones

remotas (10 $\mu\text{eq/l}$), aunque fue mucho menor que el valor registrado para zonas industrializadas. Los valores de NO_3^- se encontraron dentro de los valores propuestos para regiones remotas (5 $\mu\text{eq/l}$; Galloway *et al.*, 1984). Se observó que los valores de SO_4^{2-} y NO_3^- no se correlacionaron, por lo que se deduce que el aporte de estos componentes a causa de actividades antropogénicas es mínimo. El alto porcentaje de sulfatos provenientes de sales no marinas (73%), la dirección de los vientos y la actividad volcánica presente en la zona sugirieron que esta última puede afectar la composición química de la lluvia.

2.2.2. Estudios sobre la calidad del agua de lluvia en México

A nivel nacional existen algunos estudios sobre la calidad del agua de lluvia. A continuación, se describen algunos ejemplos:

En 2010, Ramírez *et al.*, reportaron la composición química del agua de lluvia en la ciudad de Monterrey, Nuevo León, para conocer su grado de contaminación debido a la alta actividad industrial de la región. Analizaron concentraciones de SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- , Ca^{2+} , Na^+ , K^+ y NH_4^+ , así como conductividad y pH. Los resultados mostraron que el valor promedio de pH fue de 6.58 a causa de la neutralización provocada por partículas alcalinas, como los iones de Ca^{+2} y otras especies iónicas, presentes en la atmósfera. Los autores sugieren que estas partículas pueden estar presentes a causa de la alta carga de polvo alcalino compuesto principalmente de carbonatos de calcio provenientes de las colinas de cantera y de las fábricas. Los cationes de Mg^{2+} , NH_4^+ , Na^+ y K^+ estuvieron fuertemente correlacionados con el Ca^{+2} , sugiriendo una fuente natural en común de origen cortical. De acuerdo con los datos analizados concluyeron que la composición iónica del agua de lluvia está fuertemente influenciada por fuentes antropogénicas en vez de por fuentes terrestres y marinas.

García, en 2012, realizó un estudio sobre el sistema de captación y aprovechamiento de agua de lluvia para un ecobarrio de la Ciudad de México, en donde propone un sistema de captación de agua de lluvia, basándose en análisis de calidad de agua, así

como en la evaluación de los dispositivos sugeridos en su estudio. Dentro de los resultados encontró que el agua de lluvia captada por el techo de una casa en su área de estudio fue de mejor calidad que el agua captada en el patio evaluando con respecto a los parámetros: color, turbiedad, Sólidos Suspendedos Totales, Sólidos sedimentables, conductividad, sulfato, nitrato, cloruro, sodio, coliformes totales, coliformes fecales y mesófilos aerobios. El agua de lluvia captada por el techo cumplió con los límites máximos permisibles de la NOM-127-SSA1-1994 en los parámetros: turbiedad, sólidos disueltos totales, sulfato, nitrato, cloruro, sodio y coliformes fecales. Sin embargo, los valores de color y coliformes totales sobrepasaron los límites máximos permisibles.

Cerón *et al.*, en 2008, evaluaron el agua de lluvia en la costa de Campeche, México para conocer su composición química y evaluar el posible impacto de la industria petrolera y gasera de la región. Sus resultados indican que los iones más abundantes fueron Na^+ , Cl^- y Mg^{2+} , siendo el aerosol de sal marina la única fuente posible. El sulfato con un valor promedio de 3.85 mg/l, excedió los niveles reportados para sitios marinos remotos, en los que los valores oscilan entre 0.42 mg/l (Galloway *et al.*, 1982) y 1.44 mg/l (Casimiro *et al.*, 1991); sugiriendo que existe una contribución significativa de SO_4^{2-} de fuentes antropogénicas. Por otro lado, los valores de NO_3^- (con un valor promedio de 2.47 mg/l) sobrepasaron los valores reportados para sitios costeros con influencia antropogénica mínima los cuales se encuentran reportados con valores entre 0.11 mg/l (Galloway *et al.*, 1982) y 0.49 mg/l (Casimiro *et al.*, 1991), y mostraron una correlación alta con SO_4^{2-} , apuntando a que existe una fuente en común. El pH promedio fue de 4.64, lo cual muestra una buena correlación con los niveles de SO_4^{2-} y NO_3^- , siendo una planta de recompresión de gas amargo localizada a 10 km al noreste de San Antonio Cárdenas la fuente principal de esta fuerte acidez.

Para la localidad de Puerto Morelos existen dos estudios sobre agua de lluvia. En 1999 Bravo *et al.*, llevaron a cabo un estudio sobre la composición química de la lluvia. Los resultados indicaron valor promedio de pH de 5.35. Los iones de Na^+ (128 $\mu\text{eq/l}$) y Cl^-

(150.7 $\mu\text{eq/l}$) y su proporción de 0,85 indican el origen marino de la humedad. Los valores de NH_4^+ y de NO_3^- sugieren la ausencia de emisiones antropogénicas locales. Por otro lado, las concentraciones promedio del exceso de SO_4^{2-} fueron de 9.7 $\mu\text{eq/l}$, lo cual se encuentra acorde con el valor hemisférico de fondo para el exceso de SO_4^{2-} [aproximadamente 10 $\mu\text{eq/l}$ (Galloway *et al.*, 1982)]. Los autores establecieron dos posibles orígenes del exceso de sulfato, el primero de origen natural, de la oxidación del sulfuro de dimetilo en el aire, el cual es producido por las algas del océano; y el segundo de origen antropogénico, por la oxidación de SO_2 debido a la combustión de combustibles fósiles. Por otro lado, la concentración de nitratos fue de 11.4 $\mu\text{eq/l}$, la cual se encuentra cuatro veces por encima del valor hemisférico de fondo (aproximadamente 2.8 $\mu\text{eq/l}$), y alrededor de tres veces los valores reportados para la Isla de Bermuda (4.4 $\mu\text{eq/l}$) y Puerto Rico (4.3 $\mu\text{eq/l}$). Los autores infieren que las islas del Caribe son un aporte importante de NO_3^- .

En 2002, Cerón *et al.*, realizaron un estudio sobre la composición química del agua de lluvia al final del verano en Puerto Morelos, Quintana Roo, obteniendo valores similares a los reportados en otras regiones del Mar Caribe, exceptuando los valores de nitratos. El sodio y el magnesio presentaron las concentraciones promedio más altas (91% y 95% respectivamente), siendo los aerosoles de sal marina casi exclusivamente la única fuente de éstos. Por otro lado, el valor de SO_4^{2-} de origen no marino fue de 0.65 mg/l, valor cercano al registrado en la literatura (0.48 mg/l). Sin embargo, la concentración de nitratos fue mucho más elevada (3.97 mg/l) que la reportada en el resto del Mar Caribe, esta concentración excede 20 veces el valor registrado en la bibliografía para esta zona, el cual es de 0.155 mg/l. El 80% de las muestras presentaron valores de pH menores a 5.6. Así mismo, los valores más bajos de pH (3.48) se obtuvieron en las muestras con los valores más altos de nitratos. Se observó que las concentraciones de nitratos más altas se relacionaron con la dirección del viento, teniendo picos máximos cuando el aire se dirigía de la Península de Yucatán hacia el mar, así como cuando hubo incendios forestales, por lo que estos últimos se establecieron como la principal

fuente de nitratos durante la época de estiaje. Estadísticamente, no se encontró diferencia significativa de las concentraciones de las especies iónicas entre periodos de muestreo, excepto en los valores de nitratos y de ion hidrógeno.

2.3. Antecedentes sociales sobre la captación de agua de lluvia.

La sostenibilidad en el uso del agua es un tema complicado, que se aborda desde aproximaciones diferentes (social, ambiental, ecológico, hidrológico, económico, etc.), por lo que uno de los mayores retos para su gestión sostenible es la integración de sus diferentes enfoques (Madrid, Cabello y Kovacic, 2013). Por otro lado, Rhoades y Stallings (2003) consideran necesaria una metodología que integre los enfoques científicos y de percepciones de los actores involucrados, para llevar a cabo un desarrollo sostenible exitoso. Madrid, Cabello y Kovacic (2013) proponen llevar a cabo la evaluación integral a partir de las relaciones entre sociedades y ecosistemas. Esta metodología se fundamenta en un nuevo concepto: Sistema Socio-Ecológico o socio-ecosistema (SES) (sensu Gallopin, 1994: 19 - 23).

Este concepto integra las diferentes perspectivas de las disciplinas científicas para comprender las relaciones e interacciones entre sistemas sociales y sistemas naturales con el fin de proponer una gestión y un desarrollo más sustentables (Challenger et al., 2014). Challenger *et al.* (2014: p. 2) lo definen como: “un sistema social (y sus subsistemas y elementos) integrado a un sistema ecológico (y sus subsistemas y elementos), formando un conjunto inseparable, en el cual las relaciones recíprocas entre los componentes y subsistemas conducen la evolución del SES como un todo”, dentro de este concepto, se incorpora al ser humano como parte de los ecosistemas.

En la actualidad, existe una gran cantidad de información sobre la captación de agua de lluvia, sistematizada en archivos históricos (Ballén, Galarza y Ortiz, 2006), manuales de construcción de sistemas (Adler, Carmona y Bojalil, 2008), información sobre las ventajas de la captación de agua de lluvia (OPS *et al.*, 2004), propuestas para el abastecimiento de agua en comunidades sin acceso a agua potable (FAO, FIDA y

Confederación Suiza., 2013) y estudios sobre la calidad del agua de lluvia (Abdulla y Al-Shareef, 2009), por citar algunos ejemplos.

No obstante, y a pesar de que las metodologías incorporan un sinnúmero de variables sociales, son pocas las investigaciones que consideran a las características y percepción de los usuarios dentro de la batería de variables útiles al marco de los SES. Algunos de estos estudios son, por ejemplo, el llevado a cabo por Bosibori en 2013 en donde analiza los procesos de implementación, la percepción de las comunidades en el proyecto de cosecha de agua de lluvia y su influencia en el proceso de adopción de la tecnología por la comunidad; donde concluye que las tecnologías de captación de agua son vistas por la comunidad como una buena iniciativa para el mejoramiento de las prácticas de cultivo en periodos de escases. Sin embargo, la sustentabilidad de la tecnología y su adopción parece poco probable debido a varios factores sociales, entre los que destacan la falta de conocimientos técnicos y la intensa mano de obra necesaria para la construcción de las estructuras.

Por otro lado, en Reino Unido Ward *et al.*, en 2013, realizaron un estudio sobre la percepción de usuarios y no-usuarios de agua de lluvia sobre los sistemas de captación. Ambos grupos percibieron de forma positiva la captación de agua. Sin embargo, la investigación deja ver dos factores principales que amenazan la implementación de los sistemas de captación de agua de lluvia: el costo y el mantenimiento de los sistemas.

Chandra (2015) llevó a cabo un estudio de sustentabilidad de los sistemas de captación de agua de lluvia para uso doméstico, en la localidad de Daugha en Gulmi, Nepal, en donde estos sistemas se implementaron en el año de 1997 para cubrir necesidades domésticas del recurso hídrico. En este estudio se valuó la sustentabilidad a través de cuatro dimensiones: técnico, socio-ambiental, económica e institucional, utilizando un Análisis Multicriterio. A nivel social, los resultados demostraron una alta aceptabilidad de estos sistemas para su uso doméstico debido a que evitaba que mujeres y niños

viajaran grandes distancias acarreado agua. La reducción del tiempo de acarreo de agua daba una mayor disponibilidad de tiempo para realizar otras actividades: sociales, de cuidado infantil, y sobre todo actividades remuneradas. Así mismo, se observó que las personas desarrollaron habilidades y capacidades para mejorar los sistemas de captación y que la implementación de estos sistemas junto con la información aportada trajo efectos positivos en la higiene y en consecuencia en la salud de los habitantes. Este es uno de los pocos estudios en donde se tomó en cuenta la calidad del agua de lluvia, como parte de la dimensión técnica. Basándose en las Guías para la calidad para el agua potable de la Organización Mundial de la Salud y los Límites Estándar Nacionales de la India, de las muestras obtenidas de los 104 tanques de almacenamiento de los hogares, entre el 79% y el 100% de ellos se encontró dentro de los límites de referencia para los parámetros de temperatura, olor, sabor, color, turbidez, pH, amoníaco, hierro y dureza; mientras que tan solo el 52% de ellos se encontraron dentro de los límites de referencia para bacterias coliformes. En cuanto a la dimensión económica, Chandra observó que la creación y utilización de fondos para el mantenimiento y mejora de los sistemas de captación no se ha llevado a cabo de forma efectiva, mientras que en la dimensión institucional, Chandra observó que en la actualidad los comités de usuarios de agua de lluvia, que se formaron al inicio del proyecto, se encuentran prácticamente inactivos; así mismo observó que tan solo el 25% de los encuestados tenía conocimiento sobre el fondo económico para el mantenimiento de los sistemas y su manejo y, por otro lado, los encuestados aseguraron que el personal capacitado para el mantenimiento de los sistemas generalmente se encuentra ausente de la localidad. Los resultados obtenidos indicaron que las dimensiones con mayor sustentabilidad son la técnica y la socio-ambiental, sin embargo, las dimensiones económica e institucional se encuentran categorizadas como débiles. Así, en conjunto, las cuatro dimensiones califican a este caso de estudio como “sostenible, pero en riesgo”.

En México existen pocos estudios sociales publicados con respecto al agua de lluvia. Uno de ellos es el de Fuentes-Galván *et al.* en 2015, quienes evaluaron la aceptación

de los sistemas de captación de agua de lluvia en tres localidades del estado de Guanajuato: Guanajuato, Silao y Romita. Para esto, los autores elaboraron un cuestionario dividido en seis secciones, la primera se enfocaba en los datos de identificación de la vivienda (ubicación, género del entrevistado, características de la casa); la segunda sección trataba sobre los usos del agua de la red pública; la tercera sección tenía como objetivo evaluar la perspectiva de los entrevistados sobre la calidad del agua de la red pública (si bebían el agua de grifo o si detectaban algún color u olor en ella); la cuarta sección evaluó el uso potencial del agua de lluvia (aceptación de los entrevistados de usos específicos); la quinta sección abordaba el tema de la disponibilidad de los entrevistados a la inversión y mantenimiento de un sistema de captación, así como una pregunta sobre quién debería de proveer apoyo económico para la implementación de estos sistemas. Finalmente, la última sección trataba sobre la demanda de agua y el pago por el servicio de agua potable. En total, Fuentes-Galván *et al.*, aplicaron 504 cuestionarios en las tres localidades. Dentro de los resultados obtenidos encontraron que uno de los factores determinantes para la implementación de los sistemas de captación de agua de lluvia era su costo tanto para su instalación como para su operación. Así mismo, los encuestados opinaron que el apoyo económico por parte del gobierno era uno de los factores principales para llevar a cabo su implementación. Por otro lado, encontraron que la información con respecto al manejo del agua es importante para impulsar prácticas sustentables en su uso y manejo, siendo importante la comunicación de información sobre este tema a diferentes niveles de la población. Los resultados de las encuestas mostraron que en las tres localidades de estudio el 91.5% de los encuestados estarían dispuestos a usar agua de lluvia, por lo que mostraron disponibilidad para la instalación de estos sistemas. Así mismo, observaron que las casas tienen las características necesarias para su implementación. En cuanto a los usos del agua, se observó una mayor aceptación para aquellos que tuvieran menor contacto humano, como la limpieza en la casa, el riego de plantas y el lavado de autos. Los autores concluyeron que la percepción sobre el agua en las localidades de estudio es útil para impulsar el uso del agua de lluvia como una

alternativa de abastecimiento y, por otro lado, sentar las bases para generar estrategias para el manejo del agua.

3. JUSTIFICACIÓN

En la localidad de Puerto Morelos y en general en la Península de Yucatán, al no existir cuerpos de agua superficiales, el abastecimiento se lleva a cabo por medio de pozos, aprovechando el agua subterránea. Sin embargo, esta agua es altamente vulnerable a la contaminación por infiltraciones, principalmente de origen antropogénico. Según Ward, Weidie y Back (1985) (en Sánchez, *et al.* 2016), aunque en apariencia no exista carencia de agua, en realidad la combinación de ciertos factores climáticos, hidrogeológicos, sociales, ecológicos, etc. han provocado la carencia del recurso, existiendo inclusive una restricción en ciertas zonas. A partir de lo anterior, la captación de agua de lluvia podría representar una alternativa complementaria de suministro específicamente en época de lluvias, cuando el acuífero se vuelve más vulnerable debido a que las mismas lluvias promueven la infiltración de contaminantes hacia el subsuelo (Hernández-Terrones *et al.*, 2011).

De igual manera, se tiene conocimiento que en la localidad de Puerto Morelos se lleva a cabo la captación de agua de lluvia por algunos de sus habitantes, pero a diferencia de otras localidades, en ésta se realiza de una forma independiente y no organizada, es decir, no es debido a la implementación de programas sociales llevados a cabo por instituciones u organizaciones externas a la comunidad, o por un grupo organizado de la población, sino que es una práctica individual donde las personas por motivos diversos captan el agua de lluvia.

Derivado de lo anterior y al no existir datos sobre la calidad del agua de lluvia ni sobre los aspectos sociales relacionados con esta actividad y, en consecuencia, tampoco estudios que integren estas dos perspectivas, se considera necesario evaluar la calidad del agua de lluvia para contar con bases sólidas que respalden sus usos actuales, así como analizar las características sociodemográficas, de percepción, opinión y

motivación de los usuarios, su formas de manejo del recurso y los usos que le dan, para así evaluar la factibilidad de la captación de agua de lluvia como una alternativa complementaria de suministro en la localidad de Puerto Morelos.

4. HIPÓTESIS

Se plantea que la captación de agua de lluvia en la localidad de Puerto Morelos es una alternativa complementaria de suministro de agua factible desde el aspecto de calidad del agua y desde el aspecto social.

5. OBJETIVO GENERAL

Determinar la factibilidad de la captación del agua de lluvia como una alternativa complementaria de suministro de agua en la localidad de Puerto Morelos, a partir de dos aspectos: la evaluación de la calidad del agua de lluvia y el aspecto social.

5.1. Objetivos específicos

1. Evaluar la calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua de lluvia
 - a) Captada
 - b) Almacenada
2. Determinar las principales características sociodemográficas de los usuarios de agua de lluvia, sus percepciones, motivaciones y formas de manejo del recurso.
3. Determinar si los usos actuales del agua de lluvia se encuentran concordantes con la calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Área de estudio

Puerto Morelos es un poblado que geográficamente se ubica en la costa noreste del estado de Quintana Roo, frente al Mar Caribe entre los 21° 00' 12.12" y los 20° 44' 54.29" latitud norte y entre los 86° 59' 12.15" y los 86° 49' 35.21" longitud oeste, entre

las ciudades de Cancún (hacia el norte) y Playa del Carmen (hacia el sur). (CONABIO, 2009) (Figura 1).

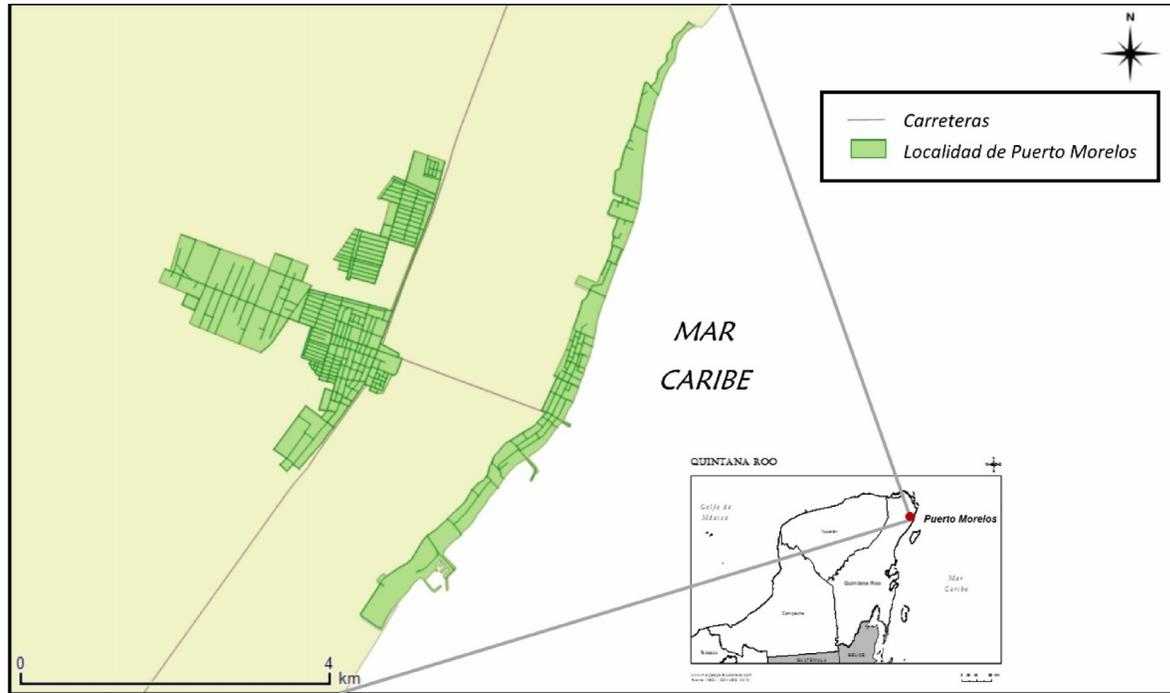


Figura 1. Localidad de Puerto Morelos. (Modificado de INEGI, 2010a).

La altitud media de la localidad de Puerto Morelos oscila entre los tres y los cinco msnm. En la zona costera la altitud va de los cero a los tres msnm y la región que abarca la zona de manglar hacia tierra adentro va de los tres a los 10 msnm (Elizondo *et al.*, 2011). Las corrientes superficiales de agua dulce no son permanentes en la región, ya que el agua se infiltra hacia el subsuelo a través de la roca caliza.

El clima de la región es cálido subhúmedo del tipo Aw2, con una temperatura media anual de 25.8°C. Se consideran a los meses de julio y agosto como los más calurosos, con temperaturas promedio de 29°C, mientras que los meses más fríos se consideran a enero y febrero, teniendo temperaturas promedio de 24.8°C. La precipitación media anual es de 1,098.2 mm. (Elizondo *et al.*, 2011). Presenta una estación de secas entre marzo y mayo, una de lluvias entre junio y octubre y una de nortes de noviembre a

febrero (CONABIO, 2009). Los vientos predominantes son los alisios provenientes del sureste, sin embargo, en la época de nortes, los vientos predominantes provienen del norte. Además, existe una temporada de huracanes entre los meses de junio a noviembre, siendo agosto y septiembre los de mayor incidencia (Elizondo et al., 2011).

En 2010, Puerto Morelos presentaba una población total de 9,188 habitantes, de los cuales el 50.79% eran hombres y el 49.21% mujeres (INEGI, 2010b). La tasa de crecimiento de la vivienda entre 2005 y 2010 fue de 19.10% y mayor a la registrada para Cancún (Poder Ejecutivo del Estado de Quintana Roo, 2015). Su población es en su mayoría foránea (69.86%) y se estima que solo 30.14% es nativa del estado de Quintana Roo. La escolaridad promedio en la localidad es secundaria concluida. El total de viviendas habitadas es de 2,737; de las cuales el 92.4% disponen de agua entubada en el ámbito de la vivienda; y el 92.66% disponen de drenaje. Mientras que, en conjunto, el 90.1% disponen de servicio de luz eléctrica, agua entubada de la red pública y drenaje (INEGI, 2010b). Sus actividades económicas principales son de tipo terciario primordialmente turismo (hospedaje, restaurantes y actividades turísticas); así como de tipo primario, principalmente la pesca (Poder Ejecutivo del Estado de Quintana Roo, 2015).

6.2. Materiales y métodos para la evaluación de la calidad del agua de lluvia

6.2.1. Importancia de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos.

Se tomaron en cuenta 12 parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos para conocer la calidad del agua de lluvia para su uso doméstico. A continuación, se describe su importancia:

6.2.1.1. Físicos

- Temperatura: Es un parámetro de caracterización que permite conocer el estado de un cuerpo de agua en un momento determinado. Este parámetro repercute en las variaciones de otros parámetros para su aceptabilidad como recurso. Las

temperaturas altas generalmente aumentan la proliferación de microorganismos y maximizan el sabor, el olor y el color (OMS, 2006).

- Color: Permite saber si el agua, en su paso a través de la atmósfera o en el proceso de almacenamiento, estuvo en contacto con partículas que se disolvieron al entrar en contacto con ésta. El agua con color no es agradable, esto quiere decir, que no es estéticamente aceptable para su potabilización. Así, las aguas con color afectan el valor del agua para su uso (APHA, 1998). Las aguas con color pueden ejercer una cierta demanda de cloro y reducir su poder desinfectante cuando se usan para su tratamiento (Tomar, 1999).
- Turbidez: es un parámetro que indica la presencia de sólidos suspendidos en el agua. La claridad de un cuerpo de agua natural es un determinante importante de su condición y productividad. Así mismo, la turbidez es importante en agua para uso o consumo humano. (APHA, 1998). Por otro lado, una turbidez elevada puede proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección, estimular la proliferación de bacterias y generar una demanda significativa de cloro. Las partículas coloidales pueden servir como sitios de adsorción adecuados para diferentes productos químicos. Estos pueden impartir sabores u olores indeseables o pueden ser tóxicos o peligrosos para la salud (Tomar, 1999).

6.2.1.2. Químicos

6.2.1.2.1. Inorgánicos

- Potencial de hidrógeno (pH): indica el grado de acidez o basicidad de un sistema (Tomar, 1999). El pH, junto con la temperatura ejercen influencia significativa sobre el comportamiento de otros parámetros y, por otro lado, determinan ciertas características importantes para los usos del agua, ya que muchas reacciones dependen de él. Las aguas muy ácidas o muy alcalinas son indeseables debido a sus condiciones agresivas. El agua para uso potable debe oscilar en valores de pH de entre 6.5 y 8.5 (OMS, 2006). Sin embargo, el agua de lluvia, de manera natural posee un pH promedio de 5.66 (Drever, 1997) a 5.7 (Caroll, 1962).

- Conductividad eléctrica: Es un parámetro que ayuda a estimar de manera indirecta los sólidos totales disueltos (mg/L) en el agua (APHA, 1998), y permite identificar los diferentes tipos de aguas naturales. El agua de lluvia es el tipo de agua natural que tiene los valores de conductividad eléctrica más bajos ($2 \mu\text{s/cm}$ y los $100 \mu\text{s/cm}$), puesto que desde su formación en las nubes hasta antes de su llegada a la superficie terrestre el contacto que tiene con partículas sólidas y gases, así como el tiempo de residencia en la atmósfera es corto; mientras que las aguas naturales contenidas en ríos, lagos, acuíferos u océanos, en donde los tiempos de residencia y su contacto con minerales son mayores, los valores de conductividad eléctrica son más altos (Sanders, 1998). En el aspecto de calidad, los sólidos disueltos pueden impartir sabor y color al agua y provocar corrosión (CNA, 2007).
- Alcalinidad: La alcalinidad está asociada al comportamiento del sistema carbonatos en el agua. Los carbonatos son aportados al agua principalmente por la interacción de ésta con minerales que contengan estos iones (Goyenola, 2007), por lo que permite conocer de manera indirecta las interacciones del agua con partículas carbonatadas que se encuentra en la atmósfera y con las superficies de contacto. En el caso del agua de lluvia esta interacción es escasa, por lo que su alcalinidad también lo es (Verma, 1998). La alcalinidad representa el principal sistema amortiguador del agua dulce (Goyenola, 2007). Este parámetro, junto con el pH y la conductividad eléctrica se evaluaron en las primeras muestras para garantizar que el agua proviniera de los eventos de precipitación; y en las muestras de almacenamiento para conocer las diferencias entre ellas.
- Nitritos y nitratos: Estos compuestos indican las interacciones del agua de lluvia con los NO_x provenientes de la combustión de medios de transporte, industrias, incendios, etc. (Calvo, Molilna y Salvachúa, 2009). Los nitritos y nitratos presentes en agua también pueden ser consecuencia de la acción microbiana (Anton y Lizaso, 2001). La presencia de nitritos y nitratos en el agua se ha asociado con la enfermedad de metahemoglobinemia (OMS, 2006), por lo que es

importante conocer las cantidades que se encuentran en el agua de lluvia, en caso de un uso potable.

6.2.1.2.2. Orgánicos

- Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xileno (BTEX): Estos compuestos forman parte de los Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) y su medición permite conocer su contenido en el agua de lluvia debido a su arrastre en el proceso de precipitación. Estos compuestos son liberados a la atmósfera debido a pérdidas por evaporación de combustibles fósiles almacenados o en despachamiento, emisiones de vehículos, actividades industriales, quema de biomasa, humo de tabaco, uso de disolventes, pegamentos y limpiadores en artes y oficios, etc. (Hinwood *et al.*, 2006). La importancia de detectar estas sustancias en el agua es que son sumamente perjudiciales para la salud: producen efectos nocivos sobre el sistema nervioso central y la sangre. Así mismo se ha determinado que algunos de estos compuestos tienen potencial teratogénico o carcinógeno en seres humanos (APHA, 1998; OMS, 2006).
- Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAH): Los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAH por sus siglas en inglés) son compuestos provenientes de la pirólisis y la combustión incompleta de combustibles fósiles, materia orgánica, basura, incendios, etc. (ATSDR, 1995). La mayor parte de estos compuestos llegan al ambiente a través de la atmósfera, gracias a los procesos de combustión (OMS, 2006). Muchos de estos son altamente carcinogénicos a niveles relativamente bajos. Aunque son relativamente insolubles en agua, su alta peligrosidad amerita su monitoreo en aguas potables (APHA, 1998).

6.2.1.3. Bacteriológicos

- Coliformes totales: Es un parámetro que indica de forma rápida y sencilla la presencia de actividad microbiológica en el agua. El grupo de los coliformes totales incluye microorganismos que pueden sobrevivir y proliferar en el agua. Por consiguiente, no son útiles como índice de agentes patógenos fecales. Sin

embargo, pueden indicar contaminación por la entrada de materia extraña, como tierra o plantas (OMS, 2006).

- *E. coli*: Este parámetro indica, igualmente de forma rápida y sencilla, la presencia de organismos potencialmente patógenos para el ser humano. Los coliformes fecales, con su principal representante *E. coli* indican la presencia de reciente contaminación fecal en el agua, que puede contener microorganismos patógenos para el ser humano (OMS, 2006).

6.2.1.4. Volúmenes de muestra y recipientes requeridos.

A continuación, en la tabla 1, se muestra el volumen necesario para cada análisis, los recipientes y formas de preservación.

Tabla 1. Volúmenes de muestra requeridos, recipientes y formas de preservación. (Elaboración propia).

PARÁMETRO	VOL. POR ANÁLISIS	NO. DE ENJUAGUES CON LA MISMA MUESTRA	VOL. POR ENJUAGUE	VOL. TOTAL DE MUESTRA POR PARÁMETRO	RECIPIENTES	FORMA DE PRESERVACIÓN	TIEMPO MÁXIMO DE PRESERVACIÓN
Temperatura	10 ml	0	0	10	N/A	N/A	Inmediatamente (NOM-014-SSA1-1993) (Tomar, 1999) 0.25 horas (APHA, 1998)
Conductividad eléctrica	50 ml	0	0	50 ml	1 botella de polietileno marca Nalgene de 60 ml	Refrigeración a 4°C	28 días (NOM-014-SSA1-1993) (Tomar, 1999) (APHA, 1998)
pH							Inmediato (NOM-014-SSA1-1993) 2 horas (Tomar, 1999) 0.25 horas (APHA, 1998)
Alcalinidad							14 días (NOM-014-SSA1-1993) (Tomar, 1999) 24 horas (APHA, 1998)
Color	4 ml	0	0	4 ml	1 botella de polietileno marca Nalgene® de 60 ml	Refrigeración a 4°C	48 horas (NOM-014-SSA1-1993) (APHA, 1998) 24 horas (Tomar, 1999)
Turbidez	4 ml	3	12 ml	16 ml	1 botella de polietileno marca Nalgene® de 60 ml	Refrigeración a 4°C	48 horas (NOM-014-SSA1-1993) (Tomar, 1999) 24 horas (APHA, 1998)
Nitritos	4 ml	3	12 ml	16 ml			48 horas (NOM-014-SSA1-1993) 24 horas (Tomar, 1999) Inmediatamente (APHA, 1998)
Nitratos	4 ml	3	12 ml	16 ml			48 horas (NOM-014-SSA1-1993) (Tomar, 1999) (APHA, 1998)
VOLUMEN TOTAL				52 ml	1 botella de polietileno marca Nalgene® de 60 ml		
BTEX	40 ml	0	0	40 ml	2 viales EPA de 40 ml	Refrigeración a 4°C	14 días (EPA, 1995)
PAH	40 ml	0	0	40 ml			40 días (EPA, 1984)
VOLUMEN TOTAL				80 ml	2 viales EPA de 40 ml		
Coliformes totales	100 ml	0	0	100 ml	1 botella de plástico esterilizable	Refrigeración a 4°C	6-24 horas (APHA, 1998)
<i>E. coli</i>							

El volumen mínimo de muestra requerido fue de 370 ml. Sin embargo, se decidió coleccionar 500 ml, para tener 130 ml extra en caso de algún accidente en el cual se perdiera una pequeña parte de la muestra.

Los recipientes fueron previamente lavados de acuerdo con los requerimientos para cada parámetro (Tabla 2).

Tabla 2. Tipos de lavado de recipientes de acuerdo con cada tipo de parámetro a analizar. (Elaboración propia).

PARÁMETRO	TIPO DE RECIPIENTE	TIPO DE LAVADO
Color, turbidez, nitritos, nitratos y alcalinidad.	Botellas de polietileno marca Nalgene® de 60 ml	<ul style="list-style-type: none"> • Lavado con jabón libre de fosfato • 3 enjuagues con agua corriente • 3 enjuagues con agua tipo Milli Q • Baño ácido por 24 horas con HCl al 2%
BTEX y PAH	Viales EPA de 40 ml	<ul style="list-style-type: none"> • Lavado con jabón libre de fosfato • 3 enjuagues con agua corriente • 3 enjuagues con agua tipo Milli Q • 3 enjuagues con alcohol de 70° • 3 enjuagues con acetona
Coliformes totales y <i>E. coli</i>	Botellas de plástico esterilizables.	<ul style="list-style-type: none"> • Lavado con jabón libre de fosfato • 3 enjuagues con agua corriente • 3 enjuagues con agua tipo Milli Q • Esterilización en autoclave por 10 minutos a una temperatura de 121°C

6.2.2. Diseño experimental

6.2.2.1. Diseño y prueba de colectores para captación directa

Se construyeron tres prototipos de colectores (figura 2), siendo elegido el modelo (c, el cual consiste en dos cubetas de 20 litros empalmadas. A la cubeta superior se le atornillaron tres pijas equidistantes de 3.1 cm (1¼") a manera de soporte, donde descansaría el recipiente colector de agua, el cual fue un recipiente de plástico con tapa hermética. La cubeta inferior lleva un peso para evitar que el colector se volteara en caso de viento fuerte. Se eligió este modelo por tres

razones: los materiales fueron fáciles de conseguir, la elaboración fue rápida y sencilla y el tamaño y la forma les facilitó su manipulación a los voluntarios.



Figura 2. Prototipos de colectores de agua de lluvia a) banco de plástico con recipiente de plástico que sostiene a un frasco de vidrio, en el cual se encuentra el embudo de plástico por donde entraría el agua de lluvia; b) estructura de madera de tres extremidades y botellas de plástico con agua para evitar la caída del sistema debido al viento; c) dos cubetas empalmadas con un recipiente de plástico en la parte superior.

Para evaluar que la altura del recipiente colector fuera la adecuada para evitar salpicaduras desde el piso, se colocó una hoja de papel dentro del colector y se realizaron pruebas con una manguera, asemejando la caída de agua alrededor del colector; se observó que el papel no tuviera salpicaduras (ANEXO 1).

Debido al interés de evaluar el enriquecimiento del agua de lluvia respecto a los hidrocarburos se tomó en cuenta que el material plástico con el que están fabricados los recipientes pudiera presentar sorción de los hidrocarburos a los plásticos (Rochman *et al.*, 2013), por lo cual se llevó a cabo una prueba para determinar si el material del recipiente colector provocaba una disminución en la concentración de hidrocarburos en el agua debido a la sorción de estos al plástico del colector. Para tener una comparativa, se hizo el experimento con dos recipientes, uno de vidrio y otro de plástico (recipiente colector). Se preparó una solución de 25 ml utilizando naftaleno a una concentración de $2\mu\text{g/ml}$ y agua de

calidad HPLC. Se tomó una lectura base al momento de la preparación, por medio del cromatógrafo de gases marca Thermo Fisher Scientific® modelo Trace GC Ultra y se colocaron 10 ml de la solución estándar en el recipiente de vidrio y 10 ml en el recipiente de plástico. Se refrigeraron por 24 horas asemejando el tiempo máximo de refrigeración de las muestras de agua de lluvia, a una temperatura de 4°C. Pasado este tiempo se valoraron las muestras para determinar las diferencias de concentraciones de naftaleno entre un recipiente y otro (ANEXO 2).

Debido a que sí se presentó sorción en el recipiente plástico después de 24 horas de almacenamiento en refrigeración, se decidió trasvasar la muestra recolectada del recipiente de plástico a un recipiente de vidrio, para evitar pérdidas de hidrocarburos en caso de su existencia dentro de las muestras.

6.2.2.2. Limpieza y preparación de los colectores y kit de muestreo

El colector y kit de muestreo para los voluntarios consistió en varios elementos: el colector con dos cubetas empalmadas de 20 litros y el recipiente colector con tapa; el kit fue un frasco de vidrio de 500 ml en donde se guardaría la muestra, cuatro guantes estériles de látex para el manejo de los instrumentos, un vaso de plástico para evaluar el pH del agua colectada, una tira de pH, el patrón de colores de pH, y en dos casos un termómetro para medir la temperatura. Así mismo, se entregó una hoja con las instrucciones impresas (ANEXO 3) y una hoja de registro (ANEXO 4) en donde se anotó el nombre de quien colectó, fecha, hora de inicio de la lluvia, hora de puesta del colector, hora de fin de la lluvia, hora de refrigeración de la muestra, valor de pH, temperatura (cuando se le proporcionó al voluntario un termómetro) y observaciones.

Los recipientes colectores y sus tapas fueron lavados en laboratorio con jabón libre de fosfatos, enjuagado tres veces con agua corriente, tres veces con agua tipo Mili Q, tres veces con alcohol etílico de 70° [para eliminar microorganismos (McDonell y Russell, 1999) y posibles residuos de hidrocarburos (CORQUIVEN, 2000) que puedan intervenir en los resultados de los análisis] y enjuagados

nuevamente 3 veces con agua tipo Milli Q, para eliminar los residuos de alcohol. Cuando se secaron completamente se colocó la tapa a cada recipiente, se empaquetaron en bolsas nuevas de plástico transparente (40 cm x 50 cm) con el fin de evitar en la medida de lo posible el contacto con el ambiente y otras superficies que pudieran contaminarlo (Figura 3).



Figura 3. Recipiente colector.

El frasco de vidrio se lavó con jabón libre de fosfatos, se enjuagó tres veces con agua corriente y tres veces con agua tipo Milli Q, se escurrieron y se esterilizaron en una autoclave durante 15 minutos.

El vaso de plástico se lavó con jabón libre de fosfatos, se enjuagó tres veces con agua corriente y tres veces con agua tipo Milli-Q. Cuando se secaron completamente se colocó dentro de ellos una tira de pH y se cubrió con plástico autoadherible. Cabe mencionar que el pH registrado por los voluntarios con las tiras solo fue tomado en cuenta para constatar que el agua no tuviera altas variaciones de pH al ser colectada, además de que las tiras solo registran valores

enteros, por lo que no son lo suficientemente precisas. Posteriormente se evaluó el pH en laboratorio.

El kit de muestreo se empaquetó en bolsas con cierre hermético de 27 cm x 28 cm (Figura 4).



Figura 4. Kit de muestreo entregado a los voluntarios para realizar la colecta de agua de lluvia en Puerto Morelos.

6.2.3. Muestreos

El muestreo consistió en dos fases: en la primera fase se realizaron cuatro muestreos de lluvia directa, es decir, la colectada en los colectores proporcionados a los voluntarios, en donde el agua no tocó ninguna otra superficie más que la del recipiente colector (a lo largo del texto se hará referencia a esta tipo de agua como *lluvia colectada o agua colectada*); y la segunda fase, en donde además de realizar la colecta de lluvia, se tomaron muestras de la lluvia almacenada por los usuarios (se hará referencia a esta agua como *lluvia almacenada o agua almacenada*). De esta forma se pudo evaluar la calidad del agua de lluvia tanto antes de entrar en contacto con las superficies de los sistemas de

almacenamiento como cuando ya entraron en contacto con ellas. A continuación, se detalla el muestreo de lluvia colectada y el muestreo de lluvia almacenada.

6.2.3.1. Muestreo de agua de lluvia colectada

6.2.3.1.1. Estimación de cantidad mínima de precipitación

Para conocer la cantidad mínima de precipitación necesaria para obtener una muestra de 500 ml se llevaron a cabo los siguientes cálculos:

1 mm de lluvia captado en una superficie de 1m^2 equivale a 1 litro de agua, si este recipiente tuviera una forma redonda necesitaría tener un diámetro de 112.84 cm. El recipiente colector que se utilizó para el estudio tiene un diámetro de 25.5 cm, por lo que su capacidad de colecta es de 51 ml por milímetro precipitado (Figura 5).

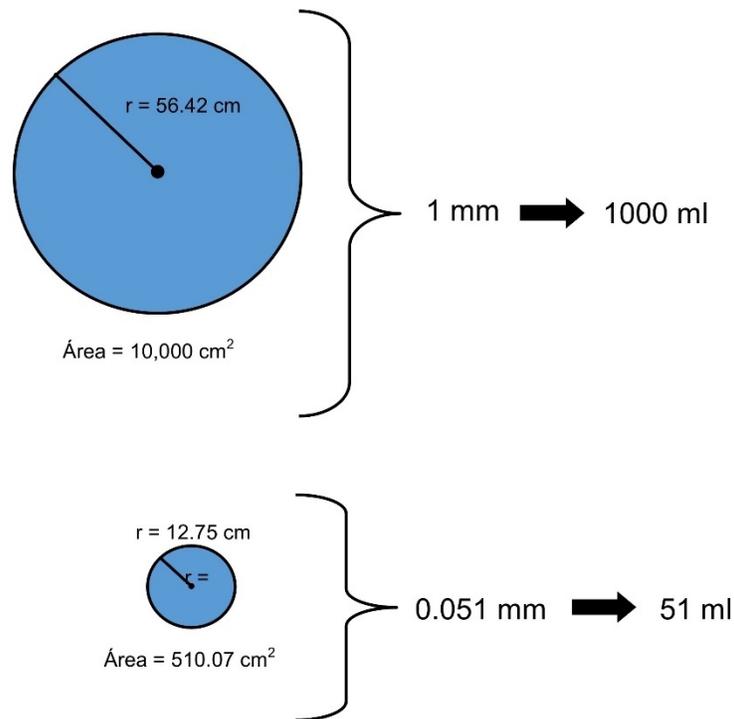


Figura 5. Precipitación colectada en un área de $10,000\text{ cm}^2$ (1m^2) y en un área de 510.07 cm^2 (área del recipiente colector). (Elaboración propia).

De esta forma tenemos los cálculos en la tabla 3.

Tabla 3. Cálculos para determinar la cantidad de precipitación necesaria para obtener 500 ml de agua de lluvia. (Elaboración propia).

DIÁMETRO DEL RECIPIENTE (cm)	ÁREA DE RECIPIENTE (cm ²)	CANTIDAD DE LLUVIA CAPTADA (mm)	CANTIDAD DE LLUVIA CAPTADA (ml)	CANTIDAD DE PRECIPITACIÓN EN mm NECESARIA PARA OBTENER 1000 ml	CANTIDAD DE PRECIPITACIÓN NECESARIA EN mm PARA OBTENER 500 ml DE AGUA
112.84	10,000	1	1000	1	0.5
25.5	510.71	0.051	51	19.56	9.78

6.2.3.1.2. Selección de eventos de lluvia

La selección de eventos de lluvia con las características necesarias para obtener la cantidad de muestra requerida (500 ml) se realizaron en base a cinco criterios principales observados en las páginas de internet de pronóstico del tiempo:

- Probabilidad de lluvia: posibilidad de que ocurra precipitación en cualquier punto que se seleccione en la zona (Weather Forecast Office, 2017).
- Pronóstico de precipitación cuantitativa: pronóstico de precipitación espacial y temporal que predice la cantidad potencial de precipitación futura para una región o área especificada (NOAA's National Weather Service, 2009).
- Tipo de precipitación:
 - Llovizna: Precipitación consistente en numerosas gotas diminutas de agua de menos de 0.5 mm (500 micrómetros) de diámetro.
 - Lluvia: Precipitación que cae a la tierra en gotas de más de 0,5 mm de diámetro.
 - Chubasco: precipitación caracterizada por la brusquedad con la que comienzan y se detiene, por los rápidos cambios de intensidad, y por lo general por cambios rápidos en la apariencia del cielo.
 - Tormenta: Una tormenta local producida por una nube cumulonimbus y acompañada por relámpagos y truenos (NOAA's National Weather Service, 2009).

- Intensidad de precipitación: Es la razón de incremento de la altura que alcanza la lluvia respecto al tiempo (mm de lluvia). Se clasifica en ligera, moderada y fuerte (Servicio Meteorológico Nacional, 2017)
- Duración de la precipitación: Periodo de tiempo en el que cae una precipitación (Cornell University, 2017).

Los criterios para la colecta de lluvia se intentaron llevar a cabo cuando se observó en el pronóstico del tiempo las siguientes características del evento:

- Probabilidad de lluvia: >70%
- Pronóstico de precipitación cuantitativa: > 10 mm
- Tipo de precipitación: Lluvia o tormenta
- Intensidad de precipitación: Fuerte
- Duración de la precipitación: 2 – 4 horas continuas

Las páginas consultadas fueron las siguientes:

- Servicio Meteorológico nacional (<http://smn.cna.gob.mx/es/>)
- Coordinación de Protección Civil del Estado de Quintana Roo (<http://proteccioncivil.qroo.gob.mx/portal/Boletin.php>)

Por otro lado, posterior a los eventos muestreados, se obtuvieron los datos de precipitación y dirección del viento del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM en la localidad de Puerto Morelos para tener referencia de las condiciones meteorológicas de cada evento.

6.2.3.1.3. Voluntarios y estaciones de muestreo

Para el muestreo de lluvia colectada, de inicio se buscaron 12 viviendas en la localidad como estaciones de muestreo. La selección de sitios (viviendas) se llevó a cabo a partir de cuatro criterios: 1) por la información obtenida en las encuestas realizadas de la parte social, 2) por la distribución geográfica, es decir, que los sitios estuvieran distribuidos de manera heterogénea en la localidad, para evitar tomar muestras únicamente de un sitio o zona, 3) personas que fueran

recomendadas por otros voluntarios y 4) personas que tuvieran la disposición y la disponibilidad de tiempo para coleccionar el agua como se les indicara.

Inicialmente se distribuyeron los colectores a 12 voluntarios diferentes, sin embargo, en el transcurso del estudio fueron cambiando, ya que hubo varios de ellos que en ocasiones dijeron que no podrían continuar haciéndolo, principalmente por la disponibilidad de tiempo. Al finalizar el estudio solo se contaba con 10 voluntarios, de los cuales seis de ellos son usuarios de agua de lluvia. El número de muestras siempre fue de entre una y cinco muestras de diferentes voluntarios por evento, dependiendo en gran medida de la disponibilidad de los voluntarios.

Los voluntarios fueron personas mayores de 18 años dispuestos a colaborar en el proyecto y que no necesariamente practicaran la captación de lluvia, sino que tuvieran disponibilidad de tiempo para hacer la colecta de agua. Cada vivienda elegida como estación de muestreo se geoposicionó con un GPS modelo etrex 10 marca Garmín y se le asignó una clave por muestra por evento de lluvia, como se observa en la tabla 4.

Se le entregó a cada voluntario un colector, junto con un kit de muestreo, se les capacitó individualmente para realizar la colecta, y además de entregarles las instrucciones impresas (ANEXO 3), se les envió un vídeo vía multimedia a través del celular, para asegurar que llevaran a cabo adecuadamente el procedimiento. Se les solicitó también sus números telefónicos para formar un grupo con el cual se estuviera en contacto con ellos, y se les indicara el momento de llevar a cabo la colecta. Así mismo, ellos también contribuyeron con sus observaciones sobre los eventos de lluvia desde sus domicilios.

Tabla 4. Formato de claves de muestra por sitio por evento (lluvia colectada). (Elaboración propia).

EVENTOS DE MUESTREO	CLAVES DE MUESTRAS POR SITIO POR EVENTO
28/10/16	PM01-PM12 (Iniciales de la localidad + número entre el 01 y el 12)
10/12/16	PMQ01-PMQ12 (Iniciales de la localidad + inicial del estado + número entre el 01 y el 12)
11/12/16	PMQ01-PMQ12 (Iniciales de la localidad + inicial del estado + número entre el 01 y el 12)
19/04/17	PMQ01_02 – PMQ12_02 (Iniciales de la localidad + inicial del estado + número entre el 01 y el 12 + guion bajo + número 02)
04/05/17	PMQ_X (Iniciales de la localidad + inicial del estado + guion bajo + letra o letras del nombre del voluntario)
07/06/17	PMQ_X_02 (Iniciales de la localidad + inicial del estado + guion bajo + letra o letras del nombre del voluntario + guion bajo + número 02)
18/06/17	PMQ_X_03 (Iniciales de la localidad + inicial del estado + guion bajo + letra o letras del nombre del voluntario + guion bajo + número 03)
19/06/17	PMQ_X_03 (Iniciales de la localidad + inicial del estado + guion bajo + letra o letras del nombre del voluntario + guion bajo + número 03)
20/06/17	PMQ_X_03 (Iniciales de la localidad + inicial del estado + guion bajo + letra o letras del nombre del voluntario + guion bajo + número 03)

El procedimiento que debían seguir los voluntarios para colectar el agua de lluvia fue el siguiente:

1. El voluntario debía estar al pendiente del inicio de la lluvia en las fechas señaladas por la responsable del proyecto.
2. Cuando iniciara la lluvia sacar las cubetas y colocarlas en un lugar alejado de árboles, bardas o cualquier superficie donde pudiera rebotar el agua de lluvia y luego caer en el recipiente de plástico, igualmente era necesario

que en el lugar donde se colocara el colector no hubiera personas o animales de granja o mascotas que pudieran tener contacto con él. Se dejaría el colector hasta conseguir el volumen requerido (500 ml). (Considerando que el evento fuera lo suficientemente intenso o constante para coleccionar la lluvia en un tiempo menor a ocho horas, que sería el tiempo en el que por ejemplo se sacaría el colector por la noche y la lluvia durara hasta el día siguiente).

3. Lavarse las manos y colocarse los guantes.
4. Sacar de la bolsa de plástico el recipiente con tapa y destaparlo, sin tocar el interior del recipiente ni el interior de la tapa y colocarlo en la cubeta superior. (Guardar la tapa en la misma bolsa mientras terminara la colecta de lluvia). Desechar los guantes.
5. En la hoja de registro, poner fecha, nombre de quien hizo la colecta, hora de inicio de la lluvia y hora a la que se puso el colector.
6. Esperar a que terminara la lluvia y anotar la hora en la hoja de registro.
7. Preparar un área limpia donde se pudiera manejar el recipiente con el agua de lluvia.
8. Lavarse perfectamente las manos y colocarse el otro par de guantes.
9. Sacar el recipiente de plástico de la cubeta superior y llevarlo al área que se preparó anteriormente. (Destacando la importancia de no tocar el interior del recipiente mientras se manipulara).
10. Con mucho cuidado abrir el recipiente de vidrio, llenarlo al ras con el agua de lluvia y taparlo perfectamente, de tal forma que quedara la menor cantidad de aire posible en su interior.
11. Posteriormente vaciar una pequeña porción del agua colectada (del recipiente de plástico grande) al vaso de plástico, desechar el resto del agua y tapar el recipiente grande.
12. En el vaso, sumergir la tira de pH por 5 segundos, retirar y comparar el color de ésta con los colores del patrón proporcionado. Anotar en la hoja de registro el valor correspondiente.

13. Si se le entregaba un termómetro, sumergir el termómetro por 5 minutos en el agua del mismo recipiente donde se sumergió la tira y anotar en la hoja de registro la temperatura.
14. Guardar en el refrigerador el recipiente de vidrio bien tapado. Escribir en la hoja de registro la hora a la que se refrigeró la muestra.
15. Si se tuviera alguna observación extra, se anotaría en la hoja de registro en el campo de "Observaciones".
16. Posteriormente se notificaría a la responsable del proyecto que se hizo la colecta, quien pasaría a la brevedad posible por los recipientes.

Al momento de que la muestra fue recogida, se les proporcionó a los voluntarios un nuevo kit limpio para el siguiente evento de lluvia que se muestrearía.

Debido a la naturaleza impredecible de los eventos de precipitación, se recogieron las muestras lo más pronto posible si la notificación se recibió antes de las 17:00 horas, con lo cual se tuvo el tiempo suficiente para ir y regresar al laboratorio de la UCIA y hacer las pruebas correspondientes, y se recogieron al día siguiente cuando la lluvia fue colectada después de las 18:00 horas, sin exceder de 24 horas posteriores a la colecta de lluvia.

6.2.3.1.4. Recolección de las muestras

Previo a la recolección de las muestras se preparó en laboratorio:

- Una hielera con hielo.
- Recipientes colectores y kits limpios para cambiarlos por los que los voluntarios usaron para la recolección del agua de lluvia.
- Un recipiente colector, un kit y 500 ml de agua Milli Q esterilizada para la elaboración de un blanco de campo asemejando la colecta de agua de lluvia.
- Etiquetas.
- Plumones indelebles.
- Toallas de papel.

- Libreta de campo.
- Lapicero.

Llegando a la localidad se preparó el blanco de campo de la siguiente forma: se vertió el agua Milli Q esterilizada en el recipiente de plástico (recipiente colector) y de este se trasvasó al frasco de vidrio de 500 ml etiquetado como “Blanco de Campo” y se guardó en la hielera dentro de una bolsa con cierre hermético, a este blanco se le hicieron pruebas de bacteriología para asegurar que el proceso de recolección y transporte se realizó sin contaminación.

Se recorrieron los puntos de colecta de agua de lluvia dependiendo de la disponibilidad de los voluntarios que colectaron el agua. Los frascos con las muestras recolectadas se etiquetaron con la clave de la muestra y la fecha, se colocaron en bolsas con cierre hermético y se guardaron en la hielera a 4°C.

Después de la recolección de las muestras y el registro de los eventos se rectificó el correcto acomodo de estas al finalizar el recorrido en la localidad para evitar contaminación durante el transporte y se inició el regreso a laboratorio para el procesamiento de las muestras.

6.2.3.1.5. Análisis de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos

Las pruebas se realizaron en los laboratorios de la Unidad de Ciencias del Agua del Centro de Investigación Científica de Yucatán en la ciudad de Cancún, Quintana Roo.

Los primeros análisis realizados por cada evento fueron los bacteriológicos, ya que las bacterias de origen fecal *E. coli* tienen un tiempo de supervivencia fuera del tracto intestinal muy limitado, por lo que se estima que el tiempo óptimo para su análisis se encuentra dentro de las primeras seis horas posteriores a la colecta, aunque existe una tolerancia máxima de hasta 24 horas (APHA, 1998). Esta prueba se llevó a cabo con el método del Número Más Probable por medio de la

prueba de Colilert® de IDEXX utilizando una botella de plástico esterilizada para medir 100 ml de la muestra, una incubadora a una temperatura de 35.5°C por 24 horas y para evaluar *E. coli* se utilizó además una lámpara de rayos UV (IDEXX Laboratories, 2015).

Posteriormente el resto de cada muestra se trasvasó a los recipientes correspondientes (Tabla 1) para su mejor manejo y almacenamiento.

Los análisis de nitritos (NO₂), nitratos (NO₃) y turbidez se realizaron por medio espectrofotometría con el equipo eXact® micro 7+ utilizando tiras de reactivo de la misma marca, especiales para cada parámetro: reactivo 486623 para nitritos y reactivo 486655 para nitratos. Para el análisis de turbidez no se requirió ningún tipo de reactivo (Industrial Test Systems, Inc., 2011).

La conductividad eléctrica se analizó a través de conductimetría (APHA, 1998), por medio de una sonda multiparamétrica marca HACH, modelo HQ40d.

La alcalinidad se analizó por medio del Método de Gran (Gran, 1952) utilizando un titulador digital marca HACH modelo 16900 con ampolletas de ácido sulfúrico (H₂SO₄) a 0.1600 ± 0.0008 N y un potenciómetro marca Fisher Scientific® Accumet® modelo Excel XL60. Los resultados obtenidos se procesaron en el programa Excel 2016 para obtener la alcalinidad de carbonatos de calcio (CaCO₃) en mg/l.

El análisis de color se realizó por medio de espectrofotometría con un espectrofotómetro marca Thermo Scientific® modelo Evolution 60, siguiendo el método establecido por Tomar (1999).

Los BTEX se analizaron por medio de cromatografía de gases, con una adaptación al método 502.2 de la EPA (ANEXO 5).

Los PAHs se analizaron por medio de cromatografía de gases, con una adaptación al método 610 de la EPA. (ANEXO 6).

La temperatura fue tomada en campo por los voluntarios a través de un termómetro de mercurio con escala de -20°C a 100°C marca Brannan. El pH también fue tomado por los voluntarios a través de tiras de pH marca CIVEQ®. Posteriormente fue tomado en laboratorio por medio de un potenciómetro marca Fisher Scientific® Accumet® modelo Excel XL60 (APHA, 1998).

6.2.3.1.6. Referencias de calidad

Los parámetros se compararon con una referencia internacional: Las Guías para la calidad del agua potable de la Organización Mundial de la Salud (2006) y tres referencias de calidad nacionales: NOM-127-SSA1-1994 Salud ambiental, agua para uso y consumo humano – Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización; NOM-201-SSA1-2015 Productos y servicios. Agua y hielo para consumo humano, envasados y a granel. Especificaciones sanitarias; y NOM-245-SSA1-2010 Requisitos sanitarios y calidad del agua que deben cumplir las albercas.

Para realizar la comparación de los resultados con las referencias se estimó un promedio de los resultados obtenidos por cada parámetro, y a partir de cada uno se llevó a cabo la comparación para saber cuáles parámetros se encontraban dentro y fuera de los límites de referencia.

6.2.3.1.7. Limitantes del muestreo de lluvia colectada

Existen varias limitantes con respecto al muestreo de lluvia colectada. La primera es la volubilidad en el pronóstico del tiempo, el cual a pesar de estar basado en estadísticas y modelos matemáticos, la predicción exacta de los eventos es muy difícil, especialmente para periodos prolongados de tiempo, lo cual dificulta establecer fechas de colecta de agua de lluvia, así mismo, el pronóstico del tiempo es muy variable en las páginas consultadas por internet, puede cambiar de un

momento a otro, por lo que se consideró un evento de lluvia cuando las páginas coincidieron en las fechas de precipitación con las características deseadas y los voluntarios se comunicaron para indicar las condiciones meteorológicas que ellos observaron como posibles eventos de precipitación fuertes y constantes. Otra limitante sobre los eventos de lluvia es que no siempre son eventos homogéneos en toda la localidad, es decir que no llueve con la misma intensidad o cantidad en toda la zona, inclusive hay partes donde no llueve, por lo que nunca se pudieron obtener muestras de todos los sitios y, en una ocasión, se colectaron muestras de menos de 500 ml, por lo que se tuvo que preparar una muestra compuesta, es decir, una mezcla de las muestras colectadas de varios sitios del mismo evento.

Una limitante operativa fue la disponibilidad de los voluntarios, aunque accedieron a cooperar con el proyecto y comentaron que tenían disponibilidad de tiempo para hacerlo, no siempre fue así. Debido a este motivo y aunado a la heterogeneidad espacial de la precipitación, no se logró obtener el número total de muestras esperadas por evento (12 muestras), sino que varió entre 1 a 5 muestras. Otro inconveniente fue que varios voluntarios a lo largo del estudio decidieron ya no participar, pues comentaron no poderse comprometer más con el proyecto, así que se requirió hacer cambio de voluntarios varias veces y por supuesto un cambio de estaciones de muestreo.

6.2.3.2. Muestreo de agua de lluvia almacenada

Dentro de las encuestas realizadas a los usuarios de agua de lluvia se obtuvo información sobre sus tiempos de almacenamiento, se registró como tiempo mínimo dos días y como tiempo máximo todo el año, estos tiempos son muy variables por lo que se decidió tomar el tiempo mínimo de almacenamiento para llevar a cabo la toma de muestras de los contenedores. Así, se pudo apreciar la modificación de la calidad del agua en el tiempo mínimo de almacenamiento.

Debido a que la pregunta sobre el tiempo de almacenamiento fue contestada en “días”, aunque no fueran las 48 horas exactas, se decidió llevar a cabo el

muestreo de lluvia almacenada de 36 a 48 horas posteriores al evento muestreado como lluvia directa. El muestreo de agua almacenada se llevó a cabo a partir del evento de precipitación del 04 de mayo de 2017, puesto que para ese momento ya se tenían cuatro eventos previos con los cuales se pudo obtener información base del agua de lluvia únicamente como precipitación atmosférica. A partir del evento de mayo de 2017 se hizo el muestreo tanto de agua colectada como de agua almacenada para comparar sus características fisicoquímicas y bacteriológicas.

Se contactó a varios usuarios de agua de lluvia que participaron como voluntarios en la colecta de agua (con los colectores especializados para este estudio) y además algunos que no participaron en la colecta, para solicitar su permiso de tomar muestras de sus contenedores de almacenamiento. Cuando sucedió cada evento de lluvia del que se tomó muestra de agua colectada, se les contactó y se les consultó si se les podía visitar en 36 a 48 horas posteriores al evento. En total, a lo largo del estudio, se obtuvo muestra de seis contenedores de almacenamiento de diferentes usuarios.

Las muestras de los contenedores de almacenamiento se les asignó una clave de muestra como se aprecia en la tabla 5.

Tabla 5. Formato de claves de muestra por sitio por evento (lluvia almacenada). (Elaboración propia).

EVENTOS DE MUESTREO	CLAVES DE MUESTRA POR SITIO POR EVENTO
06/05/17	<p style="text-align: center;">PMQ_X_AL</p> <p style="text-align: center;">(Iniciales de la localidad + inicial del estado + guion bajo + letra o letras del nombre del voluntario + AL)</p>
09/06/17	<p style="text-align: center;">PMQ_X_AL_02</p> <p style="text-align: center;">(Iniciales de la localidad + inicial del estado + guion bajo + letra o letras del nombre del voluntario + guion bajo + AL + número 02)</p>
20/06/17	<p style="text-align: center;">PMQ_X_AL_2.1</p> <p style="text-align: center;">(Iniciales de la localidad + inicial del estado + guion bajo + letra o letras del nombre del voluntario + guion bajo + AL + número 2.1)</p>
21/06/17	<p style="text-align: center;">PMQ_X_AL_03</p> <p style="text-align: center;">(Iniciales de la localidad + inicial del estado + guion bajo + letra o letras del nombre del voluntario + guion bajo + AL + número 03)</p>
22/06/17	<p style="text-align: center;">PMQ_X_AL_03</p> <p style="text-align: center;">(Iniciales de la localidad + inicial del estado + guion bajo + letra o letras del nombre del voluntario + guion bajo + AL + número 03)</p>

6.2.3.2.1. Recolección de las muestras

Se utilizaron los recipientes especificados en la tabla 6 para coleccionar las muestras de los contenedores de almacenamiento.

Tabla 6. Recipientes requeridos para la toma de muestra de los contenedores de almacenamiento. (Elaboración propia).

PARÁMETRO	RECIPIENTES POR SITIO
Temperatura	1 vaso de plástico
pH	1 botella de polietileno marca Nalgene ® de 60 ml
Alcalinidad	
Conductividad	
Color	1 botella de polietileno marca Nalgene ® de 60 ml
Turbidez	1 botella de polietileno marca Nalgene ® de 60 ml
Nitritos	
Nitratos	
PAH	2 viales EPA de 40 ml
BTEX	
Coliformes totales	1 recipiente de vidrio esterilizado de 250 ml
<i>E. coli</i>	

Previo a la salida de campo, se preparó el siguiente material:

- Recipientes especificados en la tabla 6. Dependiendo del número de voluntarios contactados para tomar muestras de sus contenedores en cada evento, se consideró el número de botellas por sitio.
- Hielera con hielo.
- Guantes estériles.
- 6 litros de agua Milli Q.
- Hojas de encuestas para los usuarios sobre datos del almacenamiento (ANEXO 7).
- Hojas de registro para la colecta de lluvia almacenada (ANEXO 8).
- Etiquetas.
- Engrapadora.

Cuando se acudió a tomar las muestras a los contenedores de almacenamiento se les hizo una encuesta a los usuarios para conocer más a detalle la forma de

almacenamiento del agua de lluvia (ANEXO 7), y se tomó la muestra de sus contenedores de la siguiente manera:

- Si el agua almacenada se encontraba en un tinaco, en una cisterna o en cualquier contenedor de almacenamiento que tuviera tubería de salida, se tomó la muestra del grifo más cercano al contenedor. Se utilizaron guantes estériles. Se dejó correr el agua del grifo durante 3 a 5 minutos para limpiar la tubería desde el contenedor de almacenamiento. La primera muestra tomada fue la de bacteriología, las cuales se tomaron sin enjuagar el recipiente. Los recipientes de los cuales se evaluó pH, conductividad eléctrica, alcalinidad color, turbidez, nitritos, nitratos, BTEX y PAH se enjuagaron tres veces con el agua del grifo y posteriormente se tomó la muestra (Modificado de la NOM-014-SSA1-1993). La temperatura se tomó en campo, en un recipiente, extrayendo 250 ml de agua del grifo y sumergiendo en ella un termómetro de mercurio con escala de -20°C a 100°C marca Brannan por 5 minutos y se tomó la lectura.
- Si el agua almacenada se encontraba en una cubeta, tambo o cualquier otro contenedor que no tuviera grifo de salida directo, se tomaron las muestras sumergiendo directamente el recipiente en el contenedor, para lo cual se hizo un lavado de manos y antebrazos previo, con jabón libre de fosfatos y se enjuagaron perfectamente con agua Milli Q. Se sumergieron los recipientes en el agua uno por uno, con el cuello hacia abajo a una profundidad de entre 15 y 30 cm, se abrieron y enderezaron con el cuello hacia arriba, y cuando estuvieron completamente llenos se colocó la tapa y se sacaron del contenedor. Primero se tomaron las muestras para bacteriología, posteriormente las de pH, conductividad eléctrica, alcalinidad, color, turbidez, nitritos, nitratos, BTEX y PAH (Modificado de la NOM-014-SSA1-1993). La temperatura se tomó en campo. Se extrajeron 250 ml de agua del contenedor sumergiendo en el contenedor de almacenamiento un recipiente (a la misma profundidad especificada anteriormente). Se sumergió en el agua extraída un termómetro de mercurio con escala de -20°C a 100°C marca Brannan por 5 minutos y se tomó la lectura.

Los frascos con las muestras se etiquetaron con la clave correspondiente y la fecha, se colocaron en bolsas con cierre hermético y se guardaron en la hielera a 4°C.

Después de la recolección de las muestras y el registro de los eventos se regresó al laboratorio para el procesamiento de las muestras, como se menciona en la metodología descrita anteriormente.

6.2.3.2.2. Limitantes del muestreo de lluvia almacenada

Las limitantes de este muestreo fueron la disponibilidad de tiempo de los usuarios, ya que no siempre pudieron facilitar el agua de sus contenedores debido a que se ausentaban de sus viviendas y por otro lado, en algunos casos, los usuarios no siempre colectaban el agua de lluvia para almacenarla, ya sea porque no se encontraban en sus casas al momento de la lluvia, o porque la lluvia en ocasiones se presentaba en las madrugadas e incluso porque aún tenían agua en sus contenedores de almacenamiento y no requerían colectarla.

6.3. Materiales y métodos para los aspectos sociales (características sociodemográficas, opiniones, percepciones, motivaciones y formas de manejo del agua de lluvia por parte de sus usuarios).

6.3.1. Obtención de información sobre usuarios de agua de lluvia

Para la obtención de información se diseñó una encuesta (Statistics Canada, 2003) (ANEXO 9) para el grupo focal de usuarios de agua de lluvia que incluyó preguntas sobre datos sociodemográficos del encuestado (edad, sexo, nivel de estudios, lugar de procedencia), percepción y opinión con respecto al agua de lluvia (por qué utiliza el agua de lluvia?, ¿cuál es su opinión sobre el agua de lluvia y su captación?, ¿qué es lo bueno de usar agua de lluvia?, ¿qué es lo malo de usar agua de lluvia?, ¿qué otros usos cree que se le puedan dar al agua de lluvia? y ¿qué cosas le preocupan por usar agua de lluvia?). Así mismo se preguntó sobre las formas de captación de agua de lluvia, las formas de abastecimiento de

agua principales, el manejo de las aguas residuales y las enfermedades asociadas al consumo de agua de lluvia.

Para estimar el tamaño mínimo de muestra de domicilios por abordar se tomó la fórmula (Suárez y Tapia, 2012):

$$n = \frac{N\sigma^2Z^2}{(N - 1)e^2 + \sigma^2Z^2}$$

Dónde:

n = tamaño de muestra

N = tamaño de la población

σ = desviación estándar de la población que, generalmente cuando no se tiene su valor, suele utilizarse un valor constante de 0.5.

Z = valor obtenido mediante niveles de confianza.

e = Límite aceptable de error muestral que, generalmente cuando no se tiene su valor, suele utilizarse un valor que varía entre el 1% (0.01) y 9% (0.09), valor que queda a criterio del encuestador.

De esta forma:

$N = 4749$ viviendas

$\sigma = 0.5$

$Z = 1.96$ (para 95% de confianza)

$e = 0.06$

$$n = \frac{4749 \times (0.5)^2 \times (1.96)^2}{(4749 - 1)(0.06)^2 + (0.5)^2 \times (1.96)^2}$$

$$n = \frac{4560.94}{18.05}$$

$$n = 252.68$$

Obteniendo un tamaño mínimo de muestra de 252.68 viviendas a abordar, el cual se redondeó a 253 viviendas.

Se implementaron tres técnicas para identificar usuarios de agua de lluvia, la primera fue por el método bola de nieve, el cual consiste en preguntar a

colaboradores clave sobre otros usuarios de agua de lluvia y localizarlos, posteriormente pedir a estos usuarios que mencionen a otros usuarios y así sucesivamente hasta encontrar la mayor cantidad de ellos por medio de este método (Russell, 2006). La segunda técnica fue a través de datos geográficos y de cartografía del último censo poblacional de INEGI en 2010 (a), donde se identificaron zonas potenciales de colecta de agua de lluvia, en este caso se tomó en cuenta el criterio de Áreas Geostadísticas Básicas (AGEB) donde se registrara la carencia de agua potable en las viviendas; y la tercera técnica fue por medio de observación etnográfica, la cual consiste en hacer recorridos dentro de la localidad y observar la cultura y formas de vida de sus habitantes (Russell, 2006), poniendo atención en las diferencias y semejanzas entre diferentes zonas y observando en este caso la presencia o ausencia de servicios (agua y luz, principalmente), platicando de manera informal con algunas personas para conocer sobre la situación del agua en la localidad, etc. A partir de la recopilación de información de estas tres técnicas, se seleccionaron colonias o fraccionamientos con distintas características etnográficas, abarcando la mayor cantidad de regiones de la localidad con características diferentes: colonias periféricas, fraccionamientos, colonias centrales, zonas turísticas de costa, etc., para así conocer las diferencias entre personas de diferentes regiones de la localidad.

Los colaboradores clave se encontraron en el fraccionamiento Villas Morelos II y en la colonia Luis Donaldo Colosio (mejor conocida como Zona Urbana). De los datos sociodemográficos de INEGI del censo poblacional de 2010 (a) se generó el mapa de las AGEB con viviendas sin agua potable (Figura 6). A partir de este mapa se estableció la Colonia Zona Urbana como el primer sitio de muestreo de usuarios de agua de lluvia.

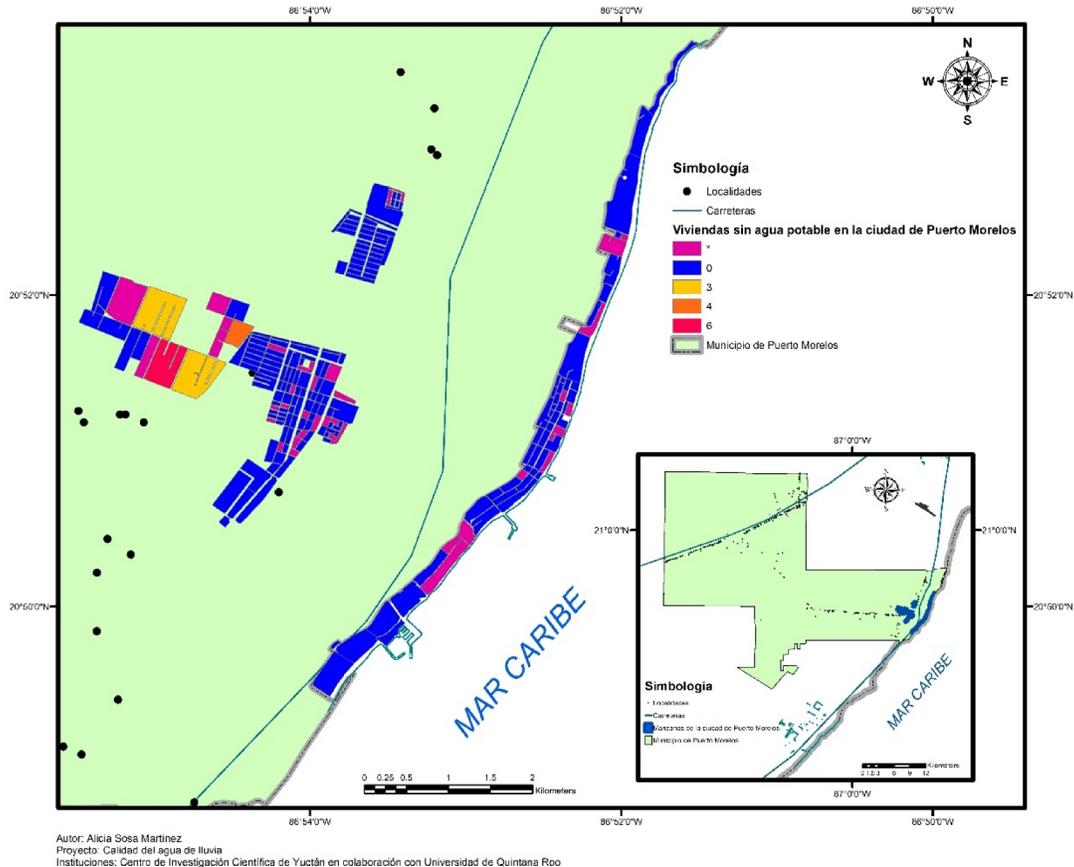


Figura 6. AGEB con carencia de agua potable. (Modificado de INEGI, 2010a).

Por otro lado, de acuerdo con las observaciones etnográficas al interior de la localidad, la cual se encuentra dividida por la carretera federal 307 Cancún-Tulum. Del lado oeste de la carretera se eligió el fraccionamiento Villas La Playa, con características sociales de clase media y con servicio de agua potable. Se eligió la colonia La Fe, la cual es un sitio de invasión que carece del servicio de agua potable y posee características marcadas de pobreza. La colonia Nuevo Amanecer es de reciente creación, sus características sociales son en apariencia de clase media a baja y no posee servicio de agua potable, estos últimos dos sitios no se encuentran registrados en los datos cartográficos de INEGI del año 2010 (a), por lo que no aparecen en el mapa de la figura 6. Se eligió también la colonia Zetina Gasca, que se encuentra en la zona central de la localidad y en donde sí existe el servicio de agua potable, es una colonia con sitios de comercio, parques, centros de salud, etc., sus características sociales son heterogéneas

desde clases bajas a medias. Del lado este de la carretera se eligió la colonia Pescadores, con características sociales principalmente de clase baja y en algunos casos de clase media, cuenta con servicio de agua potable. Finalmente se eligió la Zona de Costa, en donde se encuentra la actividad turística de la localidad y sus características sociales son de clases medias a altas, en esta zona existe red de agua potable (Figura 7).

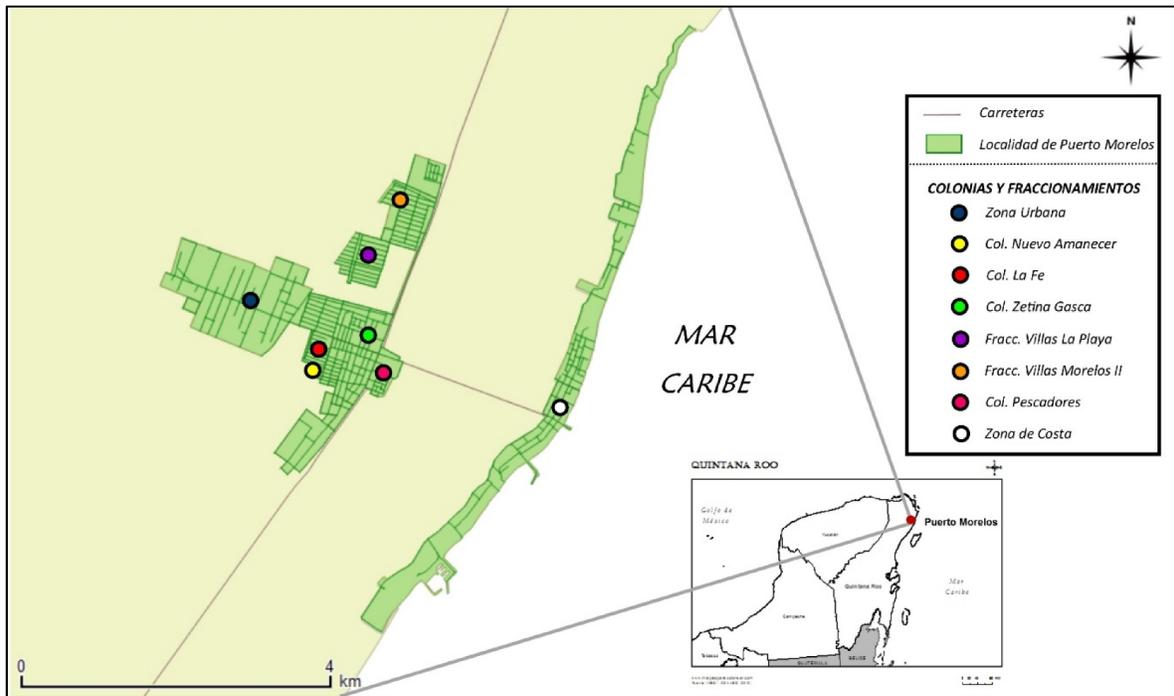


Figura 7. Colonias y fraccionamientos seleccionados para la realización de las encuestas. (Modificado de INEGI, 2010a).

Las encuestas se realizaron de julio a diciembre de 2016. De la Zona Urbana, se recorrieron todas las calles de la colonia, casa por casa y en todas aquellas en las que respondía alguna persona se preguntó si captaban agua de lluvia, si este era el caso se aplicaba la encuesta anteriormente mencionada. La Zona Urbana fue la primera y la única colonia en la que se recorrieron todas las calles debido a que fue donde se encontraba establecido en el mapa las AGEB sin agua potable, además de que se tenía conocimiento previo de que en algunas viviendas de esta zona captaban agua de lluvia.

En el resto de las colonias seleccionadas se hicieron recorridos por algunas de sus calles, elegidas a juicio de los encuestadores, es decir, eligiendo calles en donde se considerara la posibilidad de la existencia de usuarios de agua de lluvia, puesto que existen cuadras sin viviendas, con lotes baldíos, viviendas en construcción, parques y otros sitios sin posibilidad de existencia de usuarios. En las calles elegidas se preguntó vivienda por vivienda si utilizaban el agua de lluvia, en caso de que la respuesta fuera afirmativa se realizaba la encuesta. Las encuestas fueron aplicadas a un representante de cada vivienda donde colectara agua de lluvia, mayor de 18 años y residente permanente. Las viviendas en donde se llevaba a cabo la colecta de agua se georreferenciaron con un GPS marca GARMIN® modelo eTrex 10.

6.3.2. Análisis de resultados

Los resultados de las encuestas se compilaron en una base de datos y se realizaron análisis estadísticos básicos para generar gráficas que mostraran las características descriptivas del grupo objetivo.

Así mismo, se llevó a cabo la categorización de las distintas opiniones y percepciones a través de la codificación de los datos, la cual se realizó de la siguiente manera: se transcribieron las respuestas a las preguntas abiertas de cada persona encuestada en una libreta, se localizaron los diferentes ideas o temas tocados y se les asignó un número a cada uno. Cuando un tema era tocado por dos o más personas se colocaba a un lado de la respuesta el mismo número asignado al tema. Estos temas ya codificados se agruparon en categorías y subcategorías, las cuales se recopilaron y agruparon por número de comentarios en una base de datos, obteniendo así, una gráfica de “Proyección solar”, en donde al centro se encuentran las categorías principales y hacia los extremos las subcategorías encontradas, ambas con el número de comentarios obtenidos en cada una (Fernández, 2006).

Se puso especial énfasis en los usos actuales del agua de lluvia, para lo cual se estimaron dos índices, los cuales fueron tomados y adaptados de Phillips (1996). El primer índice es el valor de uso, el cual muestra quiénes le dan mayores usos al agua de lluvia.

$$\text{Valor de uso} = \frac{\text{No. de usos por persona}}{\text{No. Total de usos}}$$

Se contrastó el valor de uso con las siguientes variables: sexo, edad, colonia, nivel educativo, lugar de procedencia y formas de captación, para comprobar si existía alguna correlación entre el valor de uso con las variables mencionadas.

El segundo índice es el nivel de fidelidad, el cual muestra cuál es el mayor uso del agua de lluvia.

$$\text{Nivel de fidelidad} = \frac{\text{No. de personas que mencionó un mismo uso}}{\text{Total de personas que mencionó cualquier uso}}$$

7. RESULTADOS

7.1. Aspectos fisicoquímicos y bacteriológicos

7.1.1. Precipitación y dirección del viento

Los datos meteorológicos de referencia se tomaron de la estación meteorológica del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM, ubicada en la localidad de Puerto Morelos, los cuales se detallan a continuación:

La precipitación anual acumulada para el año 2016 fue de 8,032.800 mm, teniendo una precipitación media anual de 669.400 mm, menor a la reportada para Puerto Morelos por Elizondo *et al.* (2011) de 1,098.000 mm. La precipitación acumulada de enero a junio de 2017 fue de 2,444.700 mm, con una precipitación media hasta ese mes de 407.450 mm, relativamente baja debido a que incluye la estación de secas. En la figura 8 se observa la precipitación mensual en mm del periodo de muestreo, de octubre de 2016 a junio de 2017.

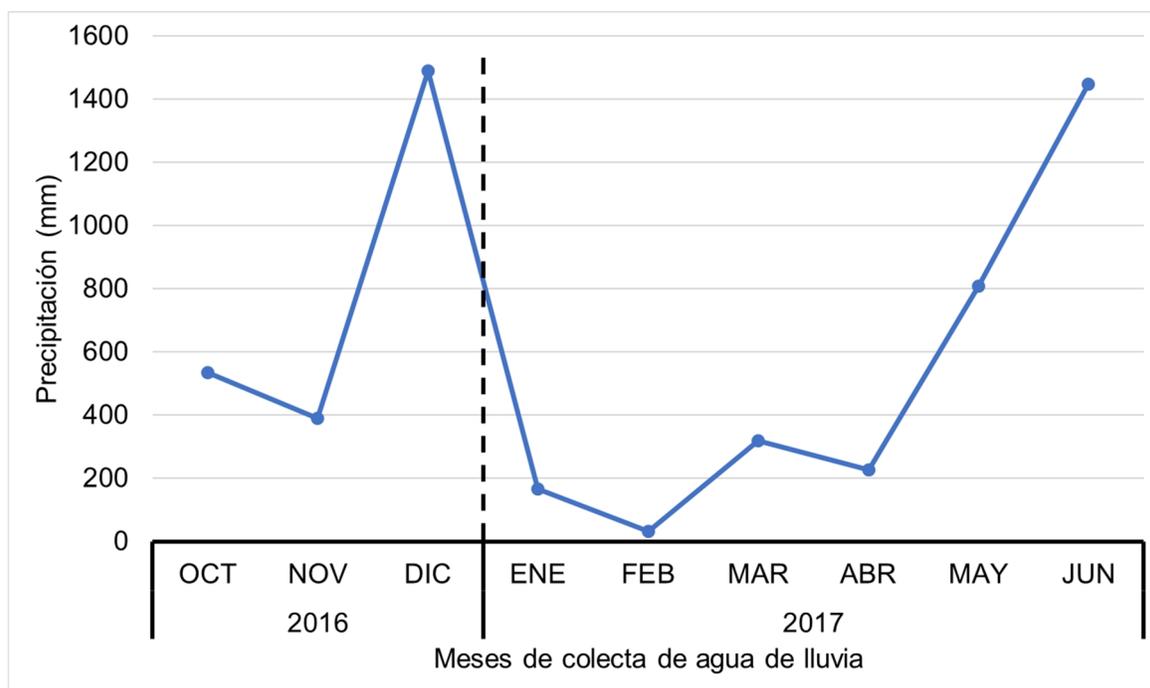


Figura 8. Precipitación mensual en el periodo de muestreo, de octubre de 2016 a junio de 2017. (Elaboración propia).

La precipitación y la dirección del viento para cada evento de lluvia del que se tomaron muestras se observa en la figura 9. El evento con menor cantidad de precipitación registrada se presentó en el mes de abril de 2017 con 24.600 mm, mientras que el evento con la mayor cantidad de precipitación registrada se presentó en el mes de diciembre de 2016 con 1131.900 mm. En cuanto a los vientos, se puede observar que en los meses de octubre y diciembre su predominancia fue del este-noreste y norte-noreste (ENE y NNE), mientras que para los meses de abril, mayo y junio los vientos provenían principalmente del este-sureste, sur-sureste (ESE y SSE), suroeste (SSO) y tan solo en un evento provenían del noreste (ENE).

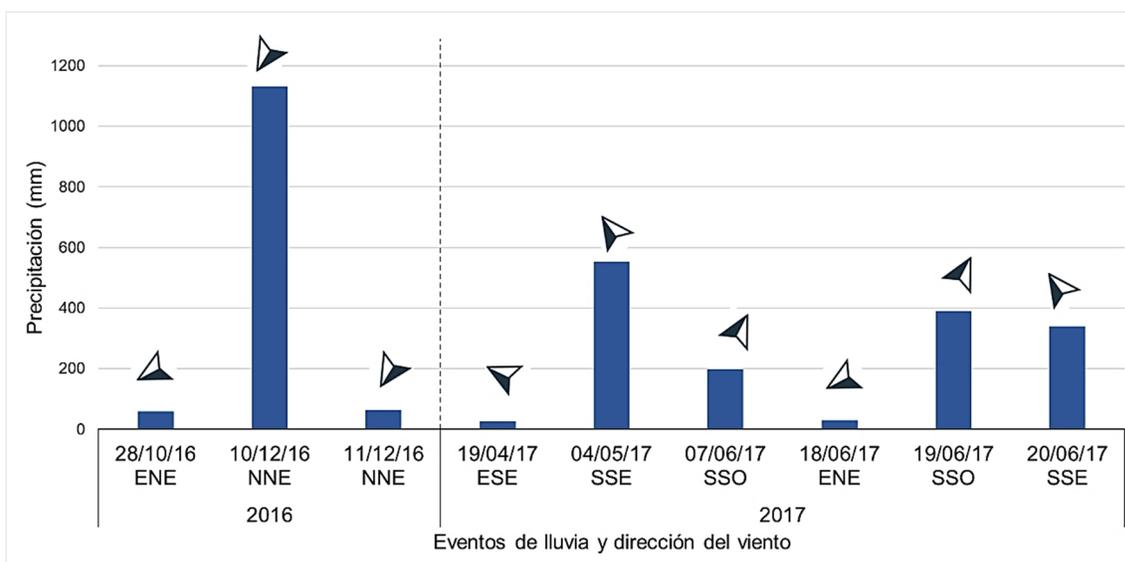


Figura 9. Precipitación y dirección del viento de los eventos de lluvia en los que se colectó agua. (Elaboración propia).

Estos datos aportados por el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM se utilizaron solamente como una referencia de las condiciones meteorológicas registrada en la misma localidad.

7.1.2. Colecta de agua de lluvia

La colecta de agua de lluvia se realizó en dos etapas: en la primera etapa únicamente se obtuvo agua de lluvia colectada de cuatro eventos, esto con el fin

de conocer el comportamiento del colector así como afinar la estrategia (tiempos con los voluntarios) y evaluar los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos del agua de lluvia, sin pasar por ninguna superficie más que las de los colectores diseñados para este fin; la segunda etapa se llevó a cabo obteniendo agua de lluvia colectada y agua de lluvia de los sistemas de almacenamiento de voluntarios que colectan agua para su uso propio, con el objetivo de poder comparar el agua de lluvia proveniente directamente de la atmósfera con el agua que ya estuvo en contacto con las superficies de los sistemas de almacenamiento.

Es importante señalar que las muestras tomadas en cada sitio se consideraron como parte de un solo evento de precipitación, sin importar la ubicación de la toma de muestras, ya que el objetivo no fue realizar un comparativo espacial de las condiciones de colecta o de almacenamiento.

En la tabla 7 se observan las fechas de toma de muestra, el tipo de muestra ya sea lluvia colectada o lluvia almacenada, las claves de las muestras tomadas y sus coordenadas. Las ubicaciones de cada muestra se observan en las figuras 32 a 45 del ANEXO 10.

Todas las muestras tomadas cumplieron con el volumen requerido (500 ml) para analizarse por separado, a excepción del primer evento (28 de octubre de 2016), donde cuatro de las muestras (PM05, PM10, PM11 Y PM12) no cumplieron con este volumen, por lo que se decidió tomar de cada una 180 ml para realizar las pruebas bacteriológicas y de compuestos orgánicos, y con los volúmenes restantes de cada una se hizo una muestra compuesta, es por ello que en algunos resultados se mencionan 15 muestras (para los que se utilizó la muestra compuesta) y para los parámetros bacteriológicos y orgánicos se mencionan 18 muestras.

Tabla 7. Fecha de toma de muestra, tipos de lluvia muestreada, clave de las muestras y coordenadas de los sitios de muestreo. (Elaboración propia).

FECHA DE EVENTO DE LLUVIA	TIPO DE LLUVIA MUESTREADA	CLAVE DE LA MUESTRA	COORDENADAS DEL SITIO DE MUESTREO (UTM)	
			ESTE	NORTE
28/10/16	Lluvia colectada	PM01	512806	2305253
	Lluvia colectada	PM05	509840	2306119
	Lluvia colectada	PM10	510618	2307357
	Lluvia colectada	PM11	511111	2307836
	Lluvia colectada	PM12	510836	2308284
10/12/16	Lluvia colectada	PMQ01	509749	2306151
	Lluvia colectada	PMQ02	509751	2306273
	Lluvia colectada	PMQ08	510836	2308284
11/12/16	Lluvia colectada	PMQ06	510025	2306807
19/04/17	Lluvia colectada	PMQ04_02	508314	2306822
	Lluvia colectada	PMQ06_02	510025	2306807
04/05/17	Lluvia colectada	PMQ_Y	509749	2306151
	Lluvia colectada	PMQ_MC	510639	2307658
06/05/17	Lluvia almacenada	PMQ_P_AL	509858	2306065
	Lluvia almacenada	PMQ_DM_AL	508581	2306507
07/06/17	Lluvia colectada	PMQ_Y_02	509749	2306151
09/06/17	Lluvia almacenada	PMQ_CL_AL_02	509898	2306056
	Lluvia almacenada	PMQ_DM_AL_02	508581	2306507
	Lluvia almacenada	PMQ_CA_AL_02	0510836	2308284
18/06/17	Lluvia colectada	PMQ_RL_03	510025	2306807
19/06/17	Lluvia colectada	PMQ_Y_03	509749	2306151
	Lluvia colectada	PMQ_CL_03	509898	2306056
20/06/17	Lluvia colectada	PMQ_DM_03	508581	2306507
	Lluvia almacenada	PMQ_RL_AL_2.1	510025	2306807
21/06/17	Lluvia almacenada	PMQ_OC_AL_03	508314	2306822
22/06/17	Lluvia almacenada	PMQ_DM_AL_03	508581	2306507

7.1.3. Resultados de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos

A continuación, se muestran los resultados de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos obtenidos del 28 de octubre de 2016 al 22 de junio de 2017. En algunas de las gráficas se separan las dos etapas de muestreo. En éstas, las gráficas nombradas con “a” son las de los cuatro primeros eventos de lluvia colectada, que corresponde al ajuste de metodología con los voluntarios, y las gráficas “b” son las de los eventos posteriores en donde se obtuvo agua de lluvia colectada y agua de lluvia almacenada.

7.1.3.1. Parámetros físicos

7.1.3.1.1. Temperatura

El valor mínimo de temperatura de la lluvia colectada fue de 22.500°C, el máximo de 27.000°C y el promedio fue de 24.667°C. Mientras que los valores para la lluvia almacenada fueron más altos, siendo el valor mínimo de 24.100°C y el máximo de 29.000°C., con un promedio de 27.057°C.

7.1.3.1.2. Color

Los valores de color obtenidos en el agua de lluvia colectada se encontraron en un rango de <10.000 UCV, hasta 20.500 UCV (Figura 10 a y b). Sin embargo, los valores de color del agua de lluvia almacenada tuvieron un rango más amplio, con un valor mínimo de <10.000 UCV a un valor máximo de 189.000 UCV (Figura 10 b).

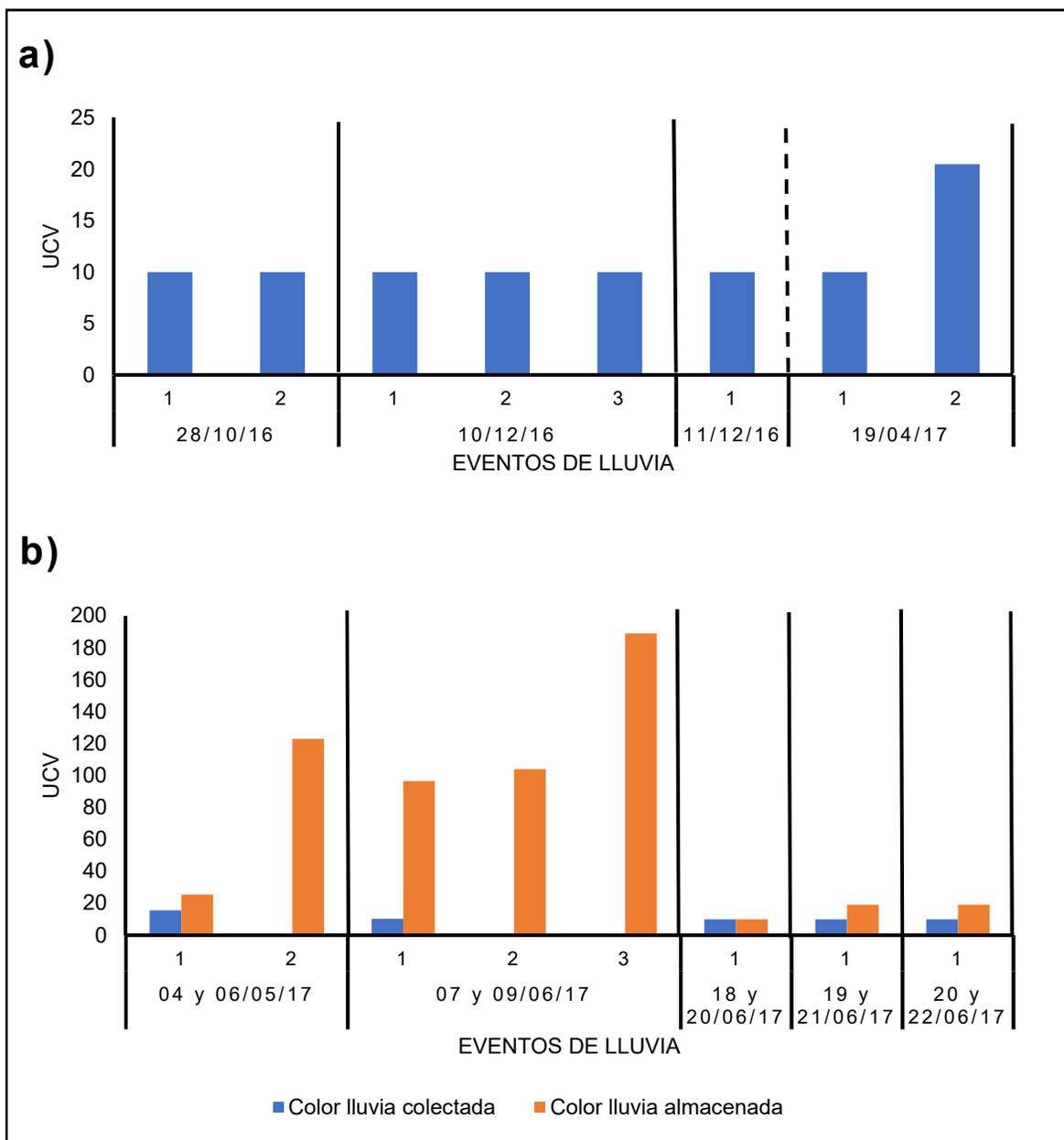


Figura 10. a) Color de lluvia colectada dividido por evento. b) Color de lluvia colectada y almacenada dividido por evento. (Elaboración propia).

7.1.3.1.3. Turbidez

Los valores de turbidez mostraron un valor mínimo de <2.000 UNT y un máximo de 4.000 UNT para el agua de lluvia colectada y, por otro lado, el rango entre valores del agua de lluvia almacenada fue mayor, teniendo un valor mínimo de <2.000 UNT a un máximo de 16.000 UNT.

Los parámetros de color y turbidez no tienen alta representatividad en los análisis de calidad de agua, pues al ser parámetros físicos no se puede obtener conocimiento sobre su composición química, sin embargo, permiten a los usuarios percibir, por medio de los sentidos, la calidad del agua de lluvia de manera indirecta.

7.1.3.2. Parámetros químicos

7.1.3.2.1. Inorgánicos

7.1.3.2.1.1. Potencial de hidrógeno (pH)

En el presente estudio, los valores de pH del agua de lluvia colectada tuvieron un valor mínimo de 4.420, un máximo de 6.580 y un promedio de 5.806 (Figura 11 a y b).

En cuanto a los valores de pH de agua de lluvia almacenada, presentaron un rango menor que los valores de agua de lluvia colectada, se obtuvo como valor mínimo 6.040, como máximo 6.970 y como promedio 6.573, siendo estos tres valores ligeramente mayores a los correspondientes obtenidos en el agua de lluvia colectada (Figura 11 b).

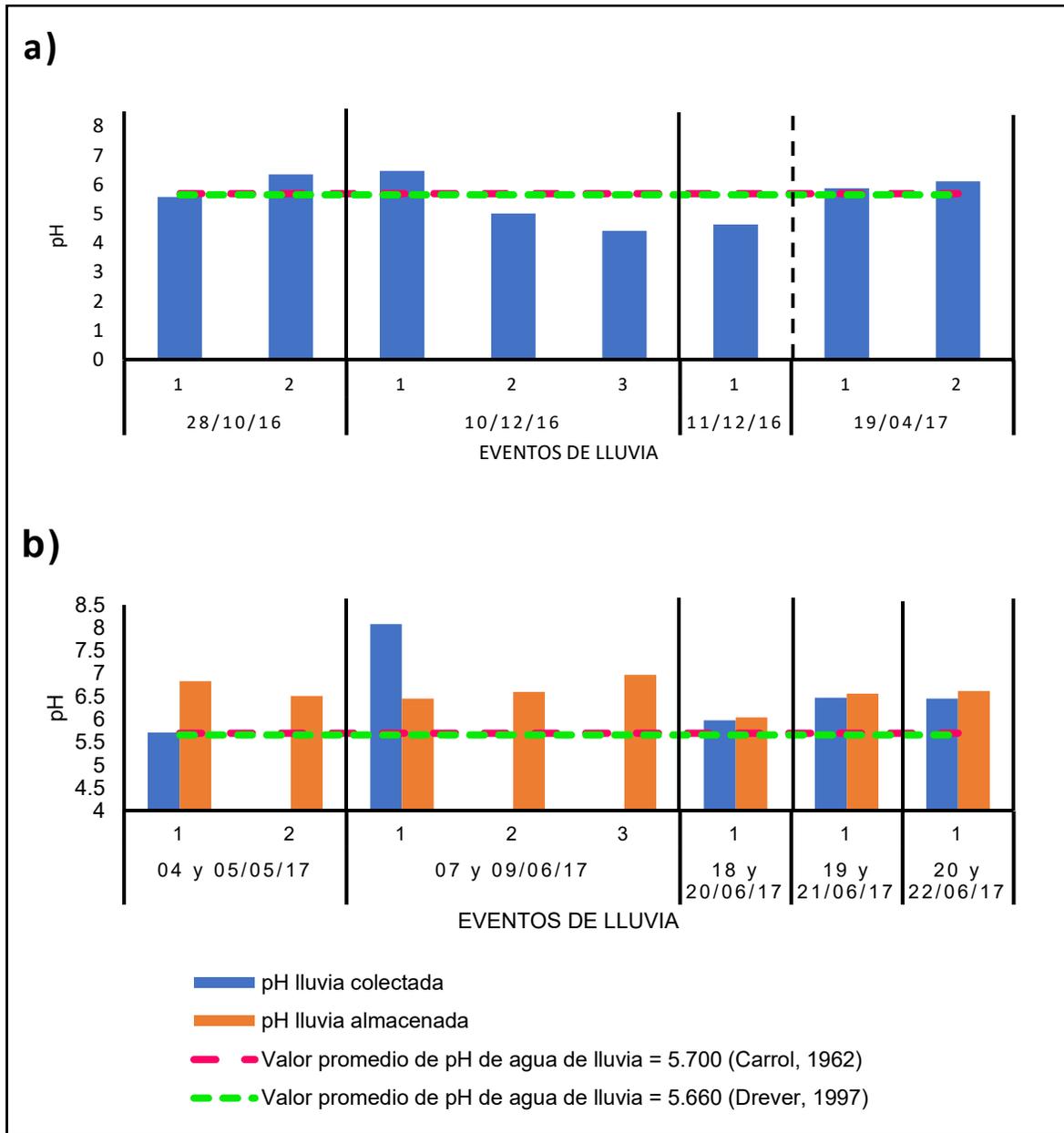


Figura 11. a) pH de lluvia colectada dividido por evento. b) pH de lluvia colectada y almacenada dividido por evento. (Elaboración propia).

7.1.3.2.1.2. Conductividad eléctrica

Los resultados para conductividad eléctrica en este estudio indicaron que el agua de lluvia colectada tuvo un valor mínimo de 5.430 $\mu\text{s/cm}$, un máximo de 49.600 $\mu\text{s/cm}$, y un promedio de 16.637 $\mu\text{s/cm}$ (Figura 12 a y b).

Por otro lado, los valores de conductividad eléctrica de agua de lluvia almacenada fueron más altos con respecto al agua colectada, teniendo un valor mínimo de 10.610 $\mu\text{s/cm}$, un máximo de 1162.000 $\mu\text{s/cm}$ y un promedio de 321.814 $\mu\text{s/cm}$ (Figura 12 b).

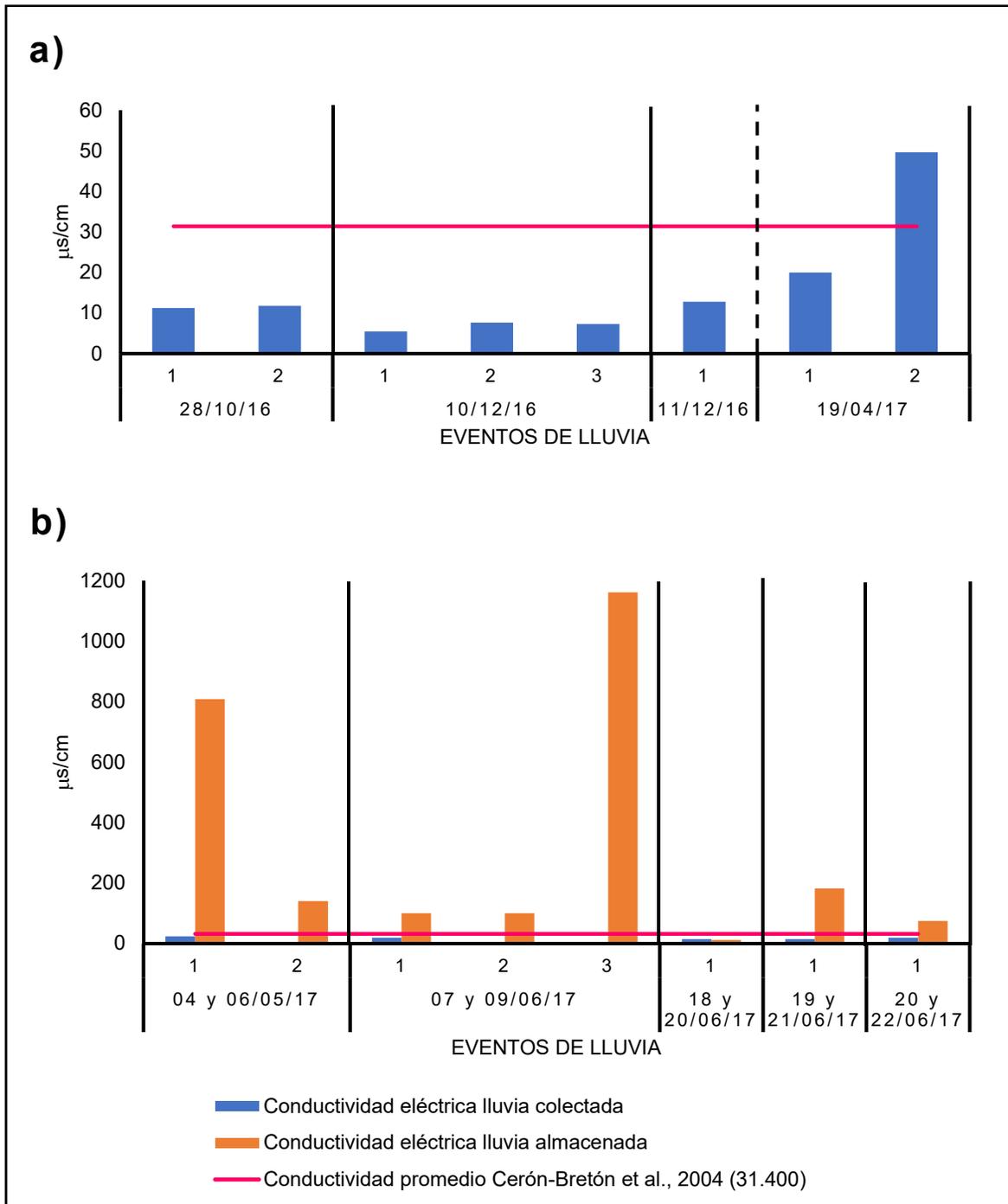


Figura 12. a) Conductividad eléctrica de lluvia colectada dividido por evento. b) Conductividad eléctrica de lluvia colectada y almacenada dividido por evento. (Elaboración propia).

7.1.3.2.1.3. Alcalinidad

La alcalinidad del agua colectada se midió en los tres primeros eventos, para constatar que su procedencia efectivamente fuera de precipitación atmosférica y no de otro tipo de suministro (ya que como se menciona en la metodología los colectores se encontraban con voluntarios), como agua de la red pública o agua de pozo, las cuales presentan alcalinidades más altas [240.385 - 458.738 mg/l CaCO₃ (Díaz, 2014)] debido al contacto que tienen con rocas carbonatadas.

Para el agua de lluvia colectada se obtuvo un valor mínimo de 0.070 mg/l de CaCO₃, un valor máximo de 7.040 mg/l de CaCO₃ y un valor promedio de 1.796 mg/l de CaCO₃ (Figura 13 a y b). Mientras que, para el agua de lluvia almacenada, los valores fueron más altos. El mínimo fue de 1.240 mg/l de CaCO₃, el máximo de 202.670 mg/l de CaCO₃ y el promedio de 60.291 mg/l de CaCO₃ (Figura 17 b). Aunque en las gráficas aparentemente exista un valor alto de alcalinidad en el agua colectada del evento del 28 de octubre (7.040 mg/l de CaCO₃), aun así, es bajo en comparación con los valores obtenidos para alcalinidad en los muestreos de lluvia almacenada (de hasta 202.670 mg/l de CaCO₃).

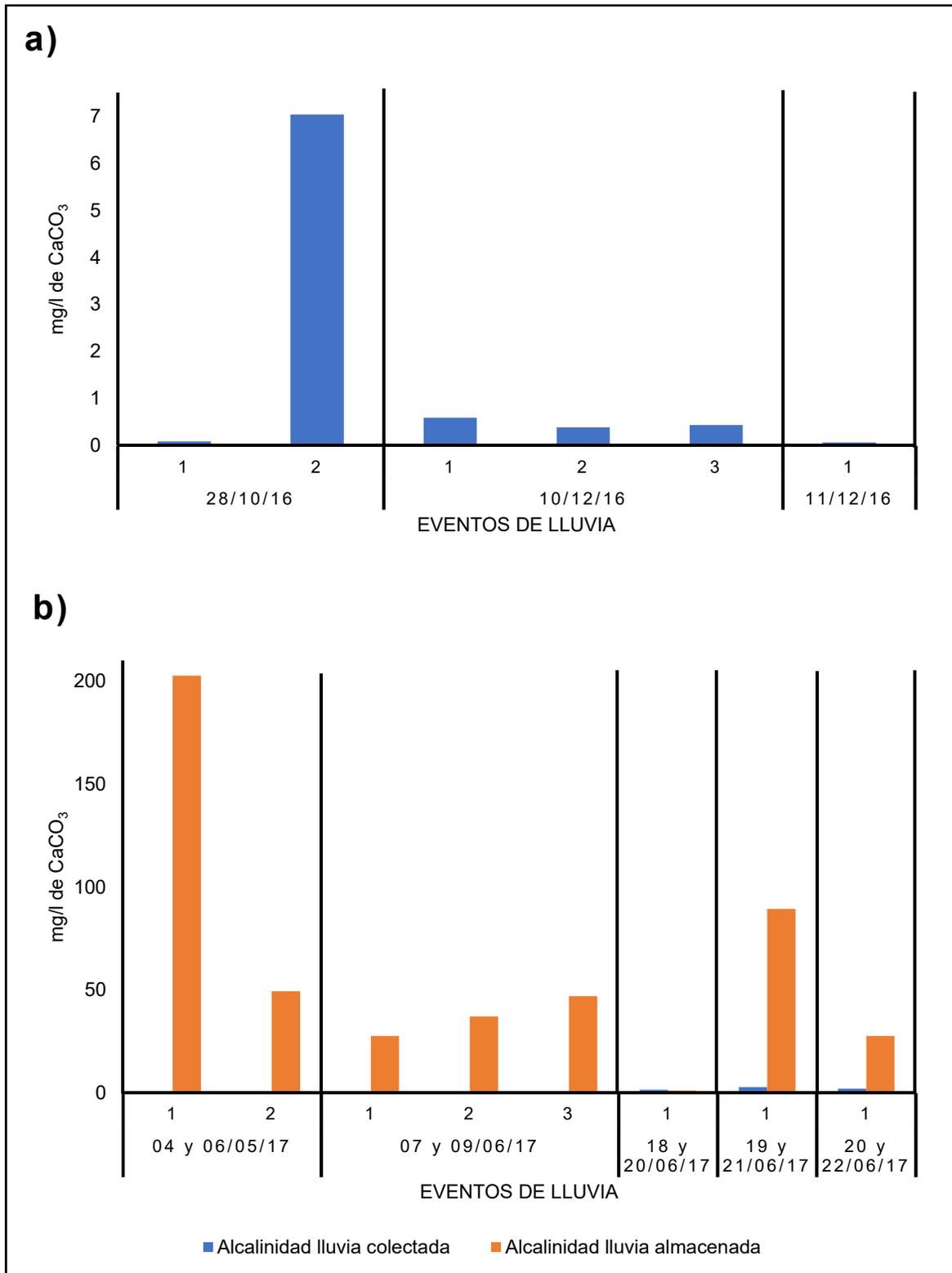


Figura 13. a) Alcalinidad de lluvia colectada dividido por evento. b) Alcalinidad de lluvia colectada y almacenada dividido por evento. (Elaboración propia).

7.1.3.2.1.4. Nitritos y Nitratos

Nitritos

Los nitritos solo se detectaron en dos de los 9 eventos en los que se obtuvo muestra de agua de lluvia colectada, ambos con valores de 0.010 mg/l

Por otro lado, los nitritos se detectaron en dos eventos de lluvia de los cinco analizados para agua de lluvia almacenada, siendo cuatro muestras de tres contenedores de almacenamiento diferentes los que presentaron nitritos. Dos de ellos con 0.010 mg/l, uno con 0.030 mg/l y el restante con 2.040 mg/l.

Nitratos

Los nitratos se detectaron en cuatro de los 9 eventos en los que se obtuvieron muestras de agua de lluvia colectada, es decir, en cinco de las 15 muestras tomadas. Sus valores oscilaron en un rango de 0.100 mg/l a 1.600 mg/l, teniendo un valor promedio de 0.227 mg/l. Así mismo, los nitratos se detectaron en dos eventos de lluvia, de los cinco analizados para agua de lluvia almacenada, siendo tan solo dos muestras de dos contenedores de almacenamiento diferentes los que presentaron nitratos. Uno con un valor de 8.000 mg/l y el otro con 45.000 mg/l.

7.1.3.2.2. Orgánicos

Los resultados de los compuestos orgánicos se reportan únicamente como presencia o ausencia, ya que en varias muestras no se pudieron cuantificar, sólo detectar. Los límites de detección fueron para BTEX >0.400 mg/l y para PAH de >0.020 mg/l.

7.1.3.2.2.1. Benceno, Tolueno, Etilbenceno y Xilenos (BTEX)

Dentro del grupo BTEX se detectó la presencia únicamente de benceno y etilbenceno para ambos tipos de muestra (lluvia colectada y lluvia almacenada). Se detectaron en cuatro de los 9 eventos de lluvia muestreados para agua colectada, con un total de siete positivos de 18 muestras obtenidas, mientras que

para agua de lluvia almacenada se detectaron en cuatro de los cinco eventos, con un total de cuatro muestras de contenedores de almacenamiento (Tabla 8).

Tabla 8. Eventos de lluvia colectada y lluvia almacenada en los que se detectaron BTEX. (Elaboración propia).

FECHA	AGUA DE LLUVIA COLECTADA					AGUA DE LLUVIA ALMACENADA			
	B	T	E	X		FECHA	B	T	E
28/10/16	X								
	X								
	X								
	X								
10/12/16									
11/12/17									
19/04/17									
04/05/17	X				06/05/17				
	X								
07/06/17			X		09/06/17				
						X			
18/06/17					20/06/17			X	
19/06/17					21/06/17			X	
20/06/17	X				22/06/17			X	

7.1.3.2.2.2. Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAH)

Se detectó la presencia de PAH en seis de los nueve eventos de lluvia colectada, de los cuales se presentaron en 10 de las 18 muestras obtenidas. Mientras que, para el agua de lluvia almacenada, los PAH se detectaron en tan solo dos de los eventos y en dos de las ocho muestras (Tabla 9).

Tabla 9. Eventos de lluvia colectada y lluvia almacenada en los que se detectaron PAH.
(Elaboración propia).

AGUA DE LLUVIA COLECTADA			
FECHA	PAH		AGUA DE LLUVIA ALMACENADA
28/10/16	Acenafteno (Ace), antraceno (Ant), fluoranteno (Fla), pireno (Pyr), benzo(a)antraceno (BaA), criseno (CHR), benzo(a)pireno (BaP)		
	Pireno (Pyr)		
	Benzo(a)antraceno (BaA), criseno (CHR), benzo(b)fluoranteno (BbFA)		
	ND		
	ND		
10/12/16	Benzo(a)pireno (BaP), benzo(b)fluoranteno (BbFA)		
	benzo(b)fluoranteno (BbFA)		
	ND		
11/12/17	ND		
19/04/17	ND		
	Benzo(g, h, i)perileno (BgHi)		
		FECHA	PAH
04/05/17	Naftaleno (Nap))	06/05/17	Naftaleno (Nap)
	Naftaleno (Nap)		ND
07/06/17	Naftaleno (Nap)	09/06/17	ND
			Naftaleno (Nap)
			ND
18/06/17	ND	20/06/17	ND
19/06/17	Antraceno (Ace)	21/06/17	ND
	ND		
20/06/17	ND	22/06/17	ND

Los BTEX se presentaron en 50% de las muestras de agua almacenada, y en el 44% de las muestras de colecta, es decir, en proporciones similares en ambos tipos de muestra. Mientras que los PAH se hicieron evidentes en 56% de las muestras de colecta y en 25% de las muestras de almacenamiento, observándose un decremento al momento de ser almacenadas.

7.1.3.3. Parámetros bacteriológicos

7.1.3.3.1. Densidades de Coliformes totales

Los coliformes totales fueron detectados en todas las muestras, tanto de lluvia colectada, como de lluvia almacenada. Para la lluvia colectada el valor mínimo fue de 1.000 NMP/100ml, el valor máximo de 1203.300 NMP/100ml y valor promedio de 415.317 NMP/100ml. Se detectó un valor irregular de 2419.600 NMP/100 ml, que salía por completo del rango del resto de los valores (PMQ02), esta diferencia pudo haberse dado por el manejo inadecuado de la muestra por parte del voluntario (Tabla 10).

Por otro lado, los valores para coliformes totales en el agua de lluvia almacenada tuvieron un valor mínimo de 290.600 NMP/100ml, un valor máximo de 2419.600 NMP/100ml y un valor promedio de 1905.425 NMP/100ml. Teniendo el agua almacenada un valor promedio más alto que el del agua colectada (Tabla 10).

Tabla 10. Coliformes totales detectados en agua de lluvia colectada y almacenada. (Elaboración propia).

AGUA DE LLUVIA COLECTADA			
FECHA	COLIFORMES TOTALES (NMP/100 ML)		
28/10/16	456.900		
	501.200		
	63.800		
	105.00		
	960.600		
10/12/16	120.100		
	2419.600		
	6.300		
11/12/17	131.700		
19/04/17	1.000		
	49.500		
AGUA DE LLUVIA ALMACENADA			
	FECHA	COLIFORMES TOTALES (NMP/100 ML)	
04/05/17	06/05/17	816.400	
		1203.300	
07/06/17	09/06/17	2419.600	
		2419.600	
		2419.600	
18/06/17	20/06/17	435.200	
19/06/17	21/06/17	980.400	
		547.500	
20/06/17	22/06/17	547.500	
		2419.600	

7.1.3.3.2. Densidades de Escherichia coli

E. coli no se detectó en ninguna de las muestras, lo cual comprueba la no contaminación por parte de desechos fecales.

De manera general, se puede apreciar una tendencia similar en la mayoría de los parámetros (color, turbidez, conductividad eléctrica, alcalinidad y coliformes

totales) con respecto al tipo de muestra. En la figura 14 (A-H) se observa la variabilidad de la mayoría de los parámetros, entre la lluvia colectada y la lluvia almacenada.

En cuanto al pH, se aprecia que los valores del agua de lluvia colectada tienen una mayor variabilidad (4.42-6.58) y tienden a la acidez, mientras que el agua de lluvia almacenada posee menor variabilidad (6.04-6.97) y con tendencia al valor de 7.0. Por otro lado, los nitritos se mantienen de manera general dentro de los mismos rangos que el agua de lluvia colectada, mientras que en los nitratos se aprecia un rango ligeramente mayor en el almacenamiento [Figura 14 (A-H)].

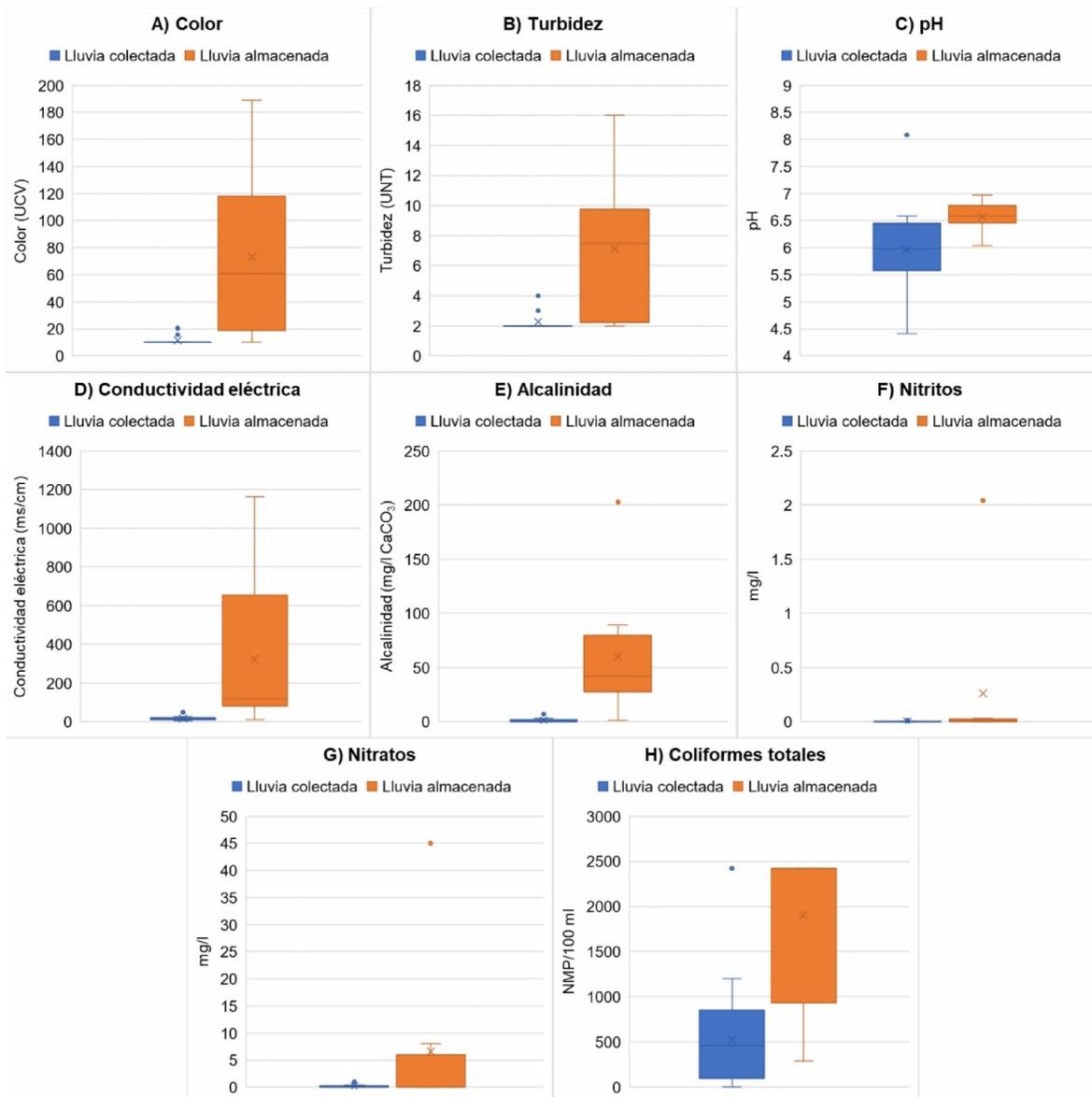


Figura 14. Variación de valores entre agua de lluvia colectada y agua de lluvia almacenada. (Elaboración propia).

7.1.4. Calidad del agua de lluvia (colectada y almacenada) con respecto a las referencias de calidad

En el presente estudio se aplica el concepto de calidad del agua para conocer los usos potenciales que puede dársele al agua de lluvia en la zona de estudio, para lo cual se usó como referencias: Las Guías para la Calidad del Agua Potable de la OMS (2006), y de la normatividad nacional para agua potable (NOM-127 y NOM-201) y para agua de albercas (NOM-245) (ver el capítulo 1).

En este apartado es importante recalcar que los límites de detección del equipo para PAH (>0.020 mg/l), benceno y etilbenceno (>0.400 mg/l) se encuentran por encima de los valores de referencia de las guías para la calidad del agua potable de la OMS (0.011 mg/l para PAH, 0.010 mg/l para benceno y 0.300 mg/l para etilbenceno) y de la NOM-127 (0.010 para benceno y 0.300 mg/l para etilbenceno). Por otro lado, la NOM-201 establece como límite máximo permisible 0.010 mg/l del conjunto de todos los compuestos orgánicos no halogenados (esto es que incluye carbamatos, hidrocarburos poliaromáticos, plaguicidas fosforados, compuestos orgánicos semivolátiles no clorados, endotal, glifosato y plaguicidas derivados de la urea). De esta forma, la detección de compuestos orgánicos en agua de lluvia en el presente estudio implica que se encuentran por encima de los límites de referencia, por lo que sólo se destaca su presencia o ausencia.

Las tablas 11 y 12 muestra los valores mínimos, máximos y promedios de cada parámetro, separados por tipo de lluvia (colectada y almacenada), y se contrastan con las referencias de calidad, colocando un símbolo (☒) debajo de los promedios que se encuentran fuera de los valores de referencia.

Tabla 11. Valores mínimos, máximos y promedios de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos de agua de lluvia colectada comparados con las referencias de calidad. (Elaboración propia).

PARÁMETRO	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO	OMS	NOM-127	NOM-201	NOM-245
Color	10.000	20.500	11.455	---	20.000	15.000	---
Turbidez	2.000	4.000	2.2667 	0.100	5.000	3.000	5.000
pH	4.420	6.580	5.806   	6.500 – 9.500	6.500 – 8.500	---	6.500 – 8.500
Nitritos como nitrógeno	0.000	0.003	0.0004	0.060	1.000	0.060	---
Nitratos como nitrógeno	0.000	0.360	0.051	11.360	10.000	10.000	---
PAH	---	---	PRESENCIA  	0.000001- 0.011	---	0.010	---
Benceno	---	---	PRESENCIA   	0.010	0.010		---
Tolueno	ND			0.700	0.700		---
Etilbenceno	---	---	PRESENCIA   	0.300	0.300		---
Xileno	ND			0.500	0.500		---

PARÁMETRO	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO	OMS	NOM-127	NOM-201	NOM-245
Coliformes totales	1.000	1203.3	415.318   	Ausencia	Ausentes o no detectables	< 1.1000	---
<i>E. coli</i>	0.000	0.000	0.000	Ausencia	Ausentes o no detectables	---	< 40.000

Tabla 12. Valores mínimos, máximos y promedios de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos de agua de lluvia almacenada comparados con las referencias de calidad. (Elaboración propia).

PARÁMETRO	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO	OMS	NOM-127	NOM-201	NOM-245
Color	10.000	189.000	73.250  	---	20.000	15.000	---
Turbidez	2.000	16.000	7.125   	0.1000	5.000	3.000	5.000
pH	6.040	6.970	6.573	6.500 – 9.500	6.500 – 8.500	---	6.500 – 8.500
Nitritos como nitrógeno	0.000	0.620	0.079  	0.060	1.000	0.060	---
Nitratos como nitrógeno	0.000	10.230	1.506	11.360	10.000	10.000	---
PAH	---	---	PRESENCIA  	0.000001- 0.011	---	0.010	---
Benceno	---	---	PRESENCIA   	0.010	0.010		---
Tolueno	ND			0.700	0.700		---
Etilbenceno	---	---	PRESENCIA   	0.300	0.300		---
Xileno	ND			0.500	0.500	---	---

PARÁMETRO	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO	OMS	NOM-127	NOM-201	NOM-245
Coliformes totales	290.600	2419.6	1905.425   	Ausencia	Ausentes o no detectables	< 1.100	---
<i>E. coli</i>	0.000	0.000	0.000	Ausencia	Ausentes o no detectables	---	< 40.000

En las tablas 11 y 12 se puede observar que tanto el agua de lluvia colectada, como el agua de lluvia almacenada no cumplen con varios parámetros de las referencias de calidad usadas en este estudio.

En cuanto al agua de lluvia colectada, en comparación con las Guías para la Calidad del Agua Potable de la OMS (2006), los valores que se encuentran fuera de sus valores de referencia son turbidez, pH, PAH, benceno, etilbenceno y coliformes totales. Mientras que, para la normatividad mexicana, no cumple con los límites máximos permisibles de pH, benceno, etilbenceno y coliformes totales de la NOM-127; compuestos orgánicos no halogenados y coliformes totales de la NOM-201 y pH para la NOM-245.

Por otra parte, el agua de lluvia almacenada se encuentra fuera de los valores de referencia para nitritos, PAH, benceno, etilbenceno y coliformes totales de las Guías para la calidad del agua potable de la OMS (2006). Con respecto a las normas nacionales, no cumple con los valores máximos permisibles de color, turbidez, benceno, etilbenceno y coliformes totales de la NOM-127; con respecto a la NOM-201, no cumple con color, turbidez, nitritos, compuestos orgánicos no halogenados y coliformes totales. Y para la NOM-245, no cumple con turbidez.

La NOM-245 de calidad de agua para albercas es la norma que, tanto el agua de lluvia colectada como el agua de lluvia almacenada, tienen menor número de parámetros fuera de los límites máximos permisibles, ya que la primera solo incumple en pH y la segunda en turbidez. Por lo que, aparentemente, en caso de ser utilizada bajo un contacto directo extensivo (OMS, 2000), es decir, un contacto en el que puede haber inmersión de cuerpo completo (como en el caso de su uso para bañarse) y con riesgo de tragar agua, se requeriría un tratamiento mínimo.

En la figura 15 se muestran los parámetros que se encontraron fuera de las referencias de calidad en la precipitación colectada de acuerdo con las fechas de los eventos.

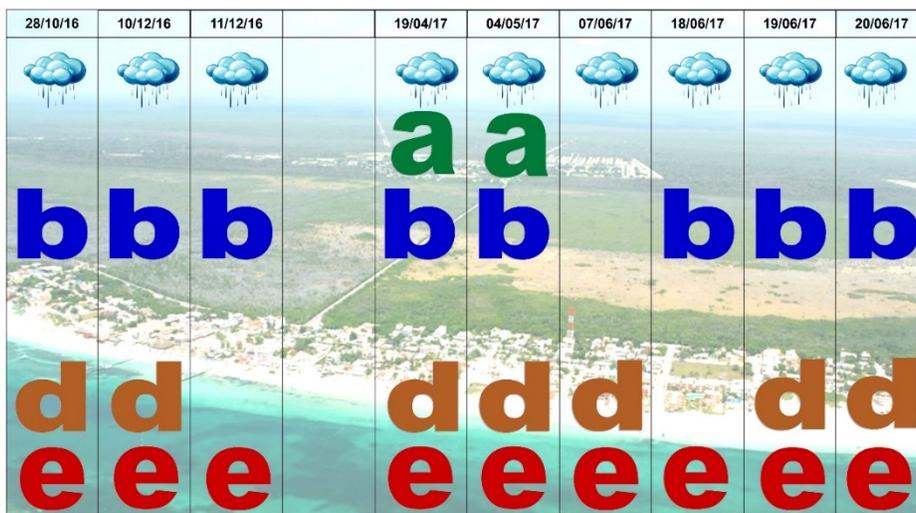


Figura 15. Parámetros detectados por evento de lluvia que se encontraron fuera de los valores de referencias de calidad, agrupados como a) color y/o turbidez, b) pH, c) nitritos y nitratos, d) compuestos orgánicos y e) coliformes totales. (Elaboración propia).

En la figura 16 se presentan las diferencias de las condiciones de calidad en los diferentes eventos de lluvia colectada y almacenada descrita como a) color y/o turbidez, b) pH, c) nitritos y nitratos, d) compuestos orgánicos y e) coliformes totales.

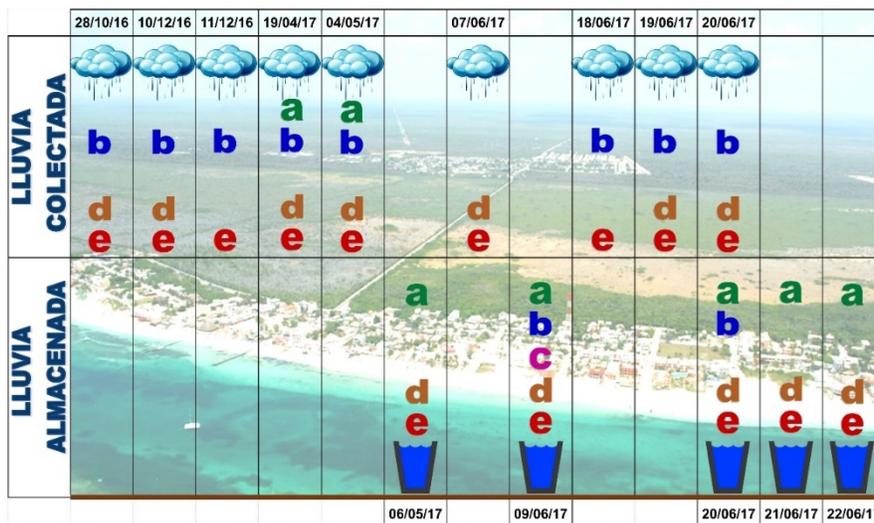


Figura 16. Parámetros detectados por evento de lluvia y muestreo de almacenamiento que se encontraron fuera de los valores de referencias de calidad, agrupados como a) color y/o turbidez, b) pH, c) nitritos y nitratos, d) compuestos orgánicos y e) coliformes totales. (Elaboración propia).

7.2. Aspectos sociales

Se estimó un tamaño mínimo de muestra de 253 domicilios a abordar con un 95% de confianza. Se abordaron en total 274 viviendas, de las cuales en 60 de ellas se realiza alguna forma de captación de agua de lluvia, que representa el 21.89% del total de viviendas abordadas. Debido a que en cada vivienda en donde se capta agua de lluvia se preguntó el número de habitantes por vivienda, se estimó que el número máximo de personas que utiliza agua de lluvia es de 303, esto debido a que dos encuestas fueron hechas a dos pequeños hoteles, en donde no hay un número de personas constante, por lo que en estos casos se tomó el número máximo de personas que pueden hospedar los hoteles. En la figura 17 se puede observar la distribución espacial de los usuarios de agua de lluvia en la localidad.

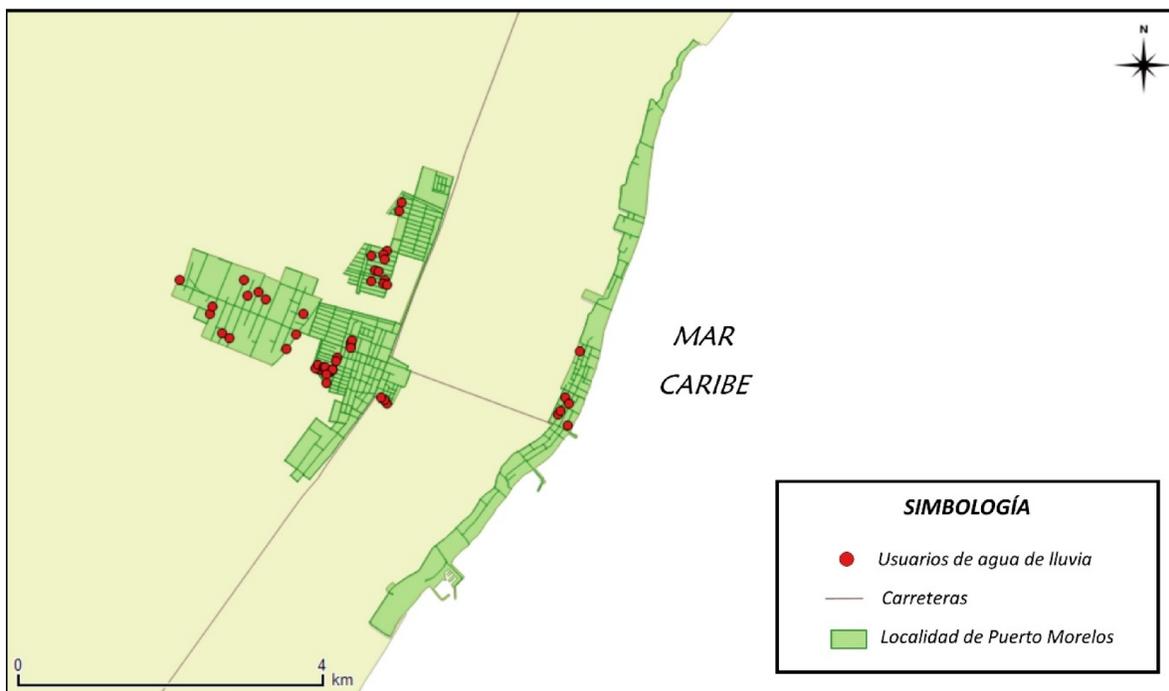


Figura 17. Distribución espacial de los usuarios de agua de lluvia en la localidad de Puerto Morelos (Modificado de INEGI, 2010a).

7.2.1. Datos sociodemográficos principales

Los resultados de las encuestas muestran que la edad promedio de los encuestados fue de 44.23 años, con una desviación estándar de 12.13 años y una moda de 34 años, dentro de un intervalo de entre 23 y 70 años, Del total de encuestados, el 65% son de sexo femenino y 35% de sexo masculino, 40% dice ser ama de casa, seguido de autoempleados independientes con 27%, asimismo 20% reportó ser empleados (hoteles y servicios), 8% profesionistas independientes y 5% jubilados. Sobre nivel de estudios de los encuestados se encontró que 25% tienen estudios universitarios nivel licenciatura, 17% secundaria, 15% primaria terminada, 15% primaria trunca, 13% preparatoria, 7% nivel posgrado y 8% no tienen estudios.

Los encuestados, en su mayoría (95%), provienen de otros estados e incluso de otros países (Argentina, Dinamarca, Honduras, Estados Unidos y España), siendo la Ciudad de México el lugar de procedencia con mayor número de usuarios de agua de lluvia (23%) (Figura 18).

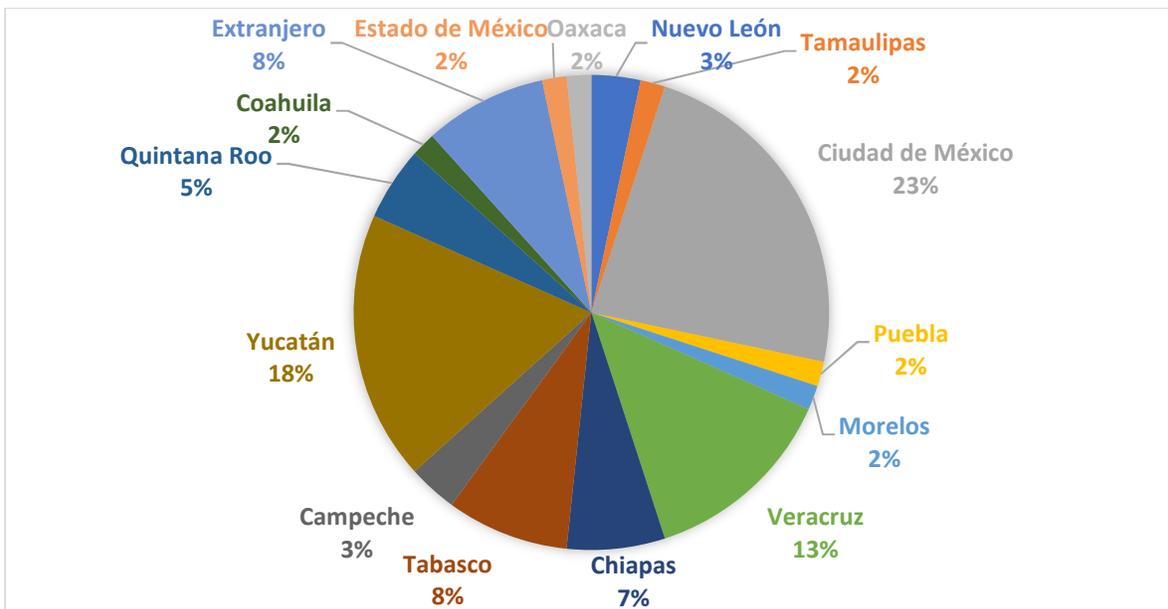


Figura 18. Lugares de procedencia de los usuarios de agua de lluvia. (Elaboración propia).

7.2.2. Opiniones y percepciones

Las opiniones y percepciones de los usuarios de agua de lluvia fueron variadas. Se distinguieron nueve categorías en las que se pudieron agrupar las respuestas expresadas: Ambiente, postura, cultura, calidad del agua de lluvia, ventajas y desventajas, usos, preocupaciones, necesidad y responsabilidades. En total se obtuvieron 538 comentarios (Figura 19).

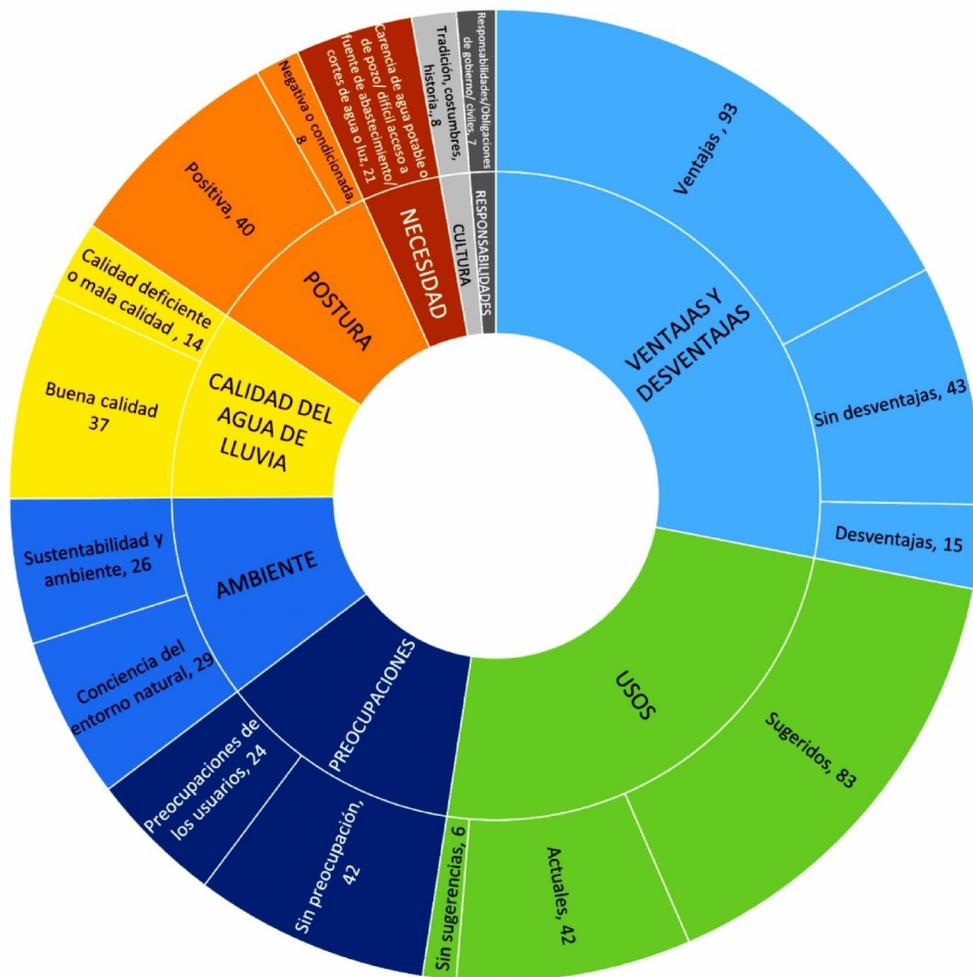


Figura 19. Opiniones y percepciones de los encuestados con respecto al agua de lluvia y su captación. (Elaboración propia).

7.2.2.1. Ambiente

La categoría de ambiente se conformó por dos subcategorías: 1) las opiniones con respecto a sustentabilidad y ambiente, refiriéndose a aquellos comentarios en los que se denotaba preocupación por el cuidado de la naturaleza y los recursos; y 2) las opiniones sobre conciencia del entorno natural, esto en referencia a la percepción del agua de lluvia como un recurso natural.

De estas subcategorías se registraron 26 comentarios (47.3% del total de comentarios de esta categoría) sobre sustentabilidad y ambiente, como el realizado por OX, ama de casa de 68 años, habitante del fraccionamiento Villas La Playa, quien dijo que captaba el agua de lluvia “porque es bueno para el planeta” o la colaboradora OM, mujer de 40 años residente de la Zona Urbana, quien comentó que con la captación de agua de lluvia “no afectamos al planeta”. Por otro lado, se registraron 29 comentarios (52.7%) con respecto a la conciencia del entorno natural, por ejemplo, SO, ama de casa de 45 años que habita en la colonia Pescadores, opinó que el agua de lluvia “se debe aprovechar ya que llueve seguido”.

7.2.2.2 Postura

Se distinguieron dos posturas: la positiva, en la cual se resaltaron comentarios a favor del agua de lluvia y su captación y la negativa o condicionada, en donde se observaron comentarios a favor, pero bajo ciertas condiciones, circunstancias o adaptaciones.

Se registraron 40 comentarios positivos (83.3%) con respecto al agua de lluvia y su captación. Por ejemplo, CH, un residente de 34 años del fraccionamiento Villas la Playa comentó que la captación de agua de lluvia “es una buena idea”; IN, mujer de 42 años que habita en la colonia La Fe afirmó que captar agua de lluvia “es bueno”; así mismo, CO, hombre de 56 años, residente de la Zona Urbana comentó que la captación de agua de lluvia “funciona bien”, entre otros comentarios. De la postura negativa o condicionada solo se hicieron ocho comentarios (16.7%), entre los que destaca el realizado por VG, mujer de 56 años que habita en un fraccionamiento, quien opina que “hay que estar al pendiente de la operatividad del sistema de captación”; YN, hombre

de 50 años residente de otro fraccionamiento opinó que “La captación de agua de lluvia no es tan práctica, hay que dedicarle tiempo”, o el comentario hecho por OM, mujer de 40 años residente de la Zona Urbana, quien considera que “Se requiere de conciencia y adaptación, pero vale la pena”.

7.2.2.3. Cultura

En este apartado se tomaron en cuenta todos los comentarios que hicieran alusión a la captación de agua de lluvia como una práctica realizada por la familia de origen, por la comunidad o por los antepasados. De este tipo se registraron ocho comentarios. Como ejemplo tenemos los comentarios de PE, hombre de 52 años que reside en la colonia La Fe, quien dijo que en su familia “se acostumbra utilizar el agua de lluvia para los frijoles y para lavar la ropa con ceniza porque así queda más limpia”. Por otro lado, PY, mujer de 41 años de la colonia La Fe, comentó que antes cuando los hombres andaban en los campos agrícolas acostumbraban a tomar el agua de lluvia que se juntaba en las oquedades del suelo, también mencionó que se acostumbra hervir para los niños, pero para los adultos no.

7.2.2.4. Calidad del agua de lluvia

Se obtuvieron en total 51 comentarios con respecto al tema. Esta categoría se dividió en dos subcategorías: buena calidad y calidad deficiente o mala. Los comentarios sobre la buena calidad fueron 37 (72.5%), entre los que destacan el de AR, mujer de 33 años, habitante de un fraccionamiento, quien opina que “el agua de lluvia es limpia”; BR, mujer de 50 años residente de la Zona Urbana, comentó que “el agua de lluvia es de mejor calidad” en comparación con la de pozo; HE, hombre de 30 años habitante de la colonia Zetina Gasca mencionó que “el agua de lluvia no tiene químicos”. Por otro lado, los comentarios de calidad deficiente o mala fueron tan sólo 14 (27.5%), algunos de ellos fueron por ejemplo de HT, mujer de 30 años, residente del fraccionamiento Villas La Playa quien opinó que “el agua de lluvia está contaminada”; LT, hombre de 70 años, habitante del mismo fraccionamiento comentó que “el agua de lluvia no se puede beber

porque es ácida”; US, mujer de 51 años, residente de la colonia La Fe mencionó que “el agua de lluvia sólo sirve para el escusado”.

7.2.2.5. Ventajas y desventajas

Entre ventajas y desventajas hubo gran diferencia en el número total de comentarios. Por un lado, se destacan las ventajas con un total de 93 comentarios (72.6% del total de comentarios), mientras que las desventajas solo fueron resaltadas en 15 comentarios (29.41%). Por el otro lado, se registraron 43 comentarios (84.31%) en los que declararon no encontrar ninguna desventaja.

Las ventajas se subdividieron en cuatro categorías: ventajas generales, seguridad hídrica, ahorro, salud y bienestar físico y viabilidad. Dentro de las ventajas generales se observaron comentarios como el realizado por GS, mujer de 34 años, habitante de la colonia La Fe, quien afirmó que utilizando agua de lluvia “la ropa queda muy limpia”; TA, mujer de 26 años, residente de la colonia La Fe ha observado que “crecen más rápido las plantas”; por otro lado, CO, hombre de 56 años de la Zona Urbana opina que “los frijoles se cocinan más rápido”. Estos comentarios se centran en aspectos positivos dentro de la vida cotidiana principalmente.

Los comentarios sobre seguridad hídrica fueron variados, por ejemplo, VG, mujer de 56 años, residente de un fraccionamiento, dijo que “el cosechar agua de lluvia da cierta autonomía” con respecto a depender completamente de la red de agua potable. Por otro lado, PC, hombre de 44 años de la colonia Zetina Gasca, dijo que “el agua de lluvia es un suministro para cuando no hay agua potable”, en su comentario se refirió a cuando hay cortes de agua ya sea por tandeos o por falta de pago a la compañía de agua potable. CO, hombre de 56 años de la Zona Urbana, argumentó: “en situación extrema tenemos nuestro propio abastecimiento” apuntando su comentario a circunstancias en las que no pueda obtener agua de pozo (inundación por huracán) y que el agua de lluvia le permite tener ese suministro.

En cuanto al ahorro, se manejó que este fuera en agua (6%), luz (2%) o dinero (15.89%). Por ejemplo, PS, hombre de 61 años que habita en la Zona de Costa, recomienda el uso de agua de lluvia “para ahorrar dinero, porque el agua potable es muy cara”; CH, hombre de 34 años residente de un fraccionamiento, también opinó “con el agua de lluvia puedes ahorrar económicamente” y HC, mujer de 44 años, residente de la colonia La Fe dijo: “ahorramos agua potable y dinero”.

La salud y el bienestar físico fueron ventajas que también resaltaron algunos colaboradores. Por ejemplo, MF, hombre de 64 años que habita en la Zona de Costa comentó que el agua de lluvia “deja la piel y el cabello suaves”, PR, mujer de 43 años de la colonia Pescadores dijo que “el agua de lluvia quita granitos del cuerpo”; IN, mujer de 42 años, residente de la colonia La Fe, mencionó que “el agua de lluvia es más saludable”, ya que esta persona la usa para consumo. Incluso un colaborador destacó un beneficio místico-esotérico al mencionar que el agua de lluvia era mejor energéticamente para bañarse que el agua potable, denotando aquí la “buena vibra” que tiene el agua de lluvia por provenir de un proceso natural.

Algunas personas comentaron que la captación de agua de lluvia es una técnica viable, barata y rentable. Cabe mencionar que estos comentarios fueron hechos tanto por usuarios con sistemas simples (cubetas, tambos, lonas), como por usuarios con sistemas complejos (superficie de captación, canaletas, tuberías, tinacos, cisternas, filtros, etc.).

Los comentarios sobre desventajas o inconvenientes apuntan a que la lluvia no es constante, es impredecible y, en general se percibe que los ciclos anuales están cambiando, por lo que la captación de agua de lluvia se vuelve más complicada; por ejemplo, OG, hombre de 48 años, residente en la Zona de Costa, comentó como preocupación con respecto a la cosecha de agua: “los ciclos hidrológicos están alterados”. Así mismo, otra desventaja mencionada es la forma de captarla y almacenarla, YN, hombre de 50 años, residente del fraccionamiento Villas La Playa,

mencionó que una de las desventajas de captar el agua de lluvia es “el cómo almacenarla y captarla”, pues, según su percepción, se requieren de ciertos espacios para llevarlo a cabo, principalmente si se quiere tener un sistema complejo, así como la economía necesaria para hacer un sistema que permita subsistir exclusivamente con agua de lluvia. Algunos usuarios mencionaron cierto problema con la proliferación de mosquitos si se mantiene el agua almacenada por mucho tiempo, como es el caso de SO, mujer de 45 años, habitante de la colonia Zetina Gasca, quien mencionó que “si no se usa de inmediato el agua, aparecen mosquitos”. Es importante decir que estos comentarios los hicieron personas que almacenan el agua en contenedores destapados, y que algunos mencionan que les ponen cloro para evitar el desarrollo de estos. Otras desventajas que mencionan algunos colaboradores es que no sirve para lavar trastes, ropa, para bañarse o beber, ya sea por la consistencia que genera el agua de lluvia al momento de combinarla con jabón en el caso de lavar o bañarse, o por la dudosa calidad y las características del agua de lluvia en el caso de su consumo, como lo mencionó BL, mujer de 31 años de la colonia La Fe, quien afirma: “para lavar el agua de lluvia no sirve”, “si la bebo podría enfermar”.

7.2.2.6. Usos

De los resultados de las encuestas, los usos mencionados se dividieron en dos: usos actuales y sugeridos, donde el primero tuvo 42 comentarios (32%) y el segundo 83 comentarios (63.4%).

Se identificaron 13 usos actuales (Figura 20), de los cuales 6 fueron los más comunes: riego de plantas, limpieza de la casa, escusado, lavado de ropa, higiene personal y cocinar y/o beber. Los usos sugeridos fueron 18 (Figura 21), de los que sobresalen el consumo humano, el riego de plantas, la higiene personal y el lavado de trastes/ropa.

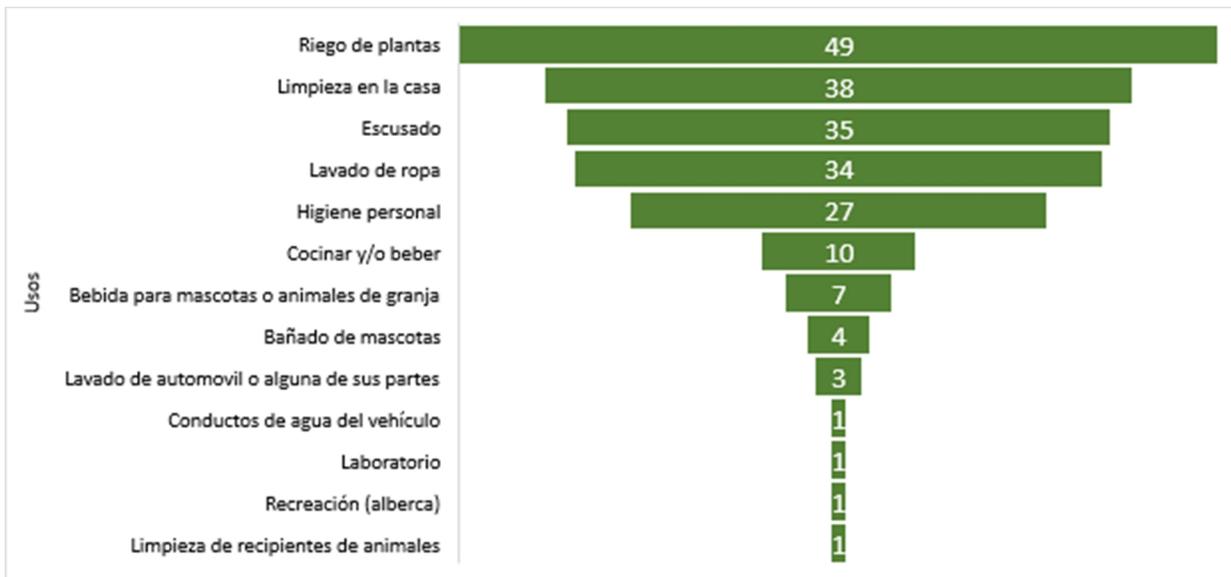


Figura 20. Usos actuales del agua de lluvia en Puerto Morelos. (Elaboración propia).

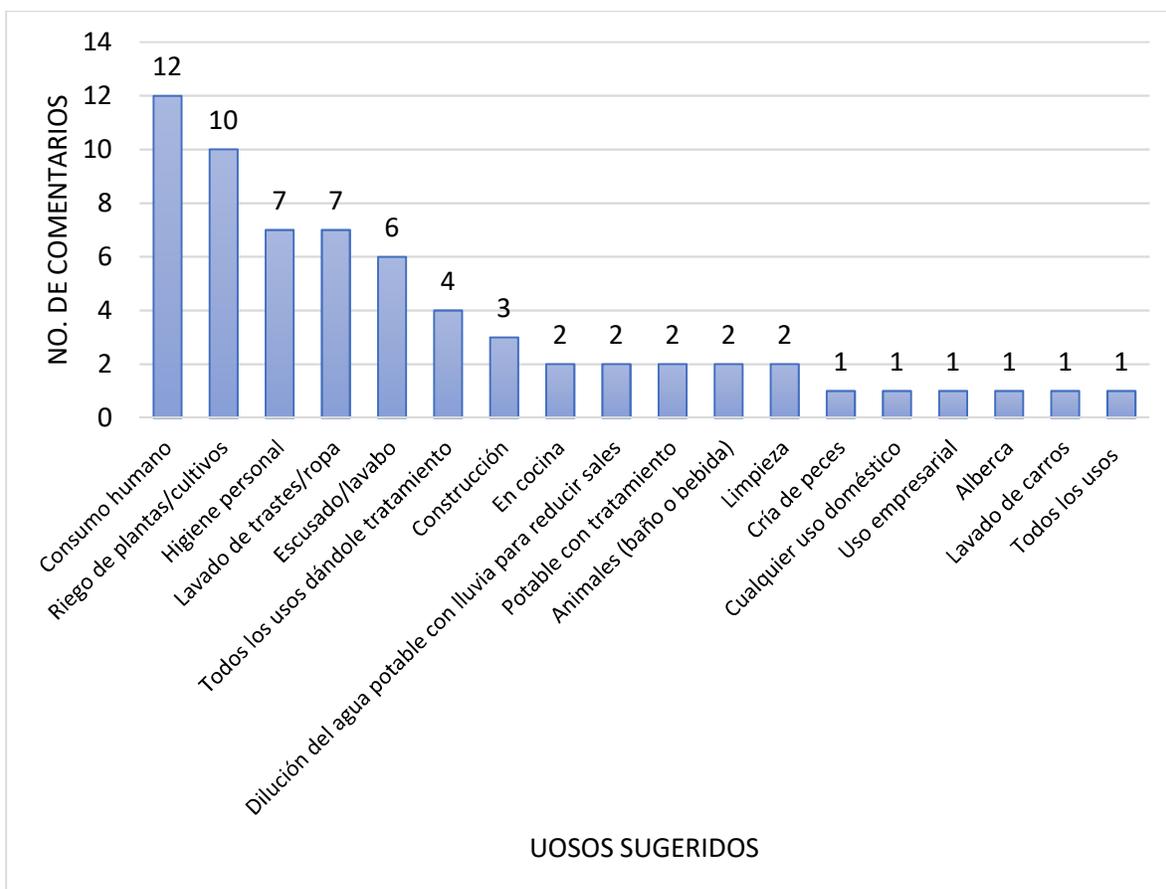


Figura 21. Usos sugeridos por los encuestados para el agua de lluvia. (Elaboración propia).

Dentro de los usos sugeridos por los encuestados, se menciona el consumo humano, sin embargo es importante decir que se distinguen dos categorías de este, en una se hace énfasis en que se sugiere el tratamiento del agua de lluvia para hacerla potable, y en el otro no se especifica un tratamiento para consumirla, lo cual no quiere decir en todos los casos que los colaboradores consideren el agua de lluvia lo suficientemente limpia para su consumo, simplemente mencionan un posible uso, pero no aclaran si sería necesario o no un tratamiento previo. En un caso similar, hay quienes sugieren que sirve para todos los usos y hay quienes mencionan que sirve para todos los usos siempre y cuando se le dé un tratamiento previo. Las sugerencias poco comunes son el uso para la construcción, la dilución del agua potable con el agua de lluvia para reducir sales, la cría de peces y el uso empresarial, de esta última no especifica el tipo de actividad. Tan solo seis personas no sugirieron ningún otro uso para el agua de lluvia.

El valor de uso mostró valores de entre 0.076 para quienes emplean el agua de lluvia para un uso, hasta valores de 0.62 para quienes la emplean para ocho usos, que fue el número más alto de usos registrados para una persona. Al contrastarlos con las variables de sexo, edad, colonia, nivel educativo, lugar de procedencia y forma de captación, se obtuvieron coeficientes de correlación de -0.181, 0.059, -0.068, -0.039, 0.111 y 0.209 respectivamente.

Sin embargo, a pesar de que no existe significancia estadística se encontraron algunas tendencias sobre el valor de uso con respecto al lugar de procedencia y a las formas de captación de agua de lluvia. En la figura 22 se puede apreciar que los usuarios procedentes del norte de México tienden a tener valores de uso menores, mientras que los usuarios de estados del centro y sur tienen una variabilidad mayor en el número de usos. En cuanto a los extranjeros, se aprecian valores de uso medios a altos para quienes provienen de Argentina, Honduras, España y Estados Unidos.

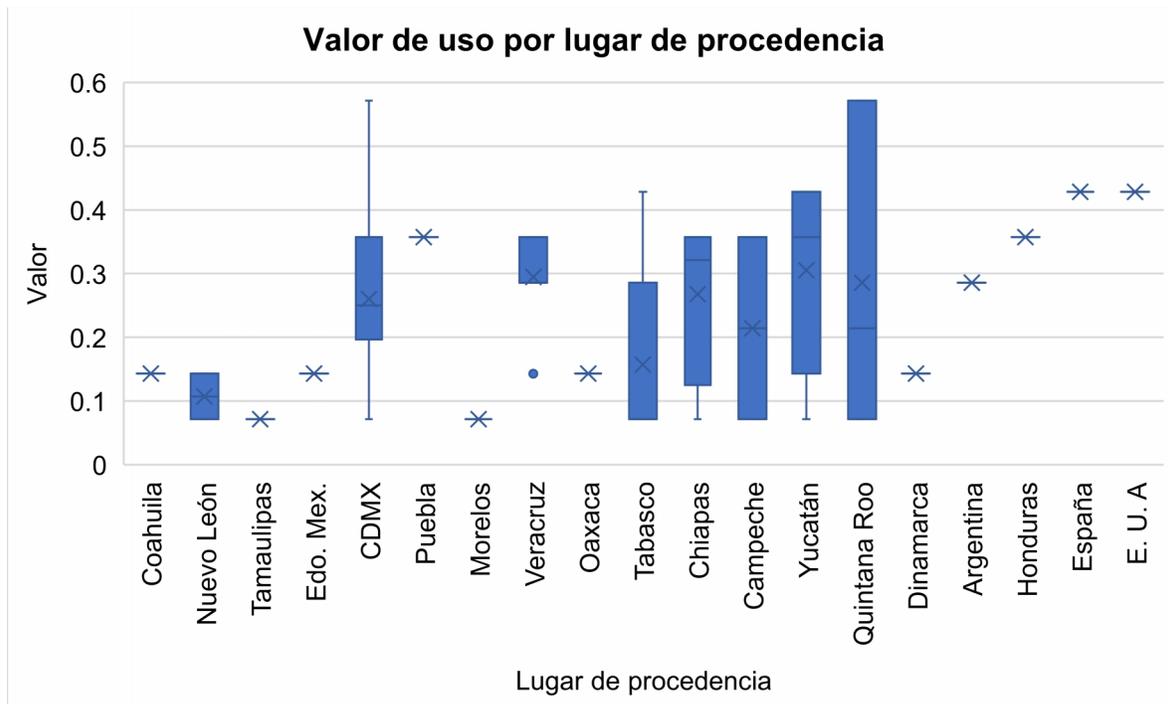


Figura 22. Valores de uso por lugares de procedencia de los usuarios de agua de lluvia. (Elaboración propia).

Así mismo en la figura 23 se aprecia que el valor de uso tiende a ser mayor para sistemas complejos y un poco menor para sistemas simples, esto podría deberse a que las personas que tienen sistemas complejos tienen la posibilidad de tener un manejo más apropiado y prolongado del recurso, lo cual les permite tener una calidad de agua mayor para una mayor cantidad de usos.

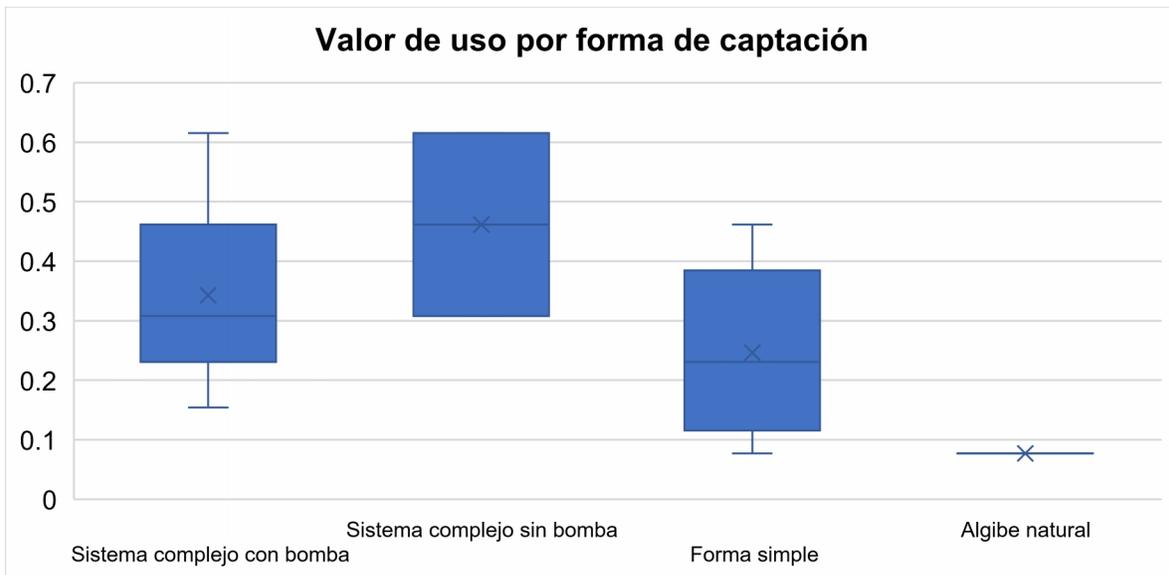


Figura 23. Valores de uso por tipo de captación de los usuarios de agua de lluvia. (Elaboración propia).

El nivel de fidelidad mostró que, de los seis usos más frecuentes, el riego de plantas es el uso más recurrido del agua de lluvia, con un valor de 0.82, mientras que el uso para cocinar y/o beber tan solo obtuvo un valor de 0.18 (figura 24).

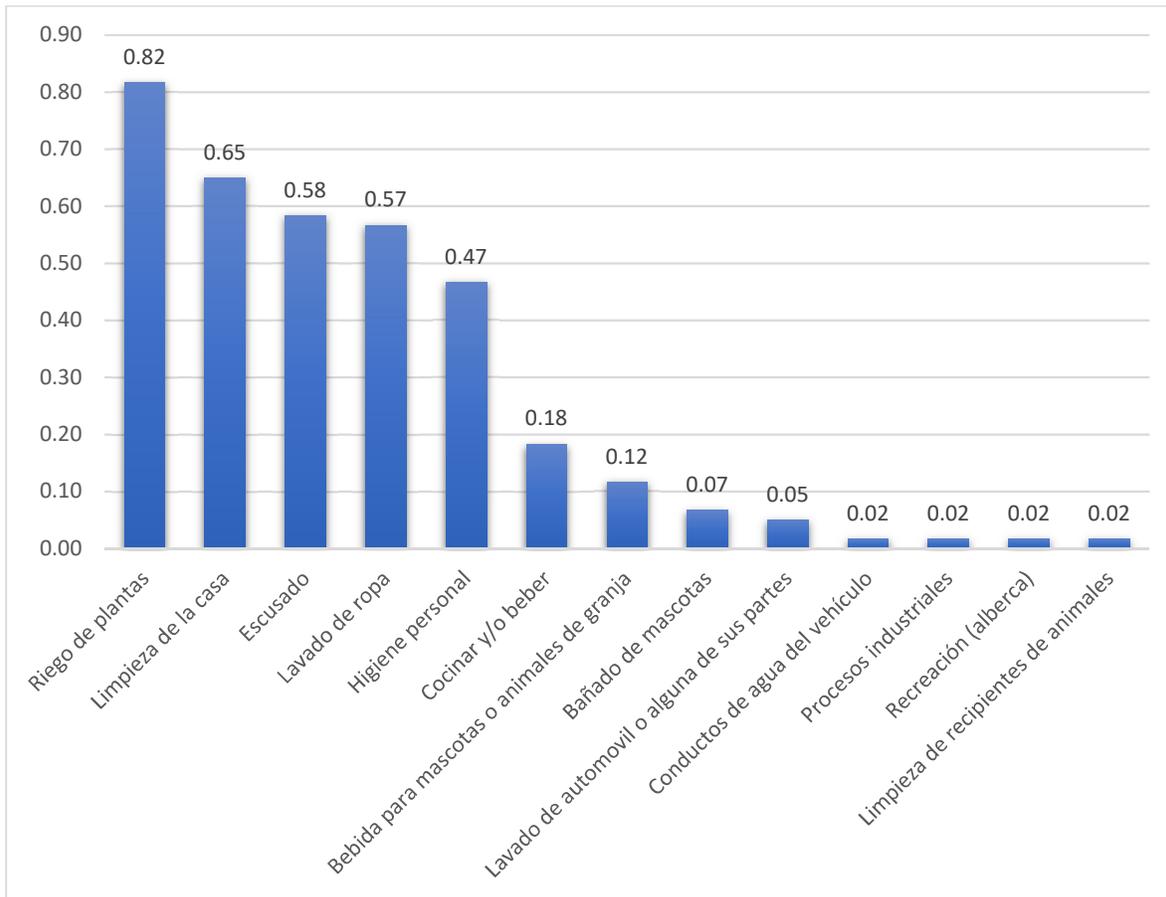


Figura 24. Nivel de fidelidad para los usos del agua de lluvia. (Elaboración propia).

7.2.2.7. Preocupaciones manifestadas por los usuarios con respecto al uso de agua de lluvia

La mayoría de los colaboradores cuando se les preguntó si les preocupaba algo con respecto al uso de agua de lluvia dijeron que nada les preocupaba (43 comentarios), sin embargo, en muchos casos, dentro del resto de las preguntas, se hicieron evidentes varias opiniones manifestando ciertas preocupaciones.

Las preocupaciones de los usuarios se vieron resaltadas en 24 comentarios (36.36%), de los cuales se observan tres categorías principales: 1) la normatividad con respecto a la captación de agua de lluvia, 2) la recarga del acuífero y 3) la calidad del agua de

lluvia. Esta última fue la que más comentarios generó. Por ejemplo, HE, mujer de 30 años, residente de la colonia Zetina Gasca, mencionó “me preocupa beber el agua de lluvia, puede estar contaminada”; PR, mujer de 43 años, habitante de la colonia Pescadores, le preocupa saber si “sería suficiente hervirla para beber”; OG, hombre de 48 años que reside en la Zona de Costa, opina que “el agua de lluvia hace siete u ocho años no estaba tan contaminada, se podía usar para beber, pero ahora me preocupa que la calidad del agua haya cambiado debido a la contaminación”.

7.2.2.8. Necesidad

Se destacan 21 comentarios sobre necesidad, carencia o difícil acceso al agua debido a la falta de un pozo, ya que la red de agua potable no llega hasta su colonia. Algunos colaboradores (3) comentaron que sus vecinos les proporcionan agua de sus pozos, por ejemplo GA, mujer de 54 años, residente de la colonia La Fe, mencionó: “aquí no tenemos agua de pozo, le tenemos que pedir de favor a los vecinos de allá que nos regalen agua de su pozo”; hay personas que utilizan el agua de lluvia como medida de prevención para evitar quedarse sin agua por algún corte o tandeo de agua (4 usuarios) (en caso de lugares donde hay red de agua potable), como SO, mujer de 45 años que habita en la colonia Zetina Gasca, comentó que ella usa agua de lluvia porque “a veces no hay agua de la llave”; así mismo, otras personas utilizan el agua de lluvia por cortes de luz (apagones) (5 usuarios) en caso de tener un pozo, ya que extraen el agua por medio de bombas eléctricas, como es el caso de PY, mujer de 41 años, residente de la colonia La Fe, quien aseveró: “la luz se va en ocasiones y no podemos sacar el agua del pozo”, por lo que recurren al agua de lluvia. Por otro lado, la colaboradora CM mencionó “usamos el agua de lluvia para no ir a traer agua de pozo, porque nosotros no tenemos aquí”. Así mismo, muchas personas lo hacen como medida de ahorro principalmente económico, aunque varios usuarios comentaron que con el agua de lluvia ahorran agua y/o luz. Se localizó un usuario de agua de lluvia que dijo depender exclusivamente del agua de lluvia, la colaboradora CA, mujer de 46 años que habita en la colonia La Fe, quien comentó: “usamos el agua de lluvia porque tenemos poco tiempo de vivir aquí y todavía no tenemos pozo”.

7.2.2.9. Responsabilidades/obligaciones de gobierno/civiles

Se presentaron siete comentarios con respecto a este tema, tres de ellos se refirieron a las responsabilidades del gobierno en cuanto a la promoción de la captación del agua de lluvia, por ejemplo, PA, mujer de 53 años, residente del fraccionamientos Villas La Playa, afirmó que “el gobierno debería incentivar la captación de agua de lluvia”, mientras que 4 comentarios se enfocaron en que la captación de agua de lluvia es necesaria y debería ser implementada por más personas, por ejemplo, SA, mujer de 37 años, habitante de la Zona Urbana, opinó: “el agua de lluvia es fenomenal, todos deberíamos utilizarla. Estos comentarios no solo hacen referencia a la implementación de la técnica a través de la promoción gubernamental o institucional, sino por conciencia y responsabilidad de cada persona.

El 98% de las personas encuestadas recomienda el uso de agua de lluvia.

7.2.3. Formas de manejo del recurso

Se observaron cuatro formas generales de captación. La más común es la forma simple (75%). Es decir, a través de cubetas, tambos, cisternas al aire libre, entre otros. Esta categoría es referente a la captación de una manera más práctica, económica, sin materiales, superficies o contenedores especialmente diseñados para la captación. Mientras que el 23% de los encuestados posee sistemas de captación complejos adaptados a las viviendas. Estos pueden incluir superficies de captación, canales, tuberías, tinacos, cisternas, filtros y bombas. Tan solo un 2% cuenta con un aljibe natural (Figura 25).

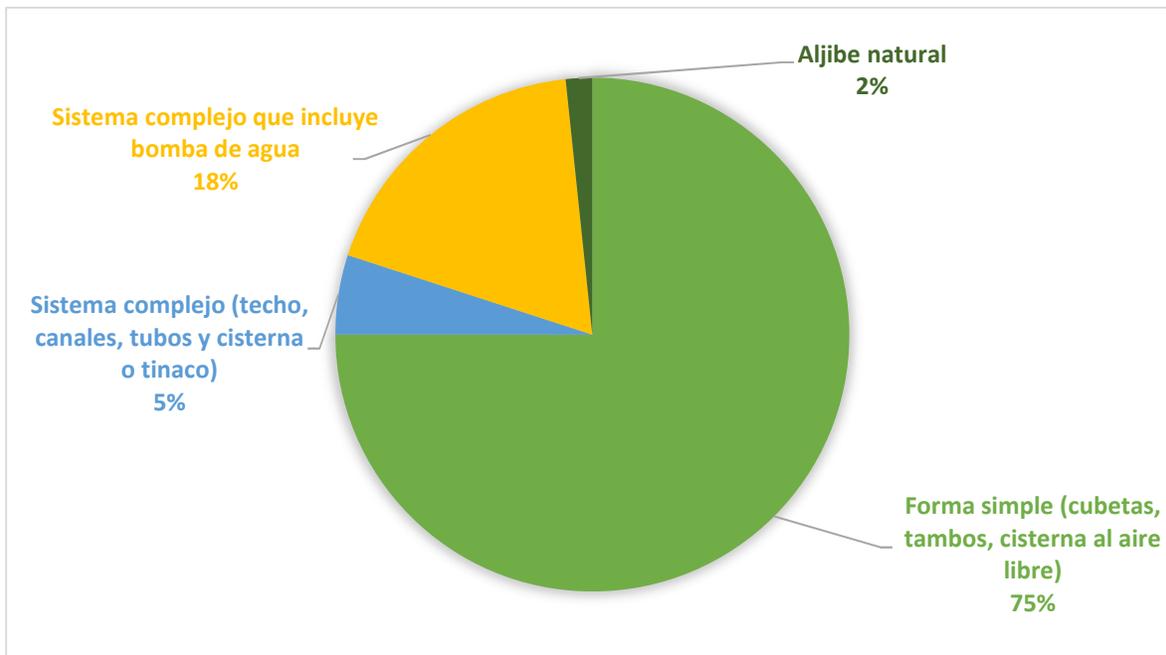


Figura 25. Formas de captación de los usuarios de agua de lluvia en Puerto Morelos.

El 47% de los encuestados utiliza algún tipo de filtro y/o limpieza mecánica del agua, esto en referencia a que el agua proviene principalmente de alguna superficie que pudiera contener partículas provenientes del ambiente (polvo, tierra, hojarasca, etc.) Las formas más utilizadas son por medio de rejillas, coladores o telas para eliminar los residuos más grandes (hojarasca, residuos de animales) (41.7%); por medio de sedimentación (11.7%) y a través de filtros fabricados (8.3%).

Los materiales de los contenedores de almacenamiento son principalmente de plástico (77%), en menor medida de mampostería (15%), una pequeña proporción (5%) tiene más de un material (plástico y mampostería) y el resto (3%) es de otro material (metal o roca).

Las capacidades de los contenedores son variables, van desde 20 litros (cubetas) hasta los 50,000 litros (cisternas). El 32% de personas almacenan entre 20 y 99 litros, otro 32% almacena de 100 a 499 litros. Un 13% almacena entre 500 y 999 litros. Estas tres categorías incluyen a personas que captan el agua de forma simple, teniendo cubetas

de 20 litros y tambos de 200 litros principalmente. Un 8% almacena entre 1,000 a 9,999 litros, y otro 8% almacena entre 10,000 a 50,000 litros, estas últimas dos categorías incluyen a usuarios que almacenan el agua principalmente en tinacos y cisternas, y que cuentan con sistemas complejos.

El 80% de los usuarios de agua de lluvia limpia el contenedor de almacenamiento, el 12% limpia todo el sistema y tan solo el 8% no limpia ni el sistema ni el o los contenedores. Las frecuencias de limpieza varían desde quienes limpian el contenedor por evento de lluvia (cubetas y tambos) hasta quienes limpian todo el sistema cada tres años.

El 48% de los usuarios almacena el agua entre dos y siete días, un 22% la utiliza el mismo día, el 15% dice que se encuentra en constante movimiento, en este caso son sistemas con capacidades de almacenamiento de entre 30,000 a 50,000 litros, los cuales nunca llegan a vaciarse. El 12% la almacena entre ocho a 30 días.

Sobre las características organolépticas, el 67% de los usuarios asevera que el agua de lluvia llega sin color alguno, mientras que el 33% afirma que sí llega con color perceptible. El 90% opina que el agua de lluvia llega sin olor, el restante 10% dice que sí tiene olor, aunque no necesariamente desagradable. En cuanto al sabor, el 53% coincide en que no tiene sabor, el 42% no la ha probado, por lo que no sabe si tiene o no algún sabor en especial, y finalmente el 5% comenta que sí tiene sabor, que al igual que en el caso anterior, no necesariamente es un sabor desagradable. El cambio de estas características durante el almacenamiento es muy variable y depende del tiempo y la forma de almacenamiento, así como del tratamiento que se le da al recurso.

7.2.3.1. Formas de abastecimiento de agua

Se les preguntó si además de la captación de agua de lluvia tenían otra forma de abastecerse de agua (figura 26), a lo que el 98% respondió que sí tenían, siendo el 55% por medio de pozo, en menor proporción por medio de la red de agua potable

(41%), tan solo un 2% por medio de pipa y un 2% no cuenta con otra forma de suministro.



Figura 26. Formas principales de abastecimiento de agua en la localidad de Puerto Morelos. (Elaboración propia).

7.2.3.2. Manejo de aguas residuales

Dentro de la encuesta se tomó en cuenta la disposición de las aguas residuales como parte del manejo del recurso, ya que, de antemano se tenía conocimiento que existían viviendas sin drenaje y sin agua potable, lo cual obliga a los habitantes a obtener agua por medio de pozos y a tratar sus aguas residuales por medio de fosas sépticas.

Se identificó que tan solo el 28% se encuentra conectado a la red de drenaje, mientras que el 59% tiene fosa séptica y el 13% tiene otras formas de deshacerse de las aguas residuales (biodigestores, humedales artificiales y vertimiento del agua directamente al suelo).

7.2.3.3. Enfermedades asociadas al consumo de agua de lluvia

En cuanto a salud, todos los que consumen agua de lluvia (diez personas) afirmaron que no se enferman del estómago de manera recurrente, y nueve dijeron que no

notaron diferencias de frecuencia en enfermedades estomacales al consumir agua de lluvia, tan solo uno aseveró que antes de tomar agua de lluvia se enfermaba más frecuentemente del estómago.

7.2.4. Tipos de usuarios de agua de lluvia

Los resultados de las encuestas muestran datos heterogéneos, sin embargo, se pudieron distinguir de manera general dos grupos de usuarios de agua de lluvia. Se tomaron en cuenta cuatro características: nivel de estudios, motivaciones para la captación de agua de lluvia, lugar de residencia actual y forma de captación.

- Grupo A: con un total de 26 usuarios (43.3%), se caracterizan por poseer estudios medios a superiores (secundaria, preparatoria, universidad o posgrado), sus motivaciones principales para captar agua de lluvia son: ideales pro-ambientales, por ahorro económico y/o por el aprovechamiento del recurso. Se establecen en los fraccionamientos Villas Morelos II y Villas La Playa, en la colonia Zona Urbana o en la Zona de Costa. La forma de captación que llevan a la mayoría es de forma simple y en algunos casos compleja.
- Grupo B: con un total de 34 usuarios (56.7%), se caracteriza por poseer estudios bajos a medios (primaria trunca, primaria y secundaria) e incluso no tener estudios. Sus principales motivaciones para coleccionar agua de lluvia son por carencia del recurso hídrico o energético, por ahorro económico y/o por tradiciones o costumbres. Se encuentran establecidos principalmente en las colonias La Fe, Nuevo Amanecer, Zetina Gasca y Pescadores. La captación que se maneja en este grupo es de tipo simple.

7.3. Contrastación de la calidad del agua de lluvia con los usos empleados en la localidad de Puerto Morelos

En la figura 27 se observan los usos del agua que se registraron en el estudio y cuáles están concordantes con la calidad del agua precipitada y almacenada.

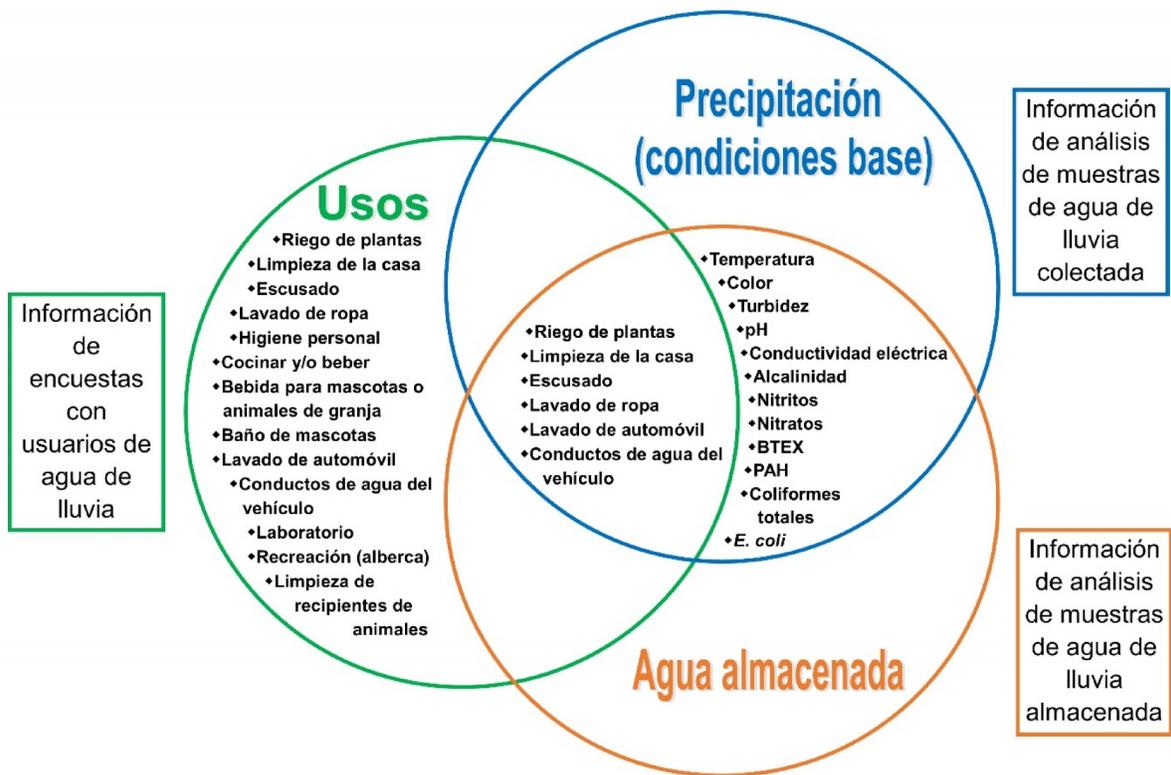


Figura 27. Usos del agua de lluvia en Puerto Morelos y su concordancia con el tipo de agua (precipitación colectada y precipitación almacenada). (Elaboración propia).

8. DISCUSIÓN

8.1. Aspectos fisicoquímicos y bacteriológicos (Calidad del agua)

De acuerdo con lo mencionado en la literatura por Carroll, 1969; Drever, 1997; Snoeyink y Jenkins, 1999; De la Rosa, Mosso y Ullán, 2002 y Canales, 2015, hay un proceso de enriquecimiento en la precipitación atmosférica, es decir, el agua de lluvia arrastra partículas, gases y microorganismos que se encuentran suspendidos en la atmósfera hasta llegar a la superficie terrestre. Y, por otro lado, el proceso de almacenamiento refleja una modificación de las características originales de la precipitación al momento de ser almacenada, como también se observó en los estudios realizados por Han, *et al.*, 2004; Kim *et al.*, 2005 y Lee *et al.*, 2009.

A continuación, se presenta la discusión de los aspectos fisicoquímicos y bacteriológicos en 3 partes:

- Condiciones base de la precipitación en la zona de estudio
- Condiciones del agua durante su almacenamiento
- Calidad del agua de lluvia con respecto a sus usos a nivel doméstico

8.1.1. Condiciones base de la precipitación en la zona de estudio

En general, la precipitación para la zona de estudio no presenta variaciones importantes, por el contrario, se asemeja a lo reportado por Carroll, 1962; Drever, 1997; Sanders, 1998; Bravo *et al.*, 2000 y Cerón-Bretón *et al.*, 2004.

El pH se mantuvo en general con valores tendientes a la acidez, lo cual se considera una condición normal del agua de lluvia de acuerdo con Carroll (1962) y Drever (1997). Sin embargo, los valores mínimo (4.420) y máximo (6.580) fueron más altos que los reportados por Cerón-Bretón *et al.* (2004) para Puerto Morelos, los cuales fueron de 3.480 y 5.230 respectivamente. Se puede considerar que la precipitación colectada en la zona de estudio mantiene una tendencia ligeramente ácida a no ácida (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2017). Estos resultados coinciden con lo reportado por Bravo *et al.* (2000), Han y Han (2002), Kim *et al.* (2005), García (2012),

y Cerón *et al.* (2005). Así mismo, coincide con el rango de valores de pH que establece Sanders (1998) para agua de lluvia (4.000 - 7.000), a diferencia de otro tipo de aguas, como por ejemplo el agua de ríos y lagos o el agua subterránea que oscila entre 6.500 - 8.500.

Los valores de conductividad eléctrica máximo (49.600 $\mu\text{s}/\text{cm}$), mínimo (5.430 $\mu\text{s}/\text{cm}$) y promedio (16.637 $\mu\text{s}/\text{cm}$) se encuentran dentro del rango de conductividades eléctricas que plantea Sanders (1998) para el agua de lluvia, de entre 2.000 $\mu\text{s}/\text{cm}$ a 100.000 $\mu\text{s}/\text{cm}$; siendo diferentes al rango de valores establecidos para agua subterránea de entre 50.000 y 50,000.000 $\mu\text{s}/\text{cm}$, constatando que el agua colectada era proveniente de los fenómenos de precipitación atmosférica. Así mismo, de manera general, los resultados de conductividad eléctrica se encuentran cercanos a los reportados por Cerón-Breton *et al.* en 2004 para la localidad de Puerto Morelos, quien reporta una conductividad eléctrica promedio de agua de lluvia de 31.400 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

Los valores de alcalinidad obtenidos fueron relativamente bajos (0.070 mg/l CaCO_3 – 7.04 mg/l CaCO_3), en comparación con otro tipo de aguas naturales como son las del acuífero kárstico que según Díaz (2015) oscilan entre 240.385 y 458.738 mg/l CaCO_3 .

En base a estos tres parámetros (pH, conductividad eléctrica y alcalinidad) se confirmó que el agua analizada provino de la precipitación atmosférica y no de otras fuentes.

Hay ciertos eventos que modifican las condiciones fisicoquímicas y bacteriológicas del agua de lluvia, como son los incendios forestales, la mayor afluencia de vehículos en temporadas vacacionales, la dirección de los vientos, los periodos prolongados sin precipitaciones, entre otros (Caroll, 1969; Drever, 1997; Snoeyink y Jenkins, 1999). Estas situaciones se vieron reflejadas en algunas de las muestras colectadas como se detalla a continuación.

Como se aprecia en la figura 15 la precipitación se comportó de manera diferente en los meses de abril y mayo, los cuales pertenecen al periodo de estiaje en la región (CONABIO, 2009), y en donde se observó un incremento de valores en algunos parámetros como color, conductividad eléctrica, nitratos y PAH (PMQ06_02, PMQ_Y y PMQ_MC). Esto se vincula a que hubo periodos de tiempo entre lluvias que evitó que se llevara a cabo deposición húmeda, como también lo mencionan Abdulla y Al-Shareef (2009), así mismo, las muestras de abril se tomaron en las vacaciones de Semana Santa [8-23 de abril (gob.mx, 2016)] en donde hubo un aumento en la afluencia de turismo (SEDETUR, 2017; ASUR, 2017), y, en consecuencia, se infiere un aumento en la afluencia vehicular que afectó la composición fisicoquímica de la precipitación, lo cual también es mencionado por Ospina-Zúñiga y Ramírez-Arcila (2014). Por otro lado, también hubo incendios forestales días previos al muestreo del mes de abril, lo cual se vio reflejado en el aumento de los valores de conductividad, color, turbidez, nitritos, nitratos y PAH, coincidente con lo reportado por Cerón-Bretón *et al.* (2004) quienes vinculan el aumento de nitratos en el agua de lluvia debido a incendios forestales.

Los nitritos se reportaron en menor número de muestras en el agua de lluvia a comparación de los nitratos, lo cual puede deberse a que, en el ciclo del nitrógeno, los nitritos son iones inestables, que fácilmente se oxidan a nitratos (Weiner, 2013), por lo que su presencia en el agua de lluvia fue menor que los nitratos.

De los nueve eventos de precipitación registrados, cuatro reportaron presencia de BTEX (benceno y etilbenceno) y seis presencia de PAH [Acenafteno (Ace), antraceno (Ant), fluoranteno (Fla), pireno (Pyr), benzo(a)antraceno (BaA), criseno (CHR), benzo(a)pireno (BaP), benzo(b)fluoranteno (BbFA), benzo(g, h, i)perileno (Bghi), naftaleno (Nap)]. Se sugiere que este enriquecimiento esté relacionado principalmente con los residuales de los motores de combustión, es decir, el alto uso del transporte que genera gases de combustión, como lo menciona Duan y Li (2017), Mastandrea *et al.* (2005) y He y Balasubramanian (2010). Otros eventos que también contribuyen con este tipo de residuales son los incendios forestales o la quema de residuos sólidos

(Fernández, Yarto y Castro, 2004; Calvo, Molina y Salvachúa, 2009; Duan y Li, 2017). Se ha reportado la presencia de compuestos orgánicos en otros estudios, como son los llevados a cabo por Mullaugh *et al.* (2015) y Šoštarić *et al.* (2017) en donde identifican BTEX en el agua de lluvia, mientras que Gaga, Tuncel y Tuncel (2009), He y Balasubramanian (2010) y Ponce de León *et al.* (2013) reportan la presencia de PAH.

La presencia de BTEX y PAH en el agua para uso humano es de suma importancia, debido a su alta peligrosidad para la salud humana, ya que puede afectar el sistema respiratorio, neuronal y cardiaco, además de que algunos de estos compuestos poseen un alto potencial carcinogénico y teratogénico (OMS, 2006). La OMS considera peligrosos estos compuestos a partir de 0.011 mg/l en PAH, 0.010 en Benceno, 0.700 mg/l en tolueno, 0.300 mg/l en etilbenceno y 0.500 mg/l en xileno. Cabe recalcar que los límites de detección de los equipos utilizados en este estudio sobrepasan los límites de referencia de los compuestos orgánicos encontrados (>0.020 mg/l para PAH y >0.400 para benceno y etilbenceno), por lo que su detección podría representar un peligro si es utilizada como agua potable.

Estos compuestos orgánicos también se han detectado en otro tipo de aguas naturales, como es el caso del estudio hecho por Medina-Moreno *et al.*, quienes encontraron compuestos orgánicos, entre ellos PAH y BTEX, en los cenotes del estado de Quintana Roo, los cuales son vinculados con el aumento de la afluencia vehicular debido al turismo en temporadas vacacionales.

Desde el punto de vista bacteriológico, los coliformes totales se pudieron apreciar con una gran variación de valores en los eventos de lluvia colectada, lo cual puede ser atribuido a múltiples factores como, por ejemplo, la ubicación de las viviendas con respecto a fuentes de contaminación (De La Rosa, Mosso y Ullán, 2002); la localización del colector con respecto al suelo, ya que según De La Rosa, Mosso y Ullán (2002), los microorganismos se encuentran en mayores densidades en los dos primeros metros de la atmósfera, partiendo desde la superficie terrestre; las condiciones circundantes,

como la dirección e intensidad del viento (partículas que puedan ser más fácil levantadas por el viento como en donde existe piso de tierra en lugar de cemento) (De La Rosa, Mosso y Ullán, 2002); la presencia de animales que puedan contribuir con contaminación fecal; las condiciones de higiene en la vivienda del usuario, sobre todo si cuentan con la presencia de letrinas o defecación al aire libre, pues como menciona Duncan (2017), cuando existe defecación al aire libre las bacterias contenidas en las heces se dispersan en el ambiente circundante; así mismo, Bach *et al.*, (2002) afirman que cuando hay materia fecal presente en el ambiente los microorganismos pueden ser dispersados por la lluvia y el viento. Además de lo anterior, el manejo inadecuado del colector y/o la muestra también podría contribuir a su detección.

Los resultados obtenidos con respecto a la presencia de coliformes totales en todas las muestras de precipitación colectada concuerdan con lo descrito por De la Rosa, Mosso y Ullán (2002) y con lo reportado por Ospina-Zúñiga y Ramírez-Arcila (2014), Lee *et al.* (2009) y Kaushik, Balasubramanian y Dunstan (2014) donde estos microorganismos también se presentan por proceso de arrastre en la precipitación. En el caso de evidencia fecal (basada en la presencia de *E. coli*) los resultados indican ausencia de *E.coli* como también lo demuestra García (2012), y a diferencia de lo reportado por Lee *et al.* (2009) en donde sí se detecta la presencia de *E. coli* en agua de lluvia. Cabe destacar el estudio realizado por Kaushik, Balasubramanian y Dunstan (2014), en donde identifican tanto coliformes totales, como *E. coli* en agua de lluvia directa, además de otras especies de bacterias potencialmente patógenas de los géneros *Enterococcus*, *Flexibacter*, *Victivallis*, *Anaplasma*, *Novosphingobium*, *Lautropia*, *Ralstonia*, *Aquamonas*, *Limnohabitans*, *Shlegelella*, *Paucimonas*, *Rheinheimera*, *Tatlockia*, *Moraxella*, *Streptomyces*, *Candidatus Aquirestis*, *Bradyrhizobium*, *Candidatus Pelagibacter*, *Burkholderia*, *Polynucleobacter*, *Acidovorax*, *Lampropedia*, *Rhodoferax*, *Janthiobacterium*, *Dechloromonas*, *Plesiomonas* y *Acinetobacter*.

En suma, el proceso de precipitación pluvial es el inicio de la adquisición de elementos disueltos en el agua que, como se ha mencionado, se presenta por el denominado

proceso de enriquecimiento. De esta manera situaciones que generen gases, humos, partículas suspendidas son disueltas en el agua precipitada (Canales, 2015). Así, la ocurrencia de incendios forestales, la afluencia vehicular, la cercanía o lejanía de la costa, las actividades antropogénicas, la actividad biológica, etc., las cuales liberan a la atmósfera gases, partículas y microorganismos que son dispersados de acuerdo con la velocidad e intensidad de los vientos, impacta directamente en las características fisicoquímicas y bacteriológicas del agua de lluvia (Calvo, Molina y Salvachúa, 2009; Carroll, 1962). Estas características pueden variar en función del número y frecuencia de las fuentes de estas sustancias; de la ubicación geográfica del evento de precipitación, así como de los periodos de precipitación de lluvia (Carroll, 1962; Calvo, Molina y Salvachúa, 2009; Canales, 2015) que es lo que se ve reflejado en el presente estudio. Como ejemplo, se sugiere que la dirección del viento, proveniente principalmente del Este, es decir desde la costa hacia el continente, puede tener repercusiones en el lado oeste de la carretera federal 307 Cancún-Tulum, por donde hay una alta afluencia vehicular, ya que la quema de combustible fósil genera diferentes compuestos como NO_x, PAH y BTEX (Calvo, Molina y Salvachúa, 2009), que pueden afectar la calidad del agua de lluvia, como ya lo reportaron Abdulla y Al-Shareef (2009), Gaga, Tuncel y Tuncel (2009) y He y Balasubramanian (2009). Por otro lado, la incidencia de un evento específico de incendio forestal se vio reflejado en la muestra PMQ06_02 del 19 de abril de 2017, en donde los vientos predominantes en esas fechas fueron del Este-sureste. Cerón-Bretón *et al.* (2004) también reportaron la modificación de las características fisicoquímicas de la precipitación a causa de incendios forestales y dirección del viento en la localidad de Puerto Morelos.

8.1.2. Condiciones del agua durante su almacenamiento

El almacenamiento de la precipitación atmosférica implica el contacto del agua con superficies de diferentes tipos de materiales (concreto, plástico, metal) que pueden contener partículas provenientes tanto de los materiales mencionados, como del ambiente y que pueden enriquecer o modificar la composición del agua. Esto se observa en los estudios realizados por Han, *et al.*, 2004; Kim *et al.*, 2005; Lee *et al.*,

2009; Achadu, Ako y Dalla, 2013. En el presente estudio se puede confirmar lo anteriormente mencionado, pues se evidencia que las características del agua de lluvia se modifican en el proceso de almacenamiento, como se puede apreciar en la figura 14 (A-H). Para ello, autores como Adeniyi y Olabanji, 2005, Abdulla y Al-Shareef (2009) y Achadu, Ako y Dalla (2013) recomiendan realizar un tratamiento adecuado en caso de utilizarse para consumo humano, sin embargo, aseguran que el agua sin tratamiento puede ser utilizada para otros usos no potables.

Dentro de los resultados obtenidos destacan dos muestras de almacenamiento con valores superiores al resto o valores máximos detectables en varios parámetros; la primera fue del día seis de mayo de 2017 (PMQ_P_AL), la cual destacó en pH (6.83), alcalinidad (202.670 mg/l CaCO₃), conductividad eléctrica (809.000 μs/cm), nitratos (8 mg/l) y coliformes totales (2419.6NMP/100 ml). En este caso se tiene la influencia de las condiciones de colecta y almacenamiento del voluntario, quien las lleva a cabo por medio del techo de su vivienda, el cual es de lámina cubierto con un material plástico grueso y sobre este hay copas de árboles de los cuales puede caer hojarasca, excremento de aves, partículas orgánicas, entre otros. Lee *et al.* (2009), Ahmed, Gardner y Toze (2010) y Achadu, Ako y Dalla (2013) también afirman que la influencia de agentes externos (polvo, materia orgánica, excrementos de animales, polución antropogénica, etc.) contribuye a modificar la calidad del agua captada, para lo cual menciona la importancia de mantener limpias las superficies de colecta.

La segunda muestra que presenta valores fuera del rango del resto de las muestras fue del nueve de junio de 2017 (PMQ_CA_AL_02), la cual contiene los valores más altos para pH (6.970), conductividad eléctrica (1162.000 μs/cm), color (189.000 UCV), turbidez (16.000 UNT), nitritos (2.040 mg/l), nitratos (45.000 mg/l), y los valores máximos detectables para coliformes totales (2419.600 NMP/100 ml); lo cual se debió a las condiciones de almacenamiento que tenía la persona voluntaria, ya que comentó que tenía tierra en el techo de su vivienda, la cual ocuparía para sus plantas, y que, al momento del evento de precipitación, fue parcialmente arrastrada hacia los

contenedores de almacenamiento, manifestándose en valores sobresalientes en los siete parámetros. Además de esta situación, se observó que los contenedores se encuentran abiertos y expuestos, por un lado, a la intemperie, lo cual permite la deposición seca y húmeda (Calvo, Molina y Salvachúa, 2009) en los contenedores de almacenamiento, así como la entrada de materia orgánica y otras partículas que pueden propiciar la modificación de la calidad del agua (Lee *et al.*, 2009; Ahmed, Gardner y Toze, 2010 y Achadu, Ako y Dalla, 2013); y, por otro lado, los contenedores se encuentran expuestos a la luz solar, que propicia el crecimiento algal y otros tipos de actividad biológica (Mosley, 2005). Nuevamente se destaca la importancia del mantenimiento de las superficies de captación mencionadas por Lee *et al.* (2009), Ahmed, Gardner y Toze (2010) y Achadu, Ako y Dalla (2013).

La presencia de BTEX en agua de lluvia colectada y almacenada es prácticamente proporcional en ambos tipos de muestras, ya que se encuentran en 50% de las muestras de lluvia colectada y en el 44% de las muestras de agua almacenada, esto podría deberse a que los BTEX son ligeramente solubles en agua (Srijata y Pranab, 2011), lo cual podría mantenerlos por cierto tiempo en esta. Mientras que los PAH decrecientan su presencia en el agua de lluvia almacenada, de 56% en las muestras de agua colectada a 25% en las de agua almacenada, este decremento podría deberse a dos posibles causas diferentes, la primera es que los PAH son insolubles en agua y se volatilizan (Fernández, Yarto y Castro, 2004), sin embargo, los de mayor tendencia a la volatilización son los de menor peso molecular (Pérez-Morales, Morales y Haza, 2016), y en este estudio la presencia de naftaleno (PAH con el menor peso molecular) fue el PAH que se observó tanto en las muestras de lluvia colectada, como las de lluvia almacenada. Por otro lado, los PAH de mayor peso molecular tienden a adsorberse a ciertas partículas, las cuales podrían estar suspendidas en el agua de lluvia almacenada, por lo que quizás los PAH de mayor peso molecular detectados en las aguas de lluvia colectada fueron adsorbidos por partículas arrastradas en el proceso de almacenamiento (Fernández, Yarto y Castro, 2004), precipitándose con estas al fondo de los contenedores y no siendo detectados.

Bacteriológicamente se aprecia un aumento en las densidades de coliformes totales en el agua de lluvia almacenada (Tabla 10, figura 14 H), como también lo reportan Lee *et al.*, (2009) al evaluar coliformes totales en agua de lluvia directa y agua almacenada, sin embargo, no coincide en los resultados para *E. coli*, ya que Lee *et al.* (2009) sí registran su presencia en agua de lluvia colectada, más no en la almacenada, mientras que en el presente estudio no se detecta en ningún tipo de lluvia. Cabe mencionar que existen pocos estudios que comparen los aspectos bacteriológicos del agua de lluvia directa con el agua de lluvia almacenada, sin embargo, para estudios que se han realizado por separado, se observan hallazgos contrarios, por ejemplo, García (2012) no detecta coliformes totales en agua de lluvia colectada, mientras que Ospina-Zúñiga y Ramírez-Arcila (2014) sí los detectan en todas sus muestras. Por otro lado, estudios realizados para agua de lluvia almacenada, Han *et al.*, (2004), Kim *et al.*, (2005), Abdulla y Al-Shareef (2009) y Achadu, Ako y Dalla (2013) sí reportan presencia de coliformes totales. En cuanto a *E. coli* en agua de lluvia almacenada, existen algunos estudios que detectan su presencia, por ejemplo, los realizados por Kim *et al.* (2005), Despins, Farahbakhsh y Leidl, (2009) y Achadu, Ako y Dalla (2013).

Existen otros estudios que describen más ampliamente la presencia de otras bacterias patógenas, como el estudio realizado por Adeniyi y Olabanji (2005) en donde evalúan la presencia de bacterias patógenas tanto en agua de lluvia colectada directamente, como en agua de lluvia colectada en techo. En el primer caso se identificaron *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella ozoenae*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas pseudomallei* y *Actinomyces bovis*. Mientras que en agua de lluvia de escurrimiento de techo se identificaron *Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas povonacea*, *Pseudomonas pseudomallei*, *Klebsiella edwardsii*, *Klebsiella ozoenae*, *Klebsiella pneumoniae* y *Proteus morganella*. Este último estudio, junto con el realizado por Kaushik, Balasubramanian y Dunstan (2014) para agua de lluvia directa, demuestran que no es suficiente evaluar los parámetros de coliformes fecales y *E. coli*

para determinar su idoneidad para uso potable, ya que puede haber bacterias e incluso otros microorganismos que puedan afectar la salud humana.

8.1.3. Calidad del agua de lluvia con respecto a sus usos a nivel doméstico.

La calidad del agua se refiere a la idoneidad del recurso hídrico para ser empleado en ciertos usos, ya que cada uso tiene requerimientos específicos de características físicas, químicas y bacteriológicas del agua (Bartram y Ballance, 1996; Daniels *et al.*, 2017). Generalmente la calidad del agua se determina haciendo la comparación de las características del agua a evaluar, con referencias de calidad establecidas por organismos internacionales y por normatividad en cada país (UN WATER, 2015).

Los resultados obtenidos a partir del análisis de calidad del agua de lluvia colectada (eventos directos) y el agua de lluvia almacenada, con respecto a las referencias de calidad tanto internacional como nacionales, indican que ésta no puede ser utilizada como agua potable, como también lo reportan Adeniyi y Olabanji (2005), Fewtrell y Kay (2008), Abdulla y Al-Shareef (2009) y Achadu, Ako y Dalla (2013), quienes de acuerdo a diferentes parámetros, que obtuvieron fuera de los valores de referencia de las Guías para la calidad del agua potable de la OMS (coliformes fecales, metales pesados, color, sólidos totales disueltos, entre otros), aseguran que el agua de lluvia no puede ser utilizada como agua potable sin un tratamiento previo. Así mismo, al igual que en el presente estudio, recomiendan el agua de lluvia para usos no potables. Algunos de estos usos pueden ser el riego de plantas, la limpieza de la vivienda, el uso en el escusado, el lavado de autos, entre otros.

Cabe mencionar que en México no existe normatividad que indique la calidad del agua para usos no potables, lo cual también es mencionado por Fewtrell y Kay (2008) para Reino Unido, quienes afirman que cuando el agua se emplea para usos no potables no existe un control de calidad del agua.

8.2. Aspectos sociales

De acuerdo con el censo poblacional de INEGI de 2010 (b) se estimaba que el 69.86% de la población de Puerto Morelos pertenece a otros estados de la República o a otros países. Dentro de los resultados obtenidos en este estudio se confirma la alta presencia de migración, pues se registra que el 95% de los usuarios de agua de lluvia provienen de otros estados o del extranjero. Esto se debe a que el estado de Quintana Roo es el centro migratorio más destacado en el sur del país (González, 2006), reportándose como el segundo estado con una de las mayores tasas de migración (INEGI, 2011), gracias a su actividad turística y a la gama de opciones de empleo que esto conlleva. Sin embargo, la gran afluencia migratoria también provoca una demanda de empleos, infraestructura, educación, servicios de salud y servicios públicos (Vanegas, 2004), los cuales debido a la alta tasa de migración (5.6% anual) no pueden ser abastecidos al mismo ritmo (Calderón, Campos y Jiménez, 2012).

Los resultados de las encuestas muestran que la captación de agua de lluvia puede representar una alternativa de suministro de agua para estos inmigrantes, en la cual debido a sus distintas procedencias existe un amalgamamiento de conocimientos, saberes y percepciones en el manejo del agua de lluvia. Pudiendo interpretarse que la heterogeneidad de percepciones, opiniones y formas de manejo del agua de lluvia como la diferencia y mezcla de la diversidad cultural son debido a la migración (Aviña, 2007).

Así mismo, estos resultados de heterogeneidad de las percepciones coinciden con lo encontrado por Aledo, Ortiz y Domínguez (2006), pues en ambos casos de estudio se concluye que las percepciones de los usuarios con respecto al recurso hídrico dependen de circunstancias individuales y no por la pertenencia a un grupo con ideales específicos. Esta situación, en apariencia, podría representar un obstáculo para la implementación de sistemas de captación, ya que la localidad tiene casi un 70% de población proveniente de otros estados o países (INEGI, 2010b) en donde la educación, las culturas y por lo tanto las percepciones son diferentes, sin embargo, la utilidad de

los estudios sociales sobre percepción permiten conocer estos aspectos y, a partir de estos, poder abordar la temática de la captación del agua desde diferentes perspectivas que impacten a los usuarios potenciales.

En este sentido, durante las encuestas se pudo percibir que las personas provenientes de la Ciudad de México, en general, tenían una perspectiva diferente del entorno y del recurso, pues varias comentaron que en la Ciudad de México la escasez de agua es un tema primordial y crítico, por lo que la conciencia sobre el recurso es mayor, además de que se está promoviendo actualmente la captación de agua de lluvia tanto en la Ley de Aguas del Distrito Federal (Asamblea Legislativa del Distrito Federal, 2003), como en el Programa de Gestión Integral de los Recursos Hídricos (Gobierno del Distrito Federal, 2012), y a través del programa “Agua a tu casa CDMX” (SEDESOL, 2017). Las personas provenientes de la Ciudad de México, al tener esta perspectiva podrían representar agentes de cambio en la localidad en caso de realizarse la promoción e implementación de sistemas de captación de agua de lluvia, ya que estos agentes de cambio, debido a su comportamiento y conocimiento, pueden propiciar cambios positivos en el resto de la población (Ruiz, 2012).

Por otro lado, las personas del estado de Yucatán encuestadas en este estudio hicieron alusión a la captación de agua de lluvia como una tradición en su localidad de origen o como costumbre en sus familias de origen, lo cual podría ser respaldado por el hecho de que en la región esta práctica se ha llevado a cabo desde la época de la cultura maya (Chávez, 2016).

En el presente trabajo el ambiente fue apreciado desde dos perspectivas diferentes: la primera con un enfoque paternalista y/o tendiente a comunalista (Descola y Pálsson, 2001), en donde el ambiente debe ser cuidado por el ser humano o el ser humano debe tratar de integrarse él de la forma más generosa posible, en este caso, a través de la captación de agua de lluvia. Aquí los discursos pro-ambientales y de sustentabilidad se hacen presentes. La segunda perspectiva se da bajo una visión orientalista (Descola y

Pálsson, 2001) en donde se trata de aprovechar el recurso de la lluvia ya sea por necesidad, por ahorro, por costumbre, etc. en la que no es tan importante el cuidado del recurso, sino la satisfacción de una necesidad a través de un elemento que se presenta por medio de un fenómeno natural. Por lo general, el primer enfoque se pudo apreciar con personas que residen en los fraccionamientos, en la Zona Urbana, y en la Zona de Costa, mientras que el segundo enfoque se observó principalmente en las colonias La Fe, Zetina Gasca y Pescadores.

Dentro de las posturas del grupo encuestado, aunque existen ocho comentarios negativos o condicionados (16.7%), lo que prevalece es la postura positiva con respecto al agua de lluvia y su captación. Y esto obedece a que su práctica no fue algo impuesto por alguna institución u organización externa, sino algo que los usuarios realizan por conocimiento y convencimiento propio. Algunos estudios en donde también se aprecia la postura positiva con respecto al agua de lluvia (aunque no necesariamente por la razón anteriormente descrita) son en los realizados por Bosibori (2013), Ward *et al.* (2013), Chandra (2015) y Fuentes-Galván *et al.* (2015).

Culturalmente, la captación de agua de lluvia se vio resaltada en personas procedentes de comunidades rurales agrícolas y de la capital del estado de Yucatán (con un total de seis personas), las cuales representan el 75% de las personas que mencionaron la captación como una tradición en sus lugares de origen o como costumbre en sus familias de origen. Lo cual podría estar relacionado con la transmisión de la práctica de recolección de agua de lluvia desde la época prehispánica, como es mencionado en el libro *El manejo del agua a través del tiempo en la Península de Yucatán*, en donde se describe a detalle cómo se ha administrado el agua, la significación, la cultura, y las relaciones de las personas con el recurso hídrico a lo largo de la historia, desde la época Precolombina, hasta la actualidad (Chávez, 2016).

Los comentarios sobre la percepción de la calidad del agua de lluvia en su mayoría fueron acerca de la buena calidad (72.5%), ya sea con relación al agua potable o al

agua de pozo, mientras que los comentarios sobre la calidad deficiente o mala fueron escasos (27.5%). A diferencia de estos resultados, Chandra (2015) reporta en su estudio que los usuarios de agua de lluvia en Daugha, Nepal consideran el agua apropiada para beber, aunque más del 80% la hierven antes de consumirla. En el presente estudio se pudo observar una cierta discrepancia en las opiniones de varios de los encuestados, ya que opinaban que el agua de lluvia era de buena calidad, sin embargo, en comentarios posteriores opinaban que solo era buena para ciertos usos y que en su mayoría no la beberían o la ocuparían para cocinar, a menos de que se le diera algún tratamiento previo. En México, aunque existen organismos o empresas privadas que distribuyen el agua potable en las ciudades, la percepción de la gente con respecto a la calidad de esta agua para su consumo es de desconfianza (Pacheco-Vega, 2015). Las plantas potabilizadoras poseen la fama de un funcionamiento deficiente y por lo tanto una mala calidad del agua. Por otro lado, se ha desarrollado la industria del agua embotellada, en donde se garantiza el correcto tratamiento del agua para su consumo (Pacheco-Vega, 2015). Esta podría ser una de las razones por las cuales la gente desconfía de la calidad del agua de lluvia, pues percibe como necesario el procesamiento y tratamiento del agua para poder ser consumida o incluso tener contacto con ella.

Aunque aparentemente la mayoría de los encuestados (71.7%) mencionaron que no les preocupaba nada con respecto a la cosecha de agua, esta preocupación se hizo evidente dentro de otros comentarios. Las preocupaciones más sobresalientes son respecto a la calidad del agua, pues no todos están seguros de que sea agua totalmente pura como se mencionó anteriormente, y dicha opinión se mantuvo latente en ambos grupos. Ward *et al.* (2013) también observó de manera indirecta la preocupación tanto de usuarios como de no-usuarios, acerca de la calidad del agua de lluvia, ya que respondieron que entre mayor sea el contacto con el agua, es menor el número de encuestados que emplearía el agua de lluvia para tales usos. Por el contrario, la percepción que reportó Chandra (2015) entre usuarios de agua de lluvia, fue de aceptación del agua de lluvia para ser utilizada como agua potable.

Los usuarios del agua de lluvia, al tener una postura positiva y una percepción de la buena calidad del agua de lluvia, realizaron una mayor cantidad de comentarios (72.6%) acerca de las ventajas que tiene el agua de lluvia y su captación, destacando la seguridad hídrica, la cual se distinguieron tres tipos: a) autonomía de suministro (para quienes cuentan con este servicio), tener control sobre la calidad del recurso, y también, en cierta medida, tener un ahorro económico; b) Seguridad ante contingencias, para aquellos con acceso a agua subterránea a través de un pozo y en caso de alguna contingencia, principalmente huracanes, les sería imposible extraer el agua de tal fuente, por lo que el agua de lluvia le da la seguridad de poseer una fuente diferente de abastecimiento de agua; y c) Seguridad ante desabasto por cortes de agua (tandeo o falta de pago) o luz (apagones) que no permiten tener acceso al recurso; dichos tipos concuerdan con la definición de Martínez-Austria donde indica que la seguridad hídrica es: “aquella que garantiza agua suficiente en calidad y cantidad para los diversos usos, a precios asequibles y en equidad, así como la protección de las personas y sus bienes ante fenómenos hidrometeorológicos extremos” (2013: 165).

Otra de las ventajas mencionadas fue sobre el ahorro económico que representa el captar agua de lluvia, lo cual es una de las variables positivas mencionadas por Ward *et al.* (2013) para generar aceptabilidad y disposición en la implementación de sistemas de captación de agua de lluvia.

La viabilidad de la implementación de la captación de agua de lluvia fue mencionada tanto por usuarios con sistemas simples, como por usuarios con sistemas complejos, lo cual podría ser un indicador de que la factibilidad de llevar a cabo captación de agua de lluvia no depende de la afluencia económica de las personas, por el contrario, se encontró mayor cantidad de usuarios con sistemas simples (75%), que con sistemas complejos (23%), lo que indica que la práctica depende de otras características como cultura, conocimientos, costumbres, necesidades, etc., a diferencia de lo encontrado por Ward *et al.* (2013), quienes reportan que el costo de implementación y mantenimiento de los sistemas de captación es uno de los principales problemas que

los encuestados mencionan sobre la captación del agua de lluvia. Lo que sí depende del aspecto económico es la capacidad de almacenamiento que cada usuario pueda tener, pues no todos están en la misma posibilidad de poder conservar grandes cantidades de agua, ni por periodos prolongados de tiempo, en este sentido los usuarios con sistemas complejos tienen esta ventaja, ya que los contenedores de almacenamiento son de mayor capacidad (tinacos o cisternas). Así mismo, la seguridad hídrica depende directamente de la economía y, por lo tanto, tendrá mayor posibilidad de tener seguridad hídrica quien puedan almacenar grandes cantidades de agua por periodos largos, de tal forma que puedan satisfacer sus necesidades entre periodos de lluvias, sin recurrir o recurriendo lo menos posible al agua de la red pública o al agua de pozo. Las percepciones sobre la viabilidad de la captación de agua de lluvia difieren de algunos estudios de viabilidad en donde se estiman costos para emplear sistemas complejos como los llevados a cabo por García (2012) y Gay (2008), sin embargo, no se toman en cuenta las formas simples de captación, en donde los costos se reducen debido al tipo de materiales que se utilizan, en este caso cubetas y tambos, que si bien no son la opción más sofisticada, también pueden ofrecer solución inmediata a la carencia del recurso.

De las desventajas percibidas por los usuarios, en una se tiene similitud con los datos encontrados por Ward *et al.* (2013), en cuanto la problemática de darle mantenimiento al sistema, mientras que, por otro lado, no coinciden con las percepciones registradas por Bosibori (2013), en donde los principales obstáculos de implementación son la intensidad de trabajo para construir el sistema, la carencia de conocimiento para su instalación y la falta de información, ya que en este último el enfoque era para sistemas complejos. Sin embargo, en el caso específico de Puerto Morelos, al ser la captación simple la forma más utilizada (75%), ésta no requiere de un conocimiento altamente especializado, ni trabajo intenso para construir el sistema. Lo cual podría significar una ventaja en caso de querer promover este tipo de sistemas simples.

El nivel de fidelidad mostró que los usos más frecuentes del agua de lluvia son similares a los reportados por Ward *et al.* (2013), quienes identificaron ocho usos (uso en exteriores, riego de jardín, lavado de autos, baño para animales, lavado de ropa, higiene personal, usos ingeribles (como el lavado de verduras y para beber), así mismo en ambos estudios se obtuvieron respuestas similares en cuanto la mayor aceptación entre unos usos y otros, es decir que entre mayor fuera el contacto del agua con el individuo menor es su aceptación, ya que no se tiene certeza de los riesgos que podría conllevar el contacto con la piel o con el interior del cuerpo humano. Cabe mencionar que las personas que utilizan el agua para cocinar o beber, lo hacen principalmente porque lo acostumbraban en sus lugares de origen.

El valor de uso contrastado con el sexo, la edad, la colonia, el nivel educativo, el lugar de procedencia y la forma de captación obtuvo valores muy bajos de correlación, todos entre -0.181 y 0.209, lo cual indica que no existen patrones sobre el número de usos con respecto a tales variables, nuevamente se corrobora la heterogeneidad de los usuarios debido a sus diferentes lugares de procedencia y por lo tanto la diversidad de ideologías, percepciones, conocimientos, etc. (Aviña, 2007).

Las formas de captación que se encontraron fueron variadas, desde las formas más simples a través de cubetas y tambos, ya sea colocadas directamente a la lluvia, o en escurrimientos de techos e incluso con sábanas sujetadas a manera de embudo, hasta formas complejas con superficies en los techos planeadas para la captación, tuberías, filtros, bombas y cisternas con capacidades de hasta 50,000 litros. Generalmente la literatura se enfoca en estos últimos (OPS, CEPIS y COSUDE, 2004; Mosley, 2005; FAO, FIDA y Confederación Suiza, 2013); sin embargo, también se menciona, aunque en proporción mínima, el uso de la captación simple (Adeniyi y Olabanji, 2005; Achadu, Ako y Dalla., 2013), lo cual en este estudio es la forma más usual.

El hecho de que poco más de la mitad de los usuarios (53%) no utilice filtros para limpiar el agua puede deberse a varias razones, la primera debido a que utilizan el agua

para el riego de plantas, limpieza de pisos, y/o uso en el escusado, lo cual no requiere que el agua se encuentre totalmente limpia (Adeniyi y Olabanji, 2005; Fewtrell y Kay 2008; Abdulla y Al-Shareef, 2009 y Achadu, Ako y Dalla,2013), así mismo puede ser que las personas consideren que no requiere de limpieza, pues el 57% menciona que el agua recolectada viene limpia, así también, quienes colectan agua de escurrimientos de techo normalmente dejan que pasen las primeras lluvias, ya que por experiencia empírica conocen los procesos de deposición seca y húmeda que pueden provocar el arrastre de partículas que inducen la mala calidad del agua (Kim *et al.*, 2005), es decir, cuando empieza a llover dejan que corra el agua por cierto tiempo (no especificado) y después colectan el agua más limpia, teniendo así una menor probabilidad de ingreso de partículas gruesas como hojarasca o tierra. Han y Han (2002) incluso hacen la recomendación de dejar pasar las primeras lluvias antes de coleccionar el agua, para evitar la mala calidad del agua, sea cual sea el uso que se le vaya a dar.

Los materiales de contenedores de almacenamiento más utilizados fueron de plástico y mampostería (92%), que coinciden con dos de los materiales más utilizados en Wukari, Nigeria, según el estudio realizado por Achadu, Ako y Dalla en 2013, de acuerdo con sus resultados, ellos afirman que los tanques de plástico y mampostería son la mejor opción para el almacenamiento de agua de lluvia, a diferencia de los tanques de metal, en los cuales encontraron la presencia de cobre y hierro por arriba de los límites de referencia de la OMS.

Se encontró una gran variabilidad en las capacidades de almacenamiento, puesto que los contenedores van desde una cubeta de 20 litros hasta cisternas de 50,000 litros. A diferencia de lo encontrado por Chandra (2015), quien documentó que dentro de la localidad de Daugha en Nepal tenían tres capacidades de almacenamiento principales: 2,000, 4,000 y 6,500 litros y en menor proporción capacidades de entre 15,000 a 85,000 litros. Esto se debe a que las organizaciones que implementaron esta tecnología promovieron la construcción de tamaños específicos de contenedores, mientras que en

la localidad de Puerto Morelos es una práctica llevada a cabo de manera individual sin ningún tipo de promoción o apoyo externo.

Por otro lado, el tiempo de almacenamiento va ligado a las capacidades de almacenamiento, y siendo una gran mayoría que la capta de forma simple (tambos y cubetas) el tiempo de retención es menor que el de quien tiene capacidades de cientos o miles de litros, para los cuales, el agua puede durarles todo el año. A partir de esto, se puede deducir que la calidad del agua de lluvia está relacionada con varios factores: el tipo de captación, la limpieza del sistema, el tiempo de almacenamiento y el manejo del recurso, lo cual coincide con lo mencionado por Sule, Agbabiaka y Akomolafe (2011) quienes afirman que la calidad del agua en un tanque de almacenamiento depende de la fuente donde se extrajo y de la manipulación y mantenimiento del tanque por los usuarios.

Con respecto a las formas de abastecimiento de agua principales, es importante destacar que dentro de las personas de la Colonia La Fe, algunas notificaron que en sus casas no tenían pozo, pero que sus vecinos les compartían agua de los suyos, por lo que recurrían a la cosecha de agua de lluvia. El costo por litro de agua en lugares donde existe red de agua potable es de \$0.01319, un precio mucho menor al costo que tiene el solicitar una pipa de agua, en donde, de acuerdo con la información que aportó un encuestado, el costo depende de la cantidad de agua solicitada y va de \$0.0889 a \$0.50 por litro, es decir que, si se está conectado a la red de agua, por 1m^3 se pagan \$13.19, mientras que, si se solicita una pipa, teóricamente el costo por 1m^3 sería de entre \$88.90 a \$500.00. Así, la captación de agua de lluvia en lugares donde no se tiene fácil acceso al agua podría ser una opción viable, como es el caso del estudio realizado por García (2012), en un ecobarrio de la Ciudad de México, en donde, dependiendo de la superficie de captación y el volumen de almacenamiento necesario, se puede ahorrar de un 16% a un 66% de dinero en agua abastecida por pipas. Así mismo, Gay en 2008 llevó a cabo un proyecto piloto de captación de agua de lluvia en la comunidad de la microcuenca de Santa Ana en Guanajuato, en donde estimó un

ahorro de \$20,857.00 anuales, además de un mejoramiento de la calidad del agua y un mejoramiento en la dotación por persona al día.

Conocer los aspectos de saneamiento es importante para tener en cuenta las condiciones probables de contaminación a las que podría estar sujeta el agua tanto del acuífero como la captada de las precipitaciones. Así se encontró que tan solo el 27% de las viviendas están conectadas a la red de drenaje, esto se da en los fraccionamientos Villas Morelos II, Villas La Playa, en la colonia Zetina Gasca y en la Zona de Costa, mientras que en el resto de las colonias la forma más común de deshacerse de las aguas residuales es por medio de fosas sépticas (58%), y en menor medida a través de tratamientos alternativos como biodigestores o humedales artificiales (13%). La situación más crítica es la disposición de los desechos a través de fosas sépticas, ya que en muchos casos los encuestados describieron las formas de construirlas y no son las adecuadas para la disposición de estos residuos, pues se infiltran hacia el subsuelo, en donde la posibilidad de contaminación del acuífero es muy alta, y ya que en su mayoría poseen pozos de abastecimiento en el mismo predio que la fosa séptica, con lo cual podría inferirse que el riesgo de contraer enfermedades es mucho mayor. Esto ya se ha demostrado en estudios como el realizado por Withers *et al.* (2013), quienes concluyen que la mala implementación de las fosas sépticas hace susceptible de contaminación tanto los acuíferos como los cuerpos de agua superficiales, trayendo consecuencias de salud tanto a los ecosistemas como a las poblaciones. Específicamente en la localidad de Puerto Morelos, Hernández-Terrones *et al.*, (2011) realizaron un estudio sobre la contaminación del agua subterránea, encontrando valores de nitratos y coliformes fecales que sobrepasan los valores de referencia nacionales e internacionales para agua potable, atribuyendo su origen a causas antropogénicas de mala disposición de las aguas residuales. Así, con la captación de agua de lluvia, se reduce el riesgo de contaminación del agua debido a la falta de contacto con el suelo, representando de esta manera, una alternativa de suministro de agua para uso doméstico. Esto es respaldado por Mosley, quien afirma que las fuentes de donde se extrae el agua para los sistemas municipales (pozos, ríos y lagos) se

contaminan con relativa facilidad si los desechos humanos de los sistemas de saneamiento o desechos de animales se descargan en la tierra cercana a la fuente de agua, por lo que propone los sistemas de captación de agua como una alternativa de suministro, siempre y cuando tengan un manejo correcto. Un caso de éxito de uso de agua de lluvia como alternativa al uso de agua subterránea, es el caso de la Escuela Primaria Cukhe, en Hanoi Vietnam, donde con anterioridad se invertía en agua embotellada para consumo de los niños, ya que el agua subterránea contenía arsénico, evitando poder potabilizarla. En julio de 2014 se realizó un proyecto para la instalación de sistemas de captación de agua de lluvia en la institución escolar, el cual contaba con un sistema de potabilización. A partir de esto los 300 estudiantes y los 15 maestros que asisten a esta escuela tienen acceso a agua potable, ahorrando alrededor de 150 dólares mensuales por el consumo de agua embotellada (IWA, 2015).

Los encuestados que beben y cocinan con el agua de lluvia aseguraron que no se enferman frecuentemente del estómago, lo cual sería un indicador de contaminación microbiológica del agua. Adeniyi y Olabanji (2005) y Achadu, Ako y Dalla (2013) también reportan que los usuarios en Nigeria consideran que el agua de lluvia es segura para beber, sin embargo, los análisis bacteriológicos apuntaron lo contrario. Así mismo, en este estudio varios consumidores hierven o le dan algún tratamiento de filtración al agua y solo algunos la toman directamente. Aún con esto, aseguran que no enferman del estómago. Chandra (2015) también reporta que la mayoría de los usuarios de agua de lluvia consideran el agua de buena calidad para beber, y que el 80% de ellos la hierven para su consumo, reportando bajos porcentajes de enfermedades diarreicas (9%).

En cuanto a las características de los grupos de usuarios identificados, el grupo A tiene semejanza con el grupo encuestado por Ward, Butler y Memon (2008), en que los niveles educativos que presentaron fueron de medios a altos, y el nivel socioeconómico se infiere que es medio. Ward, Butler y Memon (2008) en su estudio encuestaron personas por correo electrónico para conocer las opiniones y percepciones de usuarios

y no usuarios de agua de lluvia con respecto a este tema, encontrando ocho usuarios en un total de 46 encuestados. Las características de asentamientos del grupo B son similares a las reportadas por García en 2012, en el cual se abordó una zona semiurbana (Santa Rosa Xochiac) con escasez de servicios, entre ellos el de agua potable, como es el caso de quienes habitan en la colonia La Fe y Nuevo Amanecer en Puerto Morelos. Esta característica con respecto a la carencia del servicio de agua potable demuestra la importancia de conocer las características y percepciones de los usuarios para poder proponer, en tal caso, la implementación de la captación de agua de lluvia como alternativa complementaria de suministro.

8.3. Entonces, ¿es la captación de agua de lluvia en la localidad de Puerto Morelos una alternativa complementaria de suministro de agua desde el aspecto de calidad del agua y desde el aspecto social?

Al igual que en el presente estudio, existen muchos trabajos en los que se reporta que el agua de lluvia no es apta para uso potable de acuerdo con su calidad fisicoquímica y bacteriológica, sin embargo, puede ser utilizada para otros usos no potables (Adeniyi y Olabanji, 2005; Fewtrell y Kay, 2008; Abdulla y Al-Shareef, 2009 y Achadu, Ako y Dalla 2013).

Los usos domésticos del agua de lluvia en la localidad de Puerto Morelos, como se observó en el apartado 7.2.2.6, de manera general, tiende a concordar con la calidad del agua evaluada, ya que el 82% de los encuestados la utiliza para regar plantas, el 65% para limpieza de la casa, el 58% para el escusado y el 57% para lavado de ropa. Sin embargo, un 47% la utiliza para la higiene personal y, un 18% le da un uso potable, lo cual no está acorde con la calidad del agua evaluada en el presente estudio. Sin embargo, para consumo humano normalmente las personas afirmaron que por lo menos hierven el agua, lo cual concuerda con lo reportado por Chandra (2015) y Abdulla y Al-Shareef (2009), en donde afirman que en ciertas comunidades rurales llevan a cabo este tratamiento previo para su uso potable. Las opiniones y percepciones de los usuarios en este estudio, en donde el 98% recomendaría el agua de lluvia para

su uso, concuerdan con las opiniones y percepciones de los encuestados en los estudios realizado por Ward *et al.* (2013) y Fuentes-Galván *et al.* (2015), en donde, tanto usuarios como no usuarios mostraron una postura positiva con respecto a la captación de agua de lluvia.

Así mismo, los usos más aceptados en Puerto Morelos (riego de plantas 82%, limpieza de la casa 65%, escusado 58%, lavado de ropa 57%, higiene personal 47% y cocinar/beber 18%) son semejantes a los reportados por Ward *et al.* (2013), en donde el uso en jardines obtuvo un 82% de aceptación y el uso para beber un 12%. Por otro lado, también concuerda con las percepciones de los no-usuarios encuestados por Fuentes-Galván *et al.* (2015), quienes preferirían utilizar el agua de lluvia para la limpieza de la casa y el riego de plantas y no la usaría para la higiene personal y el consumo humano. Observando las mismas tendencias de uso, en donde entre mayor contacto exista con el agua es menor el grado de aceptación para su uso, ya que el riesgo para la salud aumenta.

Esto demuestra que la percepción de los usuarios de agua de lluvia con respecto sus usos tiende a concordar con la calidad del agua, pues si bien no comprueban por medio de instrumentos las características fisicoquímicas del agua de lluvia colectada, sí tienen un conocimiento informal sobre el fenómeno y cómo las condiciones del ambiente y del sistema de captación pueden afectar la calidad del agua para ciertos usos, en este caso, entre el uso tenga mayor contacto con la piel o el interior del cuerpo, el agua es menos empleada para tales fines.

De esta forma, el agua de lluvia en la localidad de Puerto Morelos podría representar una alternativa de suministro de agua para ciertos usos domésticos, tomando en cuenta que su calidad no es la adecuada para uso potable ni para su uso con contacto directo extensivo. Por otro lado, el aspecto social muestra que las opiniones y percepciones de los usuarios, aunque son heterogéneas, concuerdan en su postura positiva con

respecto al uso de agua de lluvia, por lo que su implementación podría ser factible en la localidad.

9. CONCLUSIONES

De acuerdo con los objetivos planteados se concluye lo siguiente:

La calidad tanto del agua de lluvia colectada como la del agua almacenada no cumplen con las recomendaciones de las Guías para la Calidad del Agua Potable de la OMS; así como con las normas de referencia: NOM-127, la NOM-201, ni la NOM-245, por lo que no son adecuadas para uso potable ni para uso con contacto directo extensivo.

Acerca del aspecto social, se puede decir que la migración juega un papel importante en el manejo del agua de lluvia, ya que como se reportó anteriormente, ésta influye en las opiniones, percepciones y formas de manejo del agua captada y almacenada, como consecuencia de la heterogeneidad en las características sociodemográficas.

Se encontró que para el 55% de los usuarios, su percepción y forma de uso es concordante con los resultados obtenidos para la calidad del agua.

De esta manera, la captación de agua de lluvia no puede considerarse a la ligera como una alternativa complementaria de suministro, dado que su uso requiere la aplicación de normas que avalen su calidad y a este respecto hemos concluido que la calidad tanto del agua de lluvia colectada como almacenada no cumplen con las normatividades citadas en este estudio. Con respecto a la parte social se puede decir que la percepción con respecto a la calidad del agua es parcialmente concordante con la calidad real del recurso, por lo que bien podría ser aceptada únicamente para usos domésticos no potables. En conclusión, el agua de lluvia no debe ser considerada una alternativa por sí sola, ya que requiere la evaluación de calidad para identificar a qué usos la población estaría dispuesta a darle.

Con el presente estudio se logró conjuntar dos aspectos importantes con respecto a la captación de agua de lluvia: el aspecto de calidad del agua y el aspecto social (las características sociodemográficas, las opiniones, percepciones, motivaciones y formas de manejo del agua por parte de los usuarios). Esta información y metodología puede contribuir con la promoción e implementación de sistemas de captación de agua de lluvia como una alternativa complementaria de suministro de agua en la localidad de Puerto Morelos, así como ser aplicada en otros sitios donde exista la carencia de servicio de agua potable.

10. LIMITANTES, PERSPECTIVAS Y RECOMENDACIONES

Debido a que el estudio tuvo ciertas limitantes para el muestreo de agua de lluvia, como la disponibilidad de los voluntarios, las dificultades para la toma de muestras, la inconsistencia y la impredecibilidad de las precipitaciones, entre otras; se recomienda llevar a cabo estudios más prolongados y exhaustivos para mejorar la confiabilidad de los datos de calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua y agregar otros parámetros importantes como metales pesados y más parámetros bacteriológicos.

También se recomienda ampliar la información social por medio de entrevistas y observación etnográfica a los no usuarios para conocer sus opiniones, percepciones y disposición a la implementación de la captación de agua de lluvia.

Así mismo se recomienda desarrollar un índice que conjunte el aspecto de calidad del agua con el aspecto social, para evaluarlos de manera integral para que la información adquiera un mayor significado y tenga una mejor aplicación en estudios futuros.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdulla F. y Al-Shareef A. W. (2009). "Roof rainwater harvesting systems for household water supply in Jordan". *Desalination, Elsevier*. (243), pp. 195-207. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916409002677> [Consultado 23-05-2017]
- Achadu, O. J., Ako F. E. y Dalla C.L. (2013). "Quality Assessment of Stored Harvested Rainwater in Wukari, North-Eastern Nigeria: Impact of Storage Media". *Journal Of Environmental Science, Toxicology And Food Technology*. 7(5), pp. 25-32. Disponible en: <http://www.iosrjournals.org/iosr-jestft/papers/vol7-issue5/D0752532.pdf> [Consultado 23-04-2017].
- Ahmed W., Gardner T. y Toze S. (2010) "Microbiological Quality of Roof-Harvested Rainwater and Health Risks: A Review". *Journal of Environmental Quality*. 40, pp. 13-21. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21488488> [Consultado 27-11-2016].
- Adeniyi, I. F., y Olabanji I. O. (2005). "The physico-chemical and bacteriological quality of rainwater collected over different roofing materials in Ile-Ife, southwestern Nigeria". *Chemistry and Ecology*, 21(3), pp.149–166. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/277516556_The_physico-chemical_and_bacteriological_quality_of_rainwater_collected_over_different_roofing_materials_in_Ile-Ife_Southwestern_Nigeria [Consultado 28-06-2016].
- Adler I., Carmona G. y Bojalil J. A. (2008). *Manual de captación de aguas de lluvia para centros urbanos*. Disponible en: <http://www.padrecielomadretierra.com/descargas/manualdecaptaciondeaguasde lluvia.pdf> [Consultado 23-03-2017]
- Aledo, A., Ortiz G., y Domínguez J. A. (2006). "Gestión integral del agua y perfiles de usuarios: propuesta metodológica desde la sociología cuantitativa". *Interfacehs - A Journal on Integrated Management of Occupational Health and the Environment*, 1(1), pp. 99 - 113. Disponible en: <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/12936/1/Art%C3%ADculo%20INTERFA CEHS.pdf> [Consultado 24-02-2017].

- Amigos de Sian Ka'an A. C. (2013) Amigos de Sian Ka'an Acciones por la Naturaleza. Disponible en: <http://www.amigosdesiankaan.org/es/blog/83-entrada1-3> [Consultado 16-08-2017].
- Anaya G. (2009a). *Sistemas de Captación de Agua de Lluvia para Uso Doméstico en América Latina y el Caribe*. México: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
- Anaya M. (2009b) *Antecedentes de la captación del agua de lluvia*. Disponible en: <http://docplayer.es/20990290-Antecedentes-de-la-captacion-del-agua-de-lluvia-dr-manuel-anaya-garduno-coordinador-anayam-colpos-mx.html> [Consultado 02-04-2016].
- Antón A. y Lizaso J. (2001). *Nitritos, nitratos y nitrosaminas*. Disponible en http://www.proyectopandora.es/wp-content/uploads/Bibliografia/13181019_nitritos_nitratos.pdf [Consultado 11-08-2016].
- APHA. (1998). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 20.^a ed., Washington, D.C., E. U. A: American Public Health Association.
- Asamblea Legislativa del Distrito Federal (2003). *Ley de Aguas del Distrito Federal*. Disponible en: <http://www.aldf.gob.mx/archivo-d0c1ac48ef930701568a2cbd52e7d29e.pdf> [Consultado 06-03-2017].
- ASUR (2017) *Tráfico de pasajeros*. Disponible en: http://www.asur.com.mx/es/inversionistas/trafico-de-pasajeros.html?pasajeros_aeropuerto=1&pasajeros_pasajero=0&pasajeros_mes=1&pasajeros_mesFinal=9&precios_compararAnno=2017&action=consulta_mensual [Consultado 31-10-2017].
- ATSDR (1995) *Resumen de Salud Pública: Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)*. Disponible en: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs69.pdf [Consultado 28/08/17].
- Aviña, C. (2007) "La migración como factor de enriquecimiento cultural". *Bien Común*, 13(155), pp. 43–45. Disponible en:

<https://blogs.uprm.edu/migracion/files/2012/01/Cultura-Migratoria.pdf> [Consultado 02-03-2017].

Bach S. J., McAllister T. A., Veira D. M., Gannon V. P. J. y Holley R. A. (2002). "Transmission and control of *Escherichia coli* O157:H7 – A review". *Canadian Journal of Animal Science*, 82(4), pp. 475-490. Disponible en <http://www.nrcresearchpress.com/doi/pdf/10.4141/A02-021> [Consultado 10-03-2018].

Bada B. S., Olatunde K. A. y Bankole O. D. (2012). "Chemical and Physical Properties of Harvested Rainwater from Different Roofing Sheets in Abeokuta, Ogun State". *Hydrology for Disaster Management*. 173-179. Disponible en: <https://journal.unaab.edu.ng/index.php/theses/thesis/view/318> Consultado 01-05-2016.

Ballén J. A., Galarza M. A. y Ortiz R. O. (2006) "Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia". *Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua*. Joao Pessoa (Brasil), 5-7 junio 2006. 12 p.

Bartram J. y Ballance R. (Ed.) (1996) *Water quality monitoring: a practical guide to the design and implementation of freshwater quality studies and monitoring programmes*. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/253953121_Water_quality_monitoring_a_practical_guide_to_the_design_and_implementation_of_freshwater_quality_studies_and_monitoring_programmes [Consultado 01-10-2016].

Becerra A. (2013) "Servicio de agua llega a comunidades apartadas de Q. Roo". *Novedades Quintana Roo*, 1 de agosto. Disponible en: <http://sipse.com/novedades/surten-de-agua-a-comunidades-apartadas-de-quintana-roo-44522.html> [Consultado 30-08-2017].

Benez M., Kauffer E. y Álvarez G. C. (2010) "Percepciones ambientales de la calidad del agua superficial en la microcuenca del río Fogótico". *Frontera Norte*. 22(43). Pp. 129-158. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/fn/v22n43/v22n43a6.pdf> [Consultado 24-02-2017].

- Bosibori N. A. (2013). *Community Perception on Rainwater Harvesting Systems for Enhancing Food Security in Dry Lans of Kenya*. Tesis de Maestría. Swedish University of Agricultural Sciences.
- Bravo H. A., Saavedra M. I. R., Sánchez P. A., Torres R. J. y Granada L. M. M. (1999). "Chemical composition of precipitation in a Mexican Maya región". *Atmospheric Environment*, 34 (2000), pp. 1197 – 1204. Disponible en: <https://eurekamag.com/research/003/381/003381486.php> [Consultado 23-05-2017].
- Calderón, J. R., H. Campos, y P. L. Jiménez. (2012) "Análisis de la Marginación Urbana en Cancún, Quintana Roo". *XII Seminario Internacional RII, V Taller de Editores RIER y X Encuentro de Postgrados RIPPET*. Belo Horizonte, Brasil. 1-5 octubre 2012. Red Iberoamericana de Investigadores sobre Globalización y Territorio (RII), la Red Iberoamericana de Editores de Revistas (RIER), la Red Iberoamericana de Postgrados sobre Políticas y Estudios Territoriales (RIPPET), pp. 1-20.
- Calvo D., Molina M.T. y Salvachúa J. (2009) *Ciencias de la Tierra y Medioambientales*. España: McGraw Hill Interamericana.
- Canada Mortgage and Housing Corporation (2012) *Guidelines for Residential Rainwater Harvesting Systems Handbook*. Disponible en: <https://www.cmhc-schl.gc.ca/odpub/pdf/67608.pdf> [Consultado 30-10-2017].
- Canales R. (2015). "Composición química y tipos de aguas naturales". *Boletín Científico Logos*. 2(3). Pp. 1-10. Disponible en <http://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/prepa2/n3/e2.html> [Consultado 16-05-2016]
- Carrillo J. (2013) "Los curbatos forman parte de la historia de Chetumal". SIPSE, 23 de enero. Disponible en: <http://sipse.com/noticias/los-curbatos-forman-parte-de-la-historia-de-chetumal-11800.html> [Consultado 30-08-2017].
- Caroll D. (1962) *Rainwater as a Chemical Agent of Geologic Processes – A Review*. Washington D. C., E. U. A.: United States Government Printing Office.
- CEMDA, FEA, National Wildlife Federation, Presencia Ciudadana, Alianza Mexicana por una Nueva Cultura del Agua, Fundación Heinrich Böll y TFI (2006). *El agua en*

México: lo que todas y todos debemos saber. Disponible en: https://www.cemda.org.mx/wp-content/uploads/2011/12/agua-mexico_001.pdf [Consultado 26-04-2016]

Cerón R. M., Cerón J. G., Córdova A. V., Zavala J. y Muriel M. (2005) "Chemical composition of precipitation at coastal and marine sampling sites in Mexico". *Global NEST Journal*, 7(2), pp. 212-221. Disponible en: <https://journal.gnest.org/journal-paper/chemical-composition-precipitation-coastal-and-marine-sampling-sites-mexico> [Consultado 10-10-2017].

Cerón R. M., Cerón J. G., Muriel M. y Cárdenas B. (2008). "Identification of ion sources in rainwater of a coastal site impacted by the gas and oil industry in the southeast of Mexico". *Global NEST Journal*, 10(1), pp. 92-100. Disponible en: https://journal.gnest.org/sites/default/files/Journal%20Papers/92-100-407_CERON_10-1.pdf [Consultado 20-05-2016].

Cerón R., Padilla H. G., Belmont R. D., Torres M. C. B., García R. M. y Báez A. P. (2002). "Rainwater chemical composition at the end of the mid-summer drought in the Caribbean shore of the Yucatan Peninsula". *Atmospheric Environment*, 36(2008), pp. 2367-2374. Disponible en: <https://eurekamag.com/research/003/906/003906329.php> [Consultado 20-05-2016].

Cerón-Bretón R. M., Báez-Pedrajo A., Padilla-Gordon H., Cerón-Bretón J. G. y Muriel-García M. (2004). "Contribución de incendios forestales a los niveles de nitrato y a la acidez del agua de lluvia en Puerto Morelos, Q. Roo, México. Un caso de estudio". XLII Convención Nacional del IMIQ 2003 (Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos) Villahermosa, Tabasco, 22-24 octubre 2003, IMIQ, pp. 55-64.

Challenger, A., Bocco G., Equihua M., Lazos E., y Maass M. (2014). "La aplicación del concepto del sistema socio-ecológico: alcances, posibilidades y limitaciones en la gestión ambiental de México". *Investigación Ambiental*, 6(2), pp. 1–21. Disponible en: <http://www.revista.inecc.gob.mx/article/view/227/244#.WanvotG23IU> [Consultado 24-02-2017].

- Chandra B. R. (2015). *Sustainability of Rainwater Harvesting System for the Domestic Needs (A Case Study of Daugha VDC, Gulmi, Nepal)*. Tesis de Maestría. Pokhara University.
- Chávez M. (Ed.) (2016). *El Manejo del Agua a través del Tiempo en la Península de Yucatán*. Disponible en: <http://www.seduma.yucatan.gob.mx/libro-agua-py/index.php> [Consultado 06-03-2017].
- CNA (2007). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: Diseño de plantas potabilizadoras tipo de tecnología simplificada*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- CONABIO (2009). *Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica. Ficha de caracterización*. Disponible en: http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/manglares/doctos/caracterizacion/PY69_Puerto_Morelos_Maroma_caracterizacion.pdf [Consultado 13/11/16].
- CONAGUA (2010). *Estadísticas del agua en México*. Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/EAM2010-16Junio2010.pdf> [Consultado 02-05-2017].
- CONAGUA (2014). *Estadísticas del agua en México*. Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/EAM2014.pdf> [Consultado 06-03-2017]
- Consejo de Cuenca de la Península de Yucatán (2014). *Programa de medidas preventivas y de mitigación de la sequía*. México: SEMARNAT.
- Cornell University (2017). Competency Area 2: Soil Hydrology AEM. Disponible en: <https://nrcca.cals.cornell.edu/soil/CA2/CA0210.php> [Consultado 26-04-2017].
- CORQUIVEN (2000) *Hoja de seguridad (MSDS) Alcohol etílico*. Disponible en: http://iio.ens.uabc.mx/hojas-seguridad/alcohol_etilico.pdf [Consultado 27-04-2017].
- Daniels M., Scott T., Haggard B., Sharpley A. y Daniel T. (2017) *What Is Water Quality?* Disponible en: <https://www.uaex.edu/publications/pdf/FSA-9528.pdf>
- De la Rosa M. C., Mosso M. A. y Ullán C. (2002) "El aire; hábitat y medio de transmisión de microorganismos". *Observatorio medioambiental*, 5(2002), pp. 375-402.

- Disponible en: <http://divulgameteo.es/uploads/Aire-microorganismos.pdf>
[Consultado 02-04-2017].
- Descola P. y Pálsson G. (2001) *Naturaleza y Sociedad: perspectivas antropológicas*.
Disponible en: https://diversidadlocal.files.wordpress.com/2012/09/descola-palsson-naturaleza_y_sociedad__perspectivas_antropolc3b3gicas.pdf
[Consultado 15-02-2017].
- Despins C., Farahbakhsh k. y Leidl C. (2009) "Assesment of rainwater quality from rainwater harvesting systems in Ontario, Canada". *Journal of Water Suply: Research and Technology-AQUA*, 58(2), pp. 117-134. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/0684/202d248f47a2e947cf4d51fb96e2e22fcb28.pdf> [Consultado 11-10-2017].
- Díaz R. (2014) *Ocurrencia de trihalometanos en los puntos críticos del sistema de distribución de agua potable del Municipio de Benito Juárez, Quintana Roo, México*. Tesis de maestría. Centro de Investigación Científica de Yucatán.
- Drever J. (1997) *The Geochemistry of Natural Waters. Surface and Groundwater Environments*. 3ª Edición. Estados Unidos de América: Prentice Hall.
- Duan X y Li Y. (2017) "Sources and Fates of BTEX in the General Environment and Its Distribution in Coastal Cities of China". *Journal of Environmental Science and Public Health*, 1(2), pp. 86-106. Disponible en: <http://www.fortunejournals.com/articles/sources-and-fates-of-btex-in-the-general-environment-and-its-distribution-in-coastal-cities-of-china.html> [Consultado 16-10-2017].
- Duncan M. (2017) "The elimination of open defecation and its adverse health effects: a moral imperative for governments and development professionals". *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, 7(1), pp. 1-12. Disponible en: https://www.pseau.org/outils/ouvrages/iwa_the_elimination_of_open_defecation_and_its_adverse_health_effects_a_moral_imperative_for_governments_and_development_professionals_2017.pdf [Consultado 10-03-2018]
- Eklund T., McDowell W. y Pringle C. (1997). "Seasonal variation of the tropical precipitation chemistry: La Selva, Costa Rica". *Atmospheric Environmental*,

- 31(23), pp. 3903 – 3910. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/222506741_Seasonal_variation_of_tropical_precipitation_chemistry_La_Selva_Costa_Rica [Consultado 02-05-2017].
- El Universal (2016). “Lanza Mancera sistema de captación de agua de lluvia”. *El Universal*, 24 de febrero. Disponible en: <http://www.eluniversal.com.mx/articulo/metropoli/df/2016/02/24/lanza-mancera-sistema-de-captacion-de-agua-de-lluvia> [Consultado 03-08-2017].
- Elizondo C., Barba E., Castillo M. A., Hernández H., Holí D., López H., López-Merlín D., Medina H., Mendoza J., Novelo J. Tovilla C. y Velázquez G. (2011). *Estudio para la Caracterización y Diagnóstico de Humedales en Puerto Morelos*. Disponible en: http://www.conanp.gob.mx/rendicion_cuentas/pdf/pdf_rendicion_cuentas/Informe_Diagnostico_Humedales_PM.pdf [Consultado 09/10/2016].
- EPA (1984) *Method 610. Polynuclear Aromatic Hydrocarbons*. Disponible en: https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-10/documents/method_610_1984.pdf [Consultado 30-05-2017]
- EPA (1995) *Method 502.2. Volatile Organic Compounds in Water by Purge and Trap Capillary Column Gas Chromatography with Photoionization and Electrolytic Conductivity Detectros in Series*. Disponible en: http://www.caslab.com/EPA-Methods/PDF/502_2.pdf [Consultado 30-05-2017].
- Esguerra A., Madrid A. y Nillo R. (2011). “Rainwater Harvesting, Quality Assessment And Utilization In Region I”. *E-International Scientific Research Journal*. 3(2), pp. 145-155. Disponible en: <https://fr.ircwash.org/sites/default/files/Esguerra-2011-Rainwater.pdf> [Consultado 04-04-2016].
- FAO (2000). *Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia, experiencias en América Latina*. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/010/ai128s/ai128s00.htm> [Consultado 16-05-2016].
- FAO, FIDA y Confederación Suiza (2013). Captación y almacenamiento de agua de lluvia. Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el

- Caribe. Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/ai128s/ai128s00.pdf> [Consultado 09-02-2016].
- Fernández A, Yarto M. y Castro J. (2004) *Las sustancias tóxicas persistentes*. Disponible en: <https://www.scribd.com/document/70301089/Sustancias-Toxicas-Persistentes> [Consultado 18-10-2017].
- Fernández, L. (2006) "Fichas para investigadores ¿Cómo analizar datos cualitativos?" *Bulletí LaRecerca*, (7), pp. 1–13. Disponible en: <http://www.ub.edu/ice/recerca/fitxes/fitxa7-cast.htm> [Consultado 04-02-2017].
- Fewtrell L. y Kay D. (2007) "Microbial quality of rainwater supplies in developed countries: a review". *Urban Water Journal*. 4(4), pp. 253-260 Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/249018523_Microbial_quality_of_rainwater_supplies_in_developed_countries_A_review [Consultado 23-09-2016].
- Fuentes-Galván M. L., Delgado-Galván X., Charcas-Salazar H., Mor-Rodríguez J., Flores J. L., Cardona A. (2015) "Rooftop rainwater harvesting acceptance in three localities of Guanajuato, central Mexico". *Interciencia*. 40(6). Pp. 403-408. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33938675007> [Consultado 01-08-17].
- Gaga E., Tuncel G. y Tuncel S. G. (2009) "Sources and Wet Deposition Fluxes of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in an Urban Site 1000 Meters High in Central Anatolia (Turkey)". *Environmental Forensics*. (10), pp. 286-298. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/232885774_Sources_and_Wet_Deposition_Fluxes_of_Polycyclic_Aromatic_Hydrocarbons_PAHs_in_an_Urban_Site_1000_Meters_High_in_Central_Anatolia_Turkey [Consultado 23-10-2017].
- Gallopín, G. (1994). *Impoverishment and Sustainable Development: A systems Approach*. Disponible en: http://www.iisd.org/pdf/impoverishment_and_sd.pdf [Consultado 22-01-2017].
- Galloway J., Likens G. y Hawley M. (1984) "Acid precipitation: Natural Versus Anthropogenic Components". *Science*, 226(4676), pp. 829-831. Disponible en:

<http://science.sciencemag.org/content/226/4676/829.long> [Consultado 10-05-2017].

García N. H. (Ed.). (2011). *Plan rector en materia de agua para la protección, conservación y recuperación ambiental de la Península de Yucatán*. Disponible en: https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2014/05/Plan_peninsula_de_Yucatan_.pdf [Consultado 10-09-2016].

García V. J. H. (2012). *Sistema de captación y aprovechamiento pluvial para un ecobarrio de la Cd. De México*. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México.

Gay L. A. (2008). *Captación pluvial y su reutilización mediante humedales artificiales en la Microcuenca Santa Ana, Guanajuato*. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Querétaro.

Gay L., Martínez M., Guevara A. y Luna F. (2010). "Captación pluvial y reutilización de aguas grises mediante humedales artificiales en la microcuenca La Soledad, Guanajuato". *Ciencia@UAQ*. 3(2) pp. 3-12. Disponible en: http://www.uaq.mx/investigacion/revista_ciencia@uaq/ArchivosPDF/v3-n2/Captacion.pdf [Consultado 13-09-2016]

Gob.mx (2016) Calendario Escolar 2016-2017. Disponible en: <https://www.gob.mx/gobmx/articulos/calendario-escolar-2016-2017> [Consultado 25-10-2017].

Gobierno del Distrito Federal (2012) *Programa de gestión integral de los recursos hídricos, visión 20 años*. Disponible en: http://www.agua.unam.mx/sacmex/assets/docs/PGIRH_Final.pdf [Consultado 30-10-2017].

González, M. (2006). "La Colonización Tardía. Migraciones Mayas en América del Norte". *Estudios de Cultura Maya*, (27), pp. 181–201. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/ecm/v27/v27a9.pdf> [Consultado 24-02-2017].

- Goyenola G. (2007). *Determinación de la alcalinidad total*. Disponible en: http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso_2007/cartillas/tematicas/alcalinidad.pdf [Consultado 29-05-2017].
- Gran, G. (1952). "Determination of Equivalence Point in Potentiometric Titrations." *Analyst*. (77): 661-671.
- Han M. y Han Y. (2002) "The Initiation of a Rainwater Harvesting Campaign in Korea". *International Journal of Urban Sciences*. 6(1), pp. 45-61. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/239798920_The_Initiation_of_a_Rainwater_Harvesting_Campaign_in_Korea [Consultado 09-10-2017].
- Han M. Y., Saleh H. I., Lee I. Y. y Kim (2004) "Characterization of harvested rainwater quality from Seoul City – Korea". *Eight International Water Technology Conference*. Alejandría, Egipto, 26-28 marzo 2004. International Water Technology Conference, pp. 61-71.
- He J. y Balasubramanian R. (2010) "Semi-volatile organic compounds (SVOCs) in ambient air and rainwater in a tropical environment: Concentrations and temporal and seasonal trends". *Chemosphere*, 78(2010), pp. 742-751. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004565350901251X> [Consultado 11-10-2017].
- Hernández-Terrones L., M. Rebolledo-Vieyra, M. Merino-Ibarra, M. Soto, A. Le-Cossec y E. Monroy-Ríos. (2011) "Groundwater Pollution in a Karstic Region (NE Yucatan): Baseline Nutrient Content and Flux to Coastal Ecosystems". *Water Air Soil Pollut.* 218(2011): 517-528. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-010-0664-x> [Consultado 15-03-2017].
- Hinwood A. L., Berko H. N., Farrar D., Galbally I. E. y Weeks I. A. (2006) "Volatile organic compounds in selected micro-environments". *Chemosphere*. 63(2006). Pp. 421-429. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653505010672> [Consultado 28/08/17].

- IDEXX Laboratories (2015) *Colilert® Resultados de coliformes y E. coli en 24 horas*. Disponible en: <http://www.idexx.es/resource-library/water/colilert-procedure-es.pdf> [Consultado 12-07-16].
- Industrial Test Systems, Inc. (2011) eXact® Micro 7+ Advanced Photometer System Instruction Manual.
- INEGI (2010a) Cartografía Geoestadística Urbana y Rural Amanzanada. Junio 2016. Quintana Roo. Disponible en: <http://www.beta.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825218904> [Consultado 10-07-2016].
- INEGI (2010b) Censos y conteos de población y vivienda. Disponible en: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/iter/default.aspx?ev=5> [Consultado 30/09/2016].
- INEGI. (2011). *Perspectiva estadística Quintana Roo*. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/perspectivas/perspectiva-qr.pdf> [Consultado 02-03-2017].
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2017) La química de la lluvia ácida. Disponible en: <http://institucional.ideam.gov.co/jsp/83> [Consultado 17-10-2017].
- IWA (2015). *Alternative Water REsources Cluster*. Disponible en: http://www.iwa-network.org/downloads/1458040035-IWA%20AWR%20final%20publication%20file_corrected.pdf [Consultado 13-03-2018].
- Jickells T., Knap A., Church T., Galloway J y Miller J. (1982). “Acid Rain on Bermuda”. *Nature*. 297, pp. 55 – 57. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/31948324_Acid_Rain_on_Bermuda [Consultado 02-05-2017].
- Jiménez B. E., Valiente E. L., Ponce G., Villanueva S., Botello A. V., López B., Herrera G., Carrillo-Rivera J. J., Cardona A., Mazari M., Aguilar M. J., Espinosa A. C., Durán N., Zambrano L., Ávila S., Espejo R. y Aguilar A., (2010). *Calidad del*

agua: un enfoque multidisciplinario. Disponible en:
<http://ru.iiec.unam.mx/65/1/CalidadAgualmpr.pdf> [Consultado 07-10-2016].

Jiménez M. y Asteinza G. (2003) “Sistemas de aprovisionamiento de agua para consumo doméstico en tres comunidades, de la porción alta del río Temascatío, Estado de Guanajuato, México.” *International Rainwater Catchment Systems Association Conference*. Texcoco, México, agosto 2003. Pp. 17.

Kaushik R., Balasubramanian R. y Dunstan H. (2014) “ Microbial Quality and Phylogenetic Diversity of Fresh Rainwater and Tropical Freshwater Reservoir” *PLOS ONE*, 9(6), pp. 1-10. Disponible en:
<http://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0100737&type=printable> [Consultado 12-03-2018].

Kim R-H., Lee S., Kim Y-M., Lee J-H, Kim S-K y Kim S-G. (2005) “Pollutants in Rainwater Runoff in Korea: Their impacts on Rainwater Utilization”, *Environmental Technology*, 26(4), pp. 411-420. Disponible en:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15906493> [Consultado 20-10-2017].

Kohlil A., Frenken K. y Spottorno C. (2010). “Disambiguation of water use statistics”. *Aquastat*. Pp. 1-5. Disponible en:
<http://www.fao.org/docrep/013/al815e/al815e00.pdf> [Consultado 09-09-2016].

Lee J. Y., Yang J-S., Han M. y Choi J. (2009) “Comparison of the microbiological and chemical characterization of harvested rainwater and reservoir water as alternative water resources”. *Social of the Total Environment*, 408(2010), pp. 896-905. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19962177> [Consultado 15-07-2016].

Ley de Aguas Nacionales. 1º de diciembre de 1992. Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. México (1992).

Lynn T. (2003). *Water resource management by the ancient maya of Yucatan, Mexico*. Tesis de doctorado. Universidad del Estado de Louisiana y El Colegio de Agricultura y Mecánica.

Madrid L. C., Cabello V. y Kovacic Z. (2013). “Analizando el metabolismo hídrico de los socio-ecosistemas: fundamentos teóricos y metodológicos”. *VIII Congreso*

- Ibérico de Gestão e Planeamento da Água*. Lisboa, 5-7 diciembre 2013. Portugal: Fundación Nueva Cultura del Agua y Universidad Lusíada de Lisboa, pp. 657–668.
- Martínez-Austria, P. F. (2013). “Los retos de la seguridad hídrica”. *Tecnología Y Ciencias Del Agua*, 4(5), pp. 165–180. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222013000500011 [Consultado 07-03-2017].
- Mastandrea C., Chichizola C., Ludeña B., Sánchez H., Álvarez H. y Gutiérrez A. (2005) “Hidrocarburos aromáticos policíclicos. Riesgos para la salud y marcadores biológicos”. *Toxicología*, 39(1), pp. 27-36. Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0325-29572005000100006 [Consultado 18-10-2017].
- McDonell G y A D Russell. (1999). “Antiseptics and Disinfectants: Activity, Action and Resistane”, *Clinical Microbiology Reviews*, 12(1), pp. 147 – 179. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC88911/> [Consultado 27-04-2017].
- Medina-Moreno S. A., González-Jiménez A., Gutiérrez-Rojas M. y Lizardi-Jiménez M. A. (2014) “Estudios de contaminación por hidrocarburos en cenotes de Quintana Roo relacionada al desarrollo turístico en el Caribe Mexicano”. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 13(2), pp. 509-516. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1665-27382014000200015&script=sci_abstract [Consultado 03-11-2017].
- Moreira R. F., Calijuri, M. L., de Castro I. y da Fonseca A.. (2012). “Rainwater treatment in airports using slow sand filtration followed by chlorination: Efficiency and costs”. *Resources, Conservation and Recycling*, 65 (2012), pp. 124-129. Disponible en: http://www.dec.ufv.br/modules/mastop_publish/files/PublicacoesdoPrograma/LUCIA_Resources,%20Conservation%20and%20Recycling_2012_1.pdf [Consultado 03-05-2016].

- Mosley, L. (2005). *Water Quality of Rainwater*. Disponible en: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.484.1422&rep=rep1&type=pdf> [Consultado 10-02-2016].
- Mullaugh K. M., Hamilton J. M., Avery G. B., Felix J. D., Mead R. N., Willey J. D. y Kieber R. J. (2015) "Temporal and spatial variability of trace volatile organic compounds in rainwater". *Chemosphere*, 134(2015), pp. 203- 209. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25950137> [Consultado 16-10-2017].
- NOAA's National Weather Service. (2009). National Weather Service Glossary. Disponible en: <http://w1.weather.gov/glossary/>
- Olvera C. L. (2010) *La elasticidad de la demanda del agua potable y la pérdida de bienestar: Un estudio para la ciudad de Chetumal, Quintana Roo*. Tesis de maestría. Universidad de Quintana Roo.
- OMS (2000) *Guías para Ambientes Recreativos Seguros: Volumen 2: Piscinas, SPAs y ambientes similares de recreación en agua*. Disponible en: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/43336/1/9241546808_eng.pdf [Consultado 09-08-2017].
- OMS (2006). *Guías para la calidad del agua potable*. Disponible en: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf [Consultado 24-07-2016].
- OPS, CEPIS y COSUDE. (2004). *Guía de diseño para captación del agua de lluvia*. Disponible en: <http://www.aguasinfronteras.org/PDF/AGUA%20DE%20LLUVIA.pdf> [Consultado 01-02-2016].
- ONU (1998) *Gestión de programas sociales en América Latina. Volumen I*. Santiago de Chile: Naciones Unidas Comisión Económica para América Latina y El Caribe.
- Ospina-Zúñiga O. y Ramírez-Arcila H. (2014) "Evaluación de la calidad del agua de lluvia para su aprovechamiento y uso doméstico en Ibagué, Tolima, Colombia". *Ingeniería Ambiental*, 10(17), pp. 125-138. Disponible en: <https://www.google.com.mx/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjI0u->

au7_XAhVmF2MKHWIaDekQFggwMAE&url=https%3A%2F%2Frevistas.ucc.edu.co%2Findex.php%2Fin%2Farticle%2Fdownload%2F812%2F771&usg=AOvVaw0r3OTD0BxFRvICV2-lmDNk [Consultado 09-02-2016].

Pacheco M. (2008). "Avances en la Gestión Integral del Agua de Lluvia (GIALL): Contribuciones al consumo sostenible del agua, el caso de "Lluviatl" en México". *Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*, (3), pp. 39-57. Disponible en: http://www.urv.cat/media/upload/arxius/catedra-desenvolupament-sostenible/Informes%20VIP/unesco_-_revista_ds_unesco_2008.pdf [Consultado 03-06-2017].

Pacheco-Vega, R. (2015). "Agua embotellada en México: De la privatización del suministro a la mercantilización de los recursos hídricos". *Espiral, Estudios Sobre Estado Y Sociedad*, 23(63), pp. 221–263. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/275522649_Agua_embotellada_en_Mexico_de_la_privatizacion_del_suministro_a_la_mercantilizacion_de_los_recursos_hidricos [Consultado 07-03-2017].

Pawliszyn J. (2000). "Theory of Solid-Phase Microextraction". *Journal of Chromatographic Science*, 38, pp. 270-278. Disponible en: <http://www.gums.ac.ir/Upload/Modules/FTPManager/Upload/Upload15433/%D8%AF%DA%A9%D8%AA%D8%B1%20%D8%AD%D8%B4%D9%85%D8%AA%20%D8%A7%D9%84%D9%87%20%D8%A7%D8%A8%D8%B1%D8%A7%D9%87%DB%8C%D9%85%DB%8C/Solid%20phase%20microextraction.pdf> [Consultado 06-03-2018].

Pérez-Morales G., Morales P. y Haza A. I. (2016) "Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs): Toxicidad, exposición de la población y alimentos implicados". *Revista complutense de Ciencias Veterinarias*, 10(1), pp. 1-15. Disponible en: <https://revistas.ucm.es/index.php/RCCV/article/viewFile/51869/48027> [Consultado 11-03-2018].

Phillips, O. L. (1996) "Some quantitative methods for analyzing ethnobotanical knowledge". En: Alexiades ed. *Selected Guidelines for Ethnobotanical Research: A Field Manual*. Bronx, Nueva York. The New York Botanical Garden.

- Poder Ejecutivo del Estado de Quintana Roo (2015). *Iniciativa de Decreto por el que se crea el Municipio de Puerto Morelos del Estado de Quintana Roo*. Chetumal, Quintana Roo: Poder Ejecutivo del Estado de Quintana Roo.
- Ponce de León C., Huerta R., Sommer I., Rojo F., Moya M., Hernández M. y Rosas I. (2014) "Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Rainwater Collected in a Tropical Polluted Urban Area". *Polycyclic Aromatic Compounds*. (34), pp. 69-88. Disponible en: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10406638.2013.844177?journalCode=gpol20> [Consultado 11-10-2017].
- Ramírez L. E., Miranda R., García Y., Balderas I., Bravo H., Sosa R., Sánchez P., Alarcón A., Torres M. C. y Kahl J. (2010). "Chemical composition of rainwater in northeastern México". *Atmósfera*, 23(3), pp. 213-224. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-62362010000300001 [Consultado 20-05-2016].
- Rhoades, R., y Stallings J. (Eds.). (2003). *La conservación y el desarrollo integrado: Lecciones aprendidas al vincular pueblos, proyectos y políticas en América tropical*. Disponible en: http://digitalrepository.unm.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1545&context=abya_y_ala [Consultado 25-01-2017].
- Ríos J. R. (2003) "Experiencias en la captación de agua de lluvia para consumo humano, en el estado de Oaxaca". *XI International Rainwater Catchment Systems Association Conference*. Texcoco, México, agosto 2003. Pp. 15
- Rivero M. E., L. Gómez y N. Barrios (2012). "Sistemas de captación y almacenamiento de agua de lluvia en vivienda y comunidad rural, Pátzcuaro, Michoacán". *Atl. El Portal del Agua desde México*. Disponible en: http://atl.org.mx/images/stories/proyectos/patzcuaro_michoacan.pdf [Consultado 28-04-2016].
- Rochman C., Manzano C., Hentschel B., Massey S. y Hoh E. (2013) "Polystyrene Plastic: A Source and Sink for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Marine Environment", *Environmental Science & Technology*, 47(24) pp. 13976-13984.

- Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4140420/>
[Consultado 05-10-2016]
- Ruíz G. A. (2016) *La juventud opina*. Disponible en:
<http://www.voicesofyouth.org/es/posts/que-es-un-agente-de-cambio> [Consultado
13-03-2018].
- Russell H. (2006) *Research Methods in Anthropology: Qualitative and Quantitative Approaches*. Disponible en:
http://www.dphu.org/uploads/attachements/books/books_476_0.pdf [Consultado
12-01-2017].
- Sánchez J. A., Álvarez T., Pacheco J. G., Carrillo L. y Amílcar R. (2016) “Calidad del agua subterránea: acuífero sur de Quintana Roo, México”, *Tecnología y Ciencias del Agua*, 7(4), pp. 75-95. Disponible en:
<http://www.redalyc.org/html/3535/353549828005/> [Consultado 05-12-2017].
- Sanders L. (1998) *A manual of field hydrogeology*. 1ª Ed. Nueva Jersey, E. U. A.: Prentice Hall.
- Secretaría de Salud. 1993. *Norma Oficial Mexicana NOM-014-SSA1-1993 Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados*, Diario Oficial de la Federación, México, D. F.
- Secretaría de Salud. 1994. *Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 Salud ambiental, agua para uso y consumo humano – Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización*, Diario Oficial de la Federación, México, D. F.
- Secretaría de Salud. 2002. *Norma Oficial Mexicana NOM-201-SSA1-2002 Productos y servicios. Agua y hielo para consumo humano, envasados y a granel. Especificaciones sanitarias*, Diario Oficial de la Federación, México, D. F.
- Secretaría de Salud. 2010. *Norma Oficial Mexicana NOM-245-SSA1-2010 Requisitos sanitarios y calidad del agua que deben cumplir las albercas*, Diario Oficial de la Federación, México, D. F.

- SEDESOL (2017) CDMX Secretaría de Desarrollo Social. Disponible en: <http://www.sds.cdmx.gob.mx/programas/programa/aguaatucasa> [Consultado 16-08-2017].
- SEDETUR (2017) Ocupación 2017. Disponible en: <http://www.qroo.gob.mx/sedetur/ocupacion-2017> [Consultado 31-10-2017].
- Servicio Meteorológico Nacional (2017). Glosario técnico. Disponible en: <http://smn.cna.gob.mx/es/glosario> [Consultado 25-04-2017].
- Snoeyink L. y Jenkins D. (1999) *Química del Agua*. México: Limusa.
- Šoštarić A., Stanišić S, Vuković G, Mijić Z. Stojić A. y Gržetić I. (2017) "Rainwater capacities for BTEX scavenging from ambient air". *Atmospheric Environment*, 168(2017), pp. 46-54. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231017305587> [Consultado 12-10-2017].
- Srijata M. y Pranab R. (2011). "BTEX: A Serious Ground-water Contaminant". *Research Journal of Environmental Sciences*, 5, pp. 394-398. Disponible en: <http://docsdrive.com/pdfs/academicjournals/rjes/2011/394-398.pdf> [Consultado 12-03-2018].
- Statistics Canada (2003) *Survey Methods and Practices*. Disponible en: <http://www.statcan.gc.ca/pub/12-587-x/12-587-x2003001-eng.pdf> [Consultado 05-06-2017].
- Suárez M. O. y Tapia F. A. (2012). *Interaprendizaje de estadística básica*. Disponible en: http://www.academia.edu/9958993/Interaprendizaje_de_Estad%C3%ADstica_B%C3%A1sica [Consultado 21-03-2017].
- Sule I. O., Agbabiaka T. O. y Akomolafe A. V. (2011). "Bacteriological Quality of Stored Exteriorly in Storage Tanks". *Research Journal of Environmental Sciences*, pp. 1-8. Disponible en: <http://scialert.net/fulltext/?doi=rjes.2011.603.610> [Consultado 27-06-2016].

- Toledo, A. (2002). "El agua en México y el mundo". *Gaceta Ecológica*. (64), 9-18.
 Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/539/53906402.pdf> [Consultado 25-04-2016]
- Tomar M. (1999). *Quality Assessment of Water and Wastewater*. E. U. A.: Lewis Publishers.
- UN WATER (2015) *Water for a sustainable world*. Disponible en: <http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002318/231823E.pdf> [Consultado 20-06-2016].
- UNESCO ETXEA, Gobierno Vasco, Diputación Foral de Gipuzkoa, ayuntamiento de San Sebastián y Mancomunidad de Aguas del Añarbe. (2004). *Encuentros sobre el agua*. Disponible en: <http://www.unescoetxea.org/dokumentuak/EncuentrosAgua.pdf> [Consultado 15-05-2016]
- UNESCO, FAO, UNDESA, UNECE, UNECLAC, UNESCAP, UNESCWA, UNEP, UN HABITAT, UNICEF, WHO, World Meteorological Organization (2015). *The United Nations World Water Development Report 2015 WATER FOR A SUSTAINABLE WORLD*. Disponible en: <http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002318/231823E.pdf> [Consultado 20-06-2016]
- Vanegas M. (2004). *Impacto de los flujos migratorios en un centro urbano turístico. Caso Cancún y Playa del Carmen*. Disponible en: http://www.sectur.gob.mx/Congreso_de_Investigacion/ponencias/ULSA-CANCUN.Marisol%20Vanegas.pdf [Consultado 02-03-2017].
- Vargas L. M. (1994). "Sobre el concepto de percepción". *Alteridades*, 4(8), pp. 47–53. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/747/74711353004.pdf> [Consultado 06-03-2017].
- Vázquez S., Córdova M. A, Cervantes E. O., Hurtado R. y Hernández D. S. (2014). *Programa para la recuperación ambiental de la Península de Yucatán, primera etapa*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

- Vega P. (1998) "Teoría de sistemas y evaluación de programas sociales". *Última Década*. (9), pp. 1-14. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/195/19500908.pdf> [Consultado 10-08-2017].
- Verma M. (1998) "Necesidad de la determinación de la alcalinidad en la caracterización de la lluvia". *Boletín IIE*, pp. 1-15. Disponible en: <https://www.ineel.mx/publica/bolef98/tec2ef98.htm> [Consultado: 04-03-2018].
- Ward S., Butler D. y Memon F. A. (2008). "A pilot study into attitudes towards and perceptions of rainwater harvesting in the UK". *Sustainable Hydrology for the 21st Century, Proceedings of the 10th BHS National Hydrology Symposium*, Exeter, Reino Unido, 15-17 septiembre 2008. Exeter: University of Exeter, pp. 1-7.
- Ward, S., Barr S., Memon F., y Butler D. (2013). "Rainwater harvesting in the UK: exploring water-user perceptions". *Urban Water Journal*, 10(2), pp. 112–126. Disponible en: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/1573062X.2012.709256?journalCode=nurw20> [Consultado 29-05-2017].
- Weather Forecast Office. (2017). National Weather Service. Disponible en: <https://www.weather.gov/ffc/pop> [Consultado 25-04-2017].
- Weiner E. R. (2013). *Applications of Environmental Aquatic Chemistry. A practical guide*. 3ª Edición. Florida, E. U. A.: Taylor & Francis Group.
- Withers, P., Jordan P., May L., Jarvie H., & Deal N. (2014) "Do septic tank systems pose a hidden threat to water quality?" *Frontiers in Ecology and the Environment*, 12(2), pp. 123-130. Disponible en: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1890/130131/abstract> [Consultado 17-01-2017].

ANEXO 1

Prueba de rebote de agua para evaluar la altura del colector

El esquema de la prueba de rebote de agua se aprecia en la figura 28. Se comprobó que el agua que rebotó en el suelo no alcanzó la altura suficiente para introducirse en la cubeta superior, (donde se coloca el recipiente colector de agua de lluvia), ya que la hoja que se puso en su interior se mantuvo sin salpicaduras.

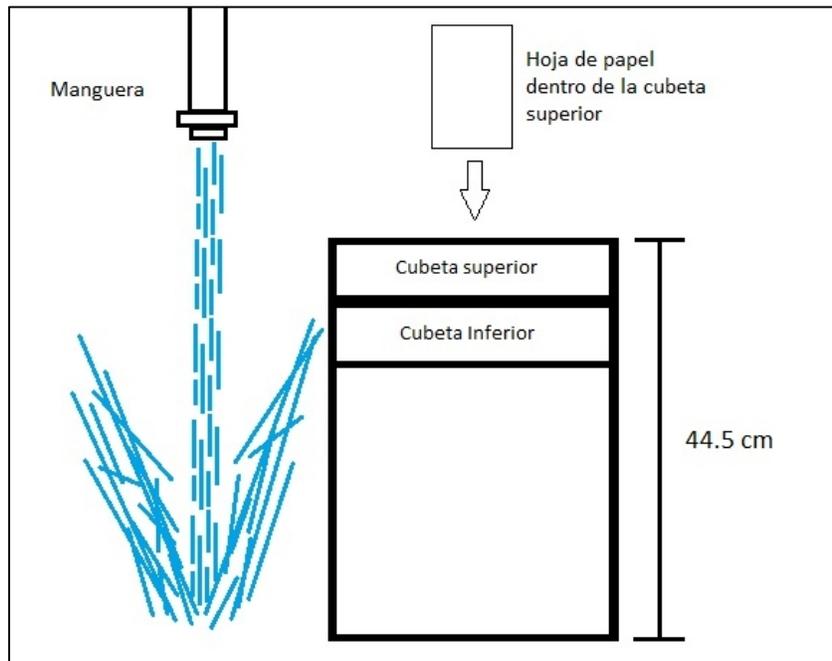


Figura 28. Prueba de rebote de agua en prototipo de colector de agua de lluvia. (Elaboración propia)

ANEXO 2

Prueba de interacción de naftaleno con el material del recipiente de plástico que se utilizó para coleccionar agua de lluvia

En la prueba que se llevó a cabo para conocer si había interacción de los hidrocarburos con el material del colector, se obtuvieron los siguientes resultados: en la prueba base realizada al inicio del experimento se observó claramente la presencia de naftaleno con una concentración de 0.41 mg/l (Figura 29), 24 horas después se evaluaron los estándares colocados en los recipientes. Se observó una concentración de 0.06 mg/l para la solución contenida en el recipiente de vidrio (Figura 30), mientras que para la solución contenida en el recipiente de plástico no se detectó el naftaleno (Figura 31). Se infiere que la disminución en la concentración de naftaleno observada en el recipiente de vidrio, en relación con la prueba base fue debida a la volatilización del naftaleno, mientras que para el recipiente de plástico se infiere que una parte se volatilizó y otra parte tuvo interacción con el material, por lo que no se pudo detectar.

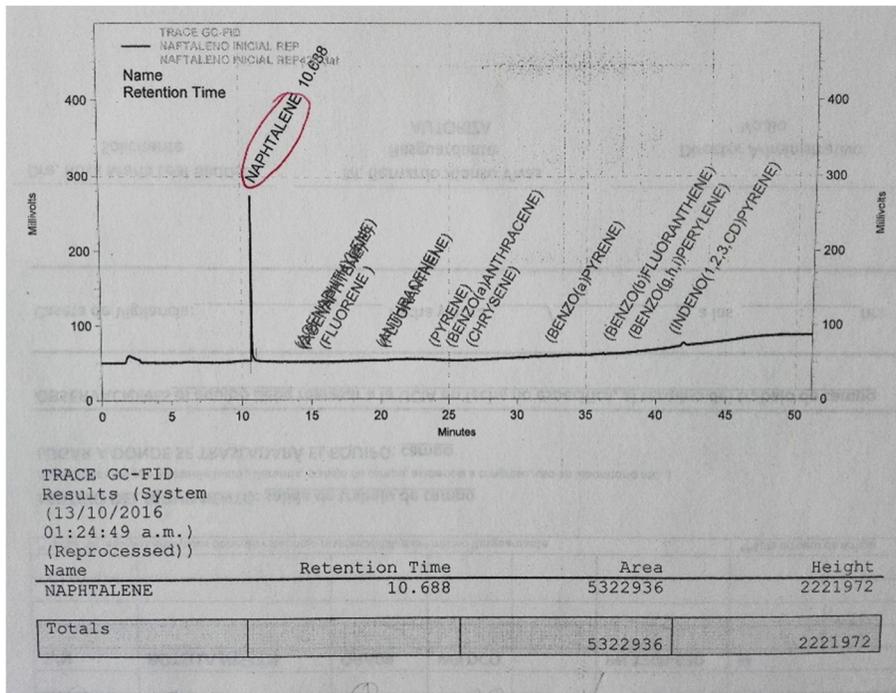


Figura 29. Prueba base de detección de naftaleno.

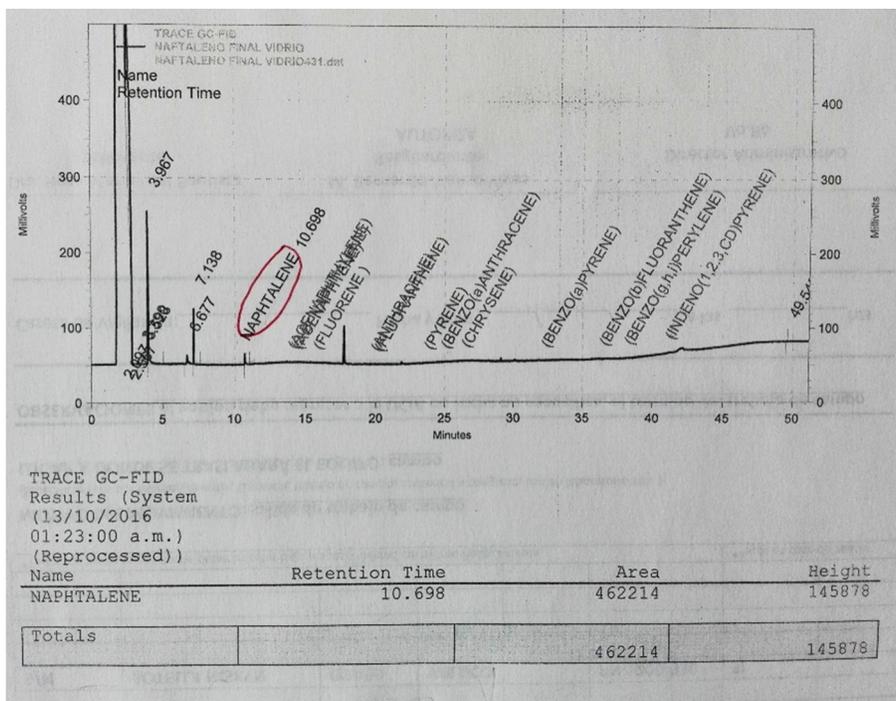


Figura 30. Prueba de detección de naftaleno 24 horas después de haberse colocado en un recipiente de vidrio a 4°C.

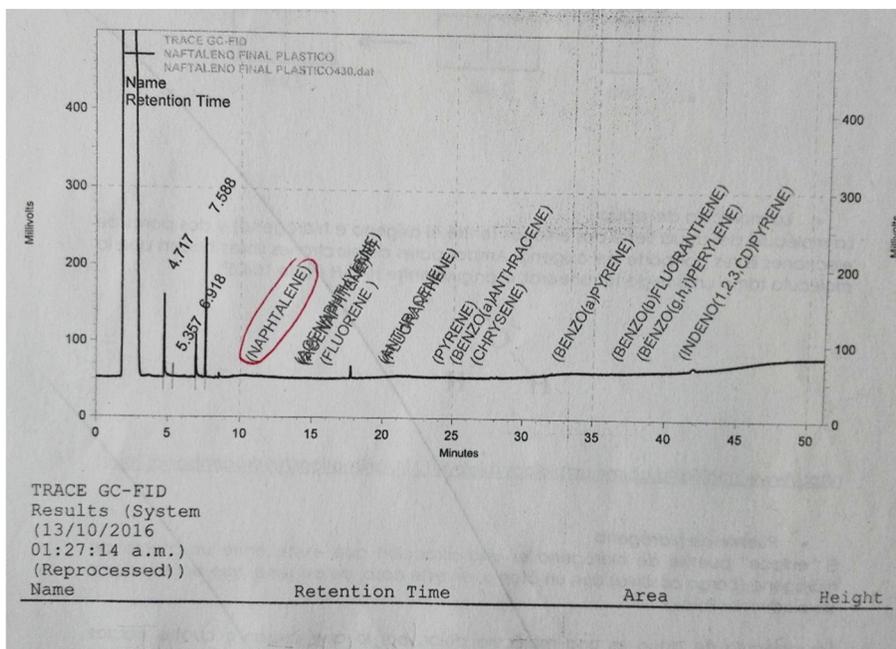


Figura 31. Prueba de detección de naftaleno 24 horas después de haberse colocado en un recipiente de plástico a 4°C.

De esta manera se decidió trasvasar la muestra recolectada del recipiente de plástico a un recipiente de vidrio, para evitar pérdidas de hidrocarburos en caso de su existencia dentro de las muestras.

ANEXO 3

INSTRUCCIONES PARA COLECTAR EL AGUA DE LLUVIA

1. Estar al pendiente del inicio de la lluvia en las fechas señaladas por la responsable del proyecto.
2. Cuando inicie la lluvia sacar las cubetas y colocarlas en un lugar alejado de árboles, bardas o cualquier superficie donde pueda rebotar el agua de lluvia y luego caer en el recipiente de plástico, igualmente es necesario que en el lugar donde se coloque el colector no se encuentren personas o animales de granja o mascotas que puedan tener contacto con él.
3. Lavarse las manos y colocarse los guantes.
4. Sacar de la bolsa de plástico el recipiente con tapa y destaparlo, sin tocar el interior del recipiente ni el interior de la tapa y colocarlo en la cubeta superior. (Guardar la tapa en la misma bolsa mientras termina la colecta de lluvia). Desechar los guantes.
5. En la hoja de registro, poner fecha, nombre de quien hizo la colecta, hora de inicio de la lluvia y hora a la que se puso el colector.
6. Esperar a que termine la lluvia y anotar la hora en la hoja de registro.
7. Preparar un área limpia donde se pueda manejar el recipiente con el agua de lluvia.
8. Lavarse perfectamente las manos y colocarse el otro par de guantes.
9. Sacar el recipiente de plástico de la cubeta superior y llevarlo al área que se preparó anteriormente. **ES MUY IMPORTANTE QUE NO SE TOQUE EL INTERIOR DEL RECIPIENTE MIENTRAS SE MANIPULA.**
10. Con mucho cuidado abrir el recipiente de vidrio, llenarlo al ras con el agua de lluvia y taparlo perfectamente, de tal forma que quede la menor cantidad de aire posible en su interior.

11. Posteriormente vaciar una pequeña porción del agua colectada (del recipiente de plástico grande) al vaso de plástico, desechar el resto del agua y tapar el recipiente grande.
12. En el vaso, sumergir la tira de pH por 5 segundos, retirar y comparar el color de ésta con los colores que trae el patrón proporcionado. Anotar en la hoja de registro el valor correspondiente.
13. Si se le fue entregado un termómetro, sumergir el termómetro por 5 minutos en el agua del mismo recipiente donde se sumergió la tira y anotar en la hoja de registro la temperatura.
14. Guardar en el refrigerador el recipiente de vidrio bien tapado. Escribir en la hoja de registro la hora a la que se metió al refrigerador.
15. Si se tiene alguna observación extra, favor de anotarla en la hoja de registro en el campo de "Observaciones"
16. Notificar a la responsable del proyecto (Alicia Sosa Martínez, Cel. 294 116 88 62) que se hizo la colecta, quien pasará a la brevedad posible por los recipientes.

NOTA: En caso de tener cualquier duda con respecto al procedimiento favor de comunicarse con la responsable.

GRACIAS POR SU APOYO Y CONTRIBUCIÓN

ANEXO 4

HOJA DE REGISTRO PARA LA COLECTA DE AGUA DE LLUVIA

Favor de llenar los campos como se indica en la hoja de instrucciones anexa.

Fecha _____ Clave del sitio: _____

Nombre de quien colecta el agua: _____

Hora de inicio de lluvia: _____

Hora de puesta de colector: _____

Hora de fin de lluvia: _____

Hora de refrigeración del agua: _____

Parámetros registrados

pH: _____ Temperatura: _____

Observaciones: _____

ANEXO 5

ADAPTACIÓN AL MÉTODO 502.2 DE LA EPA PARA ANÁLISIS DE BTEX

La adaptación que se realizó al método 502.2 de la EPA para análisis de BTEX fue el tipo de extracción, el cual se llevó a cabo por medio de la técnica de Micro extracción en Fase Sólida (Pawliszyn, 2000) a través de una fibra DVB/Carboxen/PDMS por 35 minutos.

El análisis cromatográfico se realizó como se detalla en el método 502.2 de la EPA, con un cromatógrafo de gases Thermo Scientific Trace GC Ultra, la columna utilizada fue Trace GC Ultra At-50 (30m x 0.33mm x 0.25um) con un detector de fotoionización.

ANEXO 6

ADAPTACIÓN AL MÉTODO 610 DE LA EPA PARA ANÁLISIS DE PAH

La adaptación que se realizó al método 610 de la EPA para análisis de PAH fue el tipo de extracción, el cual se llevó a cabo por medio de la técnica de Micro extracción en Fase Sólida (Pawliszyn, 2000) a través de una fibra DVB/Carboxen/PDMS por 35 minutos.

El análisis cromatográfico se realizó como se detalla en el método 610 de la EPA, con un cromatógrafo de gases Thermo Scientific Trace GC Ultra, la columna utilizada fue Trace GC Ultra At-50 (30m x 0.33mm x 0.25um) con un detector de fotoionización.

ANEXO 7

DATOS SOBRE EL ALMACENAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA DE LOS COLABORADORES

1. ¿Tiene alguna forma de evitar el paso de basura o tierra al contenedor (cisterna, tinaco, tambo, cubeta)?

2. ¿Qué contenedor tiene? Cubeta/s () Tambo/s () Tinaco/s () Cisterna/s ()
Otro:_____
3. ¿De qué material es su contenedor?
Plástico () Mampostería() Metal () Otro:_____
4. Si es de mampostería ¿Está recubierto de algo para evitar fugas? Si () No ()
¿De qué? _____
5. ¿De qué capacidad es su contenedor?

6. ¿En dónde se encuentra su contenedor? Enterrado () Semienterrado ()
A nivel del suelo () Sobre una plataforma () En el techo ()
Otro:_____
7. ¿Limpia el sistema o el contenedor? Si () No ()
Sistema () Sólo Contenedor ()
8. ¿Cómo y con qué lo limpia? _____

9. ¿Cada cuánto lo limpia? _____
10. ¿Mezcla el agua de lluvia con agua potable o de pozo? Si () No () A veces ()

11. Normalmente ¿Cuánto tiempo deja el agua almacenada?

12. ¿Cuánto es lo más que la ha dejado?

13. En este último evento de lluvia

a. ¿Su contenedor tenía agua? Si () No () No sé ()

b. ¿De lluvia o potable o de pozo? Lluvia () Potable () Pozo ()

c. ¿Qué tiempo tenía esa agua en el contenedor? _____

d. En esta ocasión ¿calcula cuánta agua pudo cosechar? _____

e. Antes de la lluvia ¿su contenedor se encontraba tapado o destapado?

Tapado () Destapado ()

f. ¿Estaba limpio? Si () No ()

ANEXO 8

HOJA DE REGISTRO PARA LA COLECTA DE AGUA DE LLUVIA ALMACENADA

Fecha _____ Hora: _____ Clave del sitio: _____

Nombre de quien colecta el agua: _____

Tipo de almacenamiento: _____

Tipo de colecta: _____

Cantidad recolectada: _____ Frascos de _____ ml

Parámetros registrados

pH: _____ Temperatura: _____ Conductividad eléctrica: _____

Observaciones: _____

ANEXO 9

Encuesta para personas que captan agua de lluvia en Puerto Morelos, Quintana Roo.

Localidad	Coordenadas geográficas	Fecha	Hora

Datos generales del entrevistado

Sexo : M() F()	Edad:	Ocupación actual:
Educación: Sin estudios() Primaria() Secundaria() Preparatoria() Universidad() Posgrado()		
Lugar de procedencia	Tiempo de residencia en su domicilio actual	¿Cuántas personas viven en su casa?

Percepción del entrevistado sobre el agua de lluvia

¿Por qué utiliza el agua de lluvia? <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>
¿Cuál es su opinión sobre el agua de lluvia y su captación?

--

Información sobre el sistema de captación de agua de lluvia

¿Cómo capta el agua?

Forma directa (Tambos, cubetas, cisterna al aire libre) ()

Sistema más complejo (Techo, canales, tubos y cisterna o tinaco) () Bomba de agua ()

Otro: _____

¿Tiene filtros? Si () No ()

¿Qué tipo de filtro(s) tiene?

Rejillas para basura () Humedales artificiales () Filtros fabricados ()

Otros: _____

¿De que material es su contenedor?

Metal () Plástico () Cemento ()

Otro: _____

¿De qué capacidad es su contenedor?

200 L () 450 L () 600 () 750 L () 1,100 L () 2,500 L () 5,000 L () 10,000 ()

Otro:

¿En dónde se encuentra su contenedor?

Techo () Sobre alguna plataforma () El suelo () Enterrado ()

Otro: _____

¿Limpia el sistema o el contenedor?

Si () No () Sistema () Solo el contenedor ()

¿Qué tan frecuentemente? _____

Usos del agua de lluvia, tiempo de utilización, costos, calidad del agua y salud.

¿Para que usa el agua de lluvia?

Limpieza de la casa () Higiene personal (bañarse, lavarse los dientes) ()

Cocinar y beber () Riego de plantas () Escusado () Lavar la ropa ()

Otros: _____

¿Mezcla el agua de lluvia con el agua potable? Si () No ()

Normalmente ¿Cuánto tiempo deja el agua almacenada? Y ¿cuánto es lo más que la ha dejado

almacenada? _____

¿Qué color tiene el agua cuando la colecta?

Sin color () Café () Verde () Amarilla ()

Otros: _____

¿Qué olor tiene el agua cuando la colecta?

Sin olor () Cloro () Té () Huevo podrido () Caño ()

Otros: _____

¿Qué sabor tiene el agua cuando la colecta?

Sin sabor () Cloro () Lamoso () Salado () Amargo ()

Otros: _____

¿Qué color tiene el agua cuando está almacenada?

Sin color () Café () Verde () Amarilla ()

Otros: _____

¿Qué olor tiene el agua cuando está almacenada?

Sin olor () Cloro () Té () Huevo podrido () Caño ()

Otros: _____

<p>¿Qué sabor tiene el agua cuando está almacenada?</p> <p>Sin sabor () Cloro () Lamoso () Salado () Amargo ()</p> <p>Otros: _____</p>
<p>¿Qué color tiene el agua cuando la utiliza?</p> <p>Sin color () Café () Verde () Amarilla ()</p> <p>Otros: _____</p>
<p>¿Qué olor tiene el agua cuando la utiliza?</p> <p>Sin olor () Cloro () Té () Huevo podrido () Caño ()</p> <p>Otros: _____</p>
<p>¿Qué sabor tiene el agua cuando la utiliza?</p> <p>Sin sabor () Cloro () Lamoso () Salado () Amargo ()</p> <p>Otros: _____</p>
<p>¿Tiene otra forma de surtirse de agua?</p> <p>Red de agua potable () ¿Cuánto gasta mensualmente? _____</p> <p>Pozo ()</p> <p>Pipa () ¿Cuánto gasta mensualmente? _____</p>
<p>¿Cuánto le costó instalar el sistema para captar agua?</p>
<p>¿Le da mantenimiento?</p> <p>Si () No ()</p> <p>¿Aproximadamente cuánto gasta al año?</p>
<p>¿Usted recomendaría el uso de agua de lluvia</p> <p>Si () No () ¿Por</p>

qué?: _____

¿Está conectado a la red de drenaje?
 Si () No ()
 ¿Tiene...?
 Fosa séptica () Letrina () No tiene ()
 Otros: _____
 Si tiene fosa séptica, ¿Cuántas veces al año le da mantenimiento? _____

¿Cuántos años tiene con la fosa?

¿Se enferma seguido del estómago?
 Si () No () Por temporadas () ¿Cuáles?

¿Se enfermaba más antes de usar el agua de lluvia o después?
 Antes () Después () No noto diferencia ()

Análisis FODA

Fortalezas	Oportunidades
¿Qué es lo bueno de usar agua de lluvia?	¿Qué otros usos cree que se le puedan dar al agua de lluvia?
Debilidades	Amenazas
¿Qué es lo malo de usar agua de lluvia?	¿Qué cosas le preocupan por usar agua de lluvia?

ANEXO 10

Mapas de ubicación de las muestras tomadas en orden cronológico.

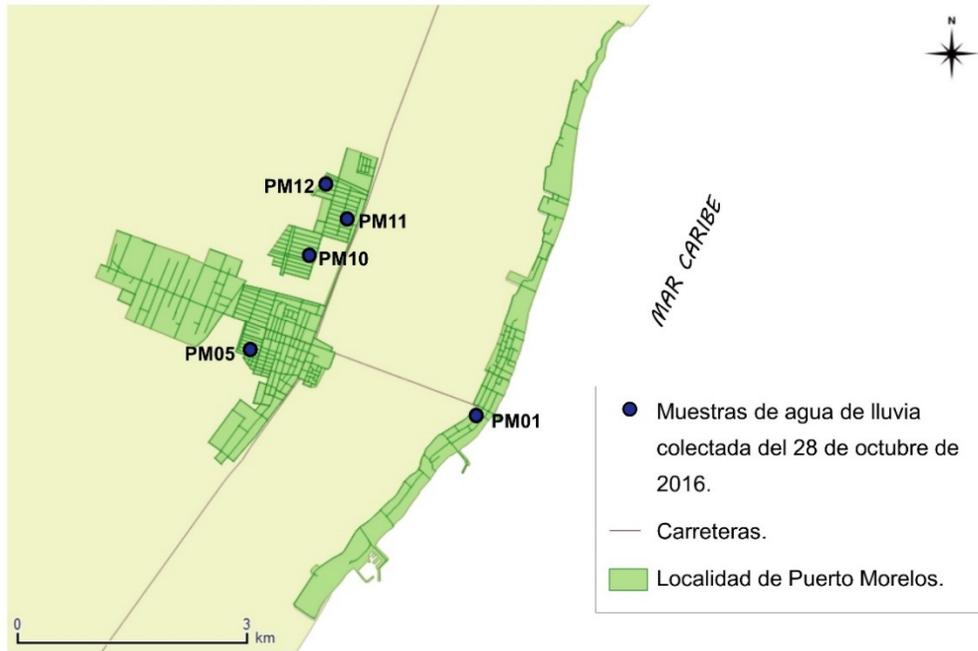


Figura 32. Muestras de agua de lluvia colectada del 28 de octubre de 2016. (Modificado de INEGI, 2010a).

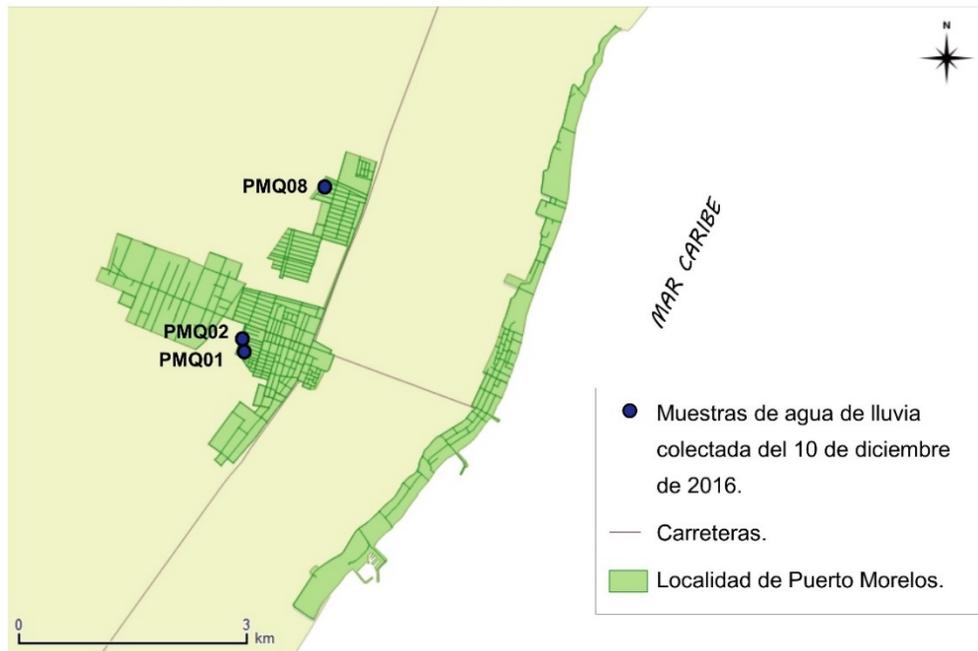


Figura 33. Muestras de agua de lluvia colectada del 10 de diciembre de 2016. (Modificado de INEGI, 2010a).

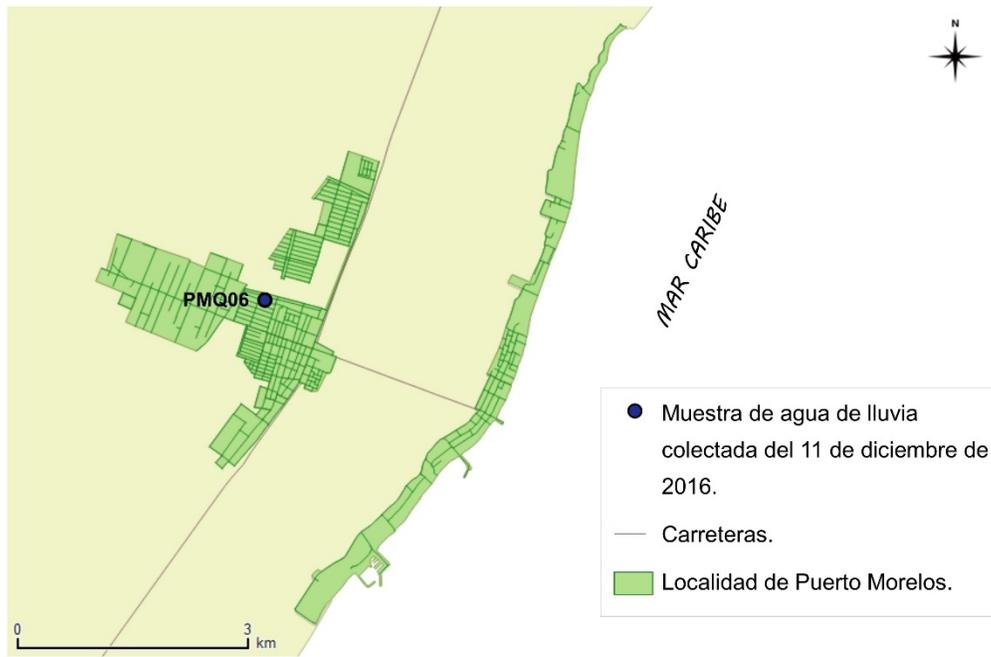


Figura 34. Muestra de agua de lluvia colectada del 11 de diciembre de 2016. (Modificado de INEGI, 2010a).

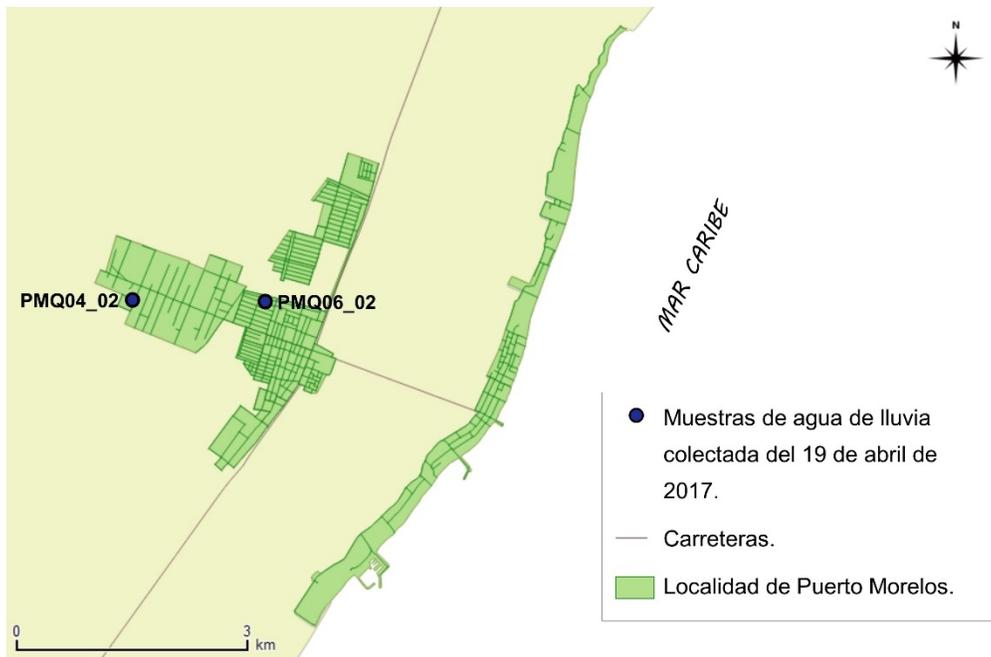


Figura 35. Muestras de agua de lluvia colectada del 19 de abril de 2017. (Modificado de INEGI, 2010a).

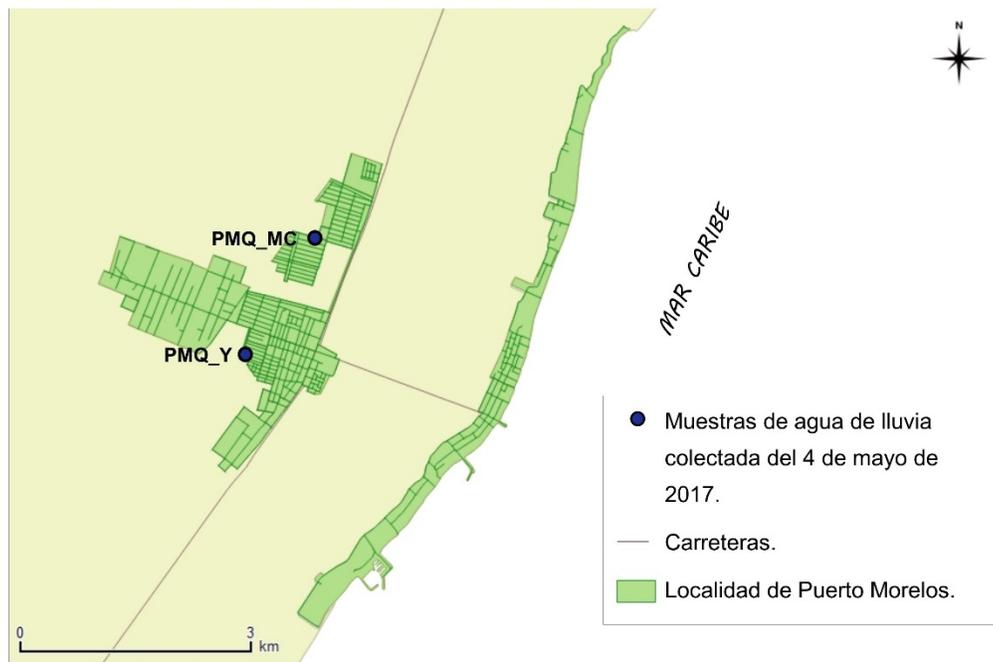


Figura 36. Muestras de agua de lluvia colectada del 4 de mayo de 2017. (Modificado de INEGI, 2010a).

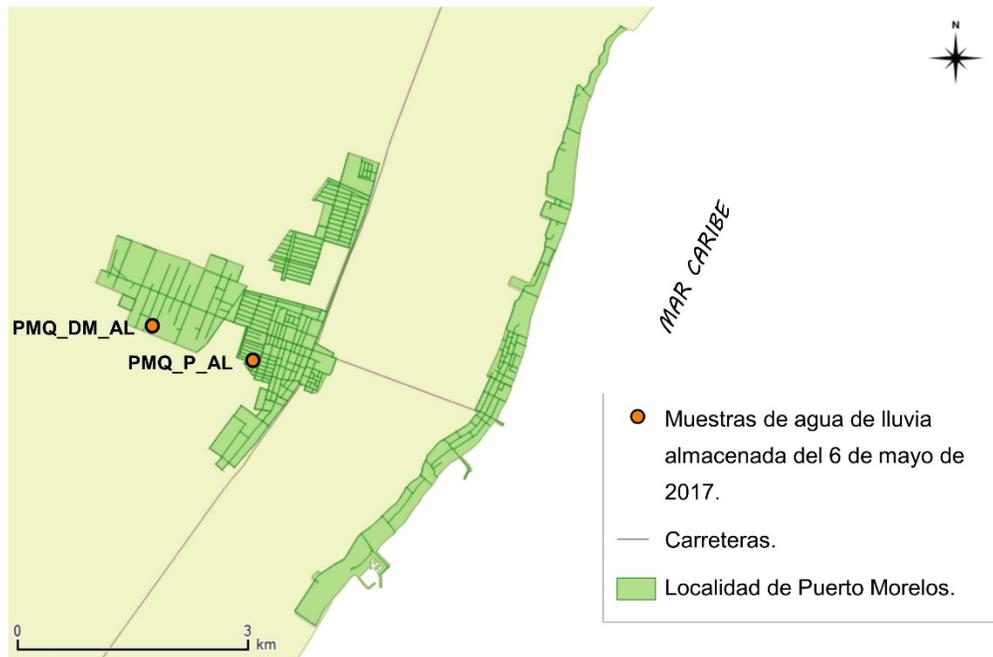


Figura 37. Muestras de agua de lluvia almacenada del 6 de mayo de 2017. (Modificado de INEGI, 2010a).

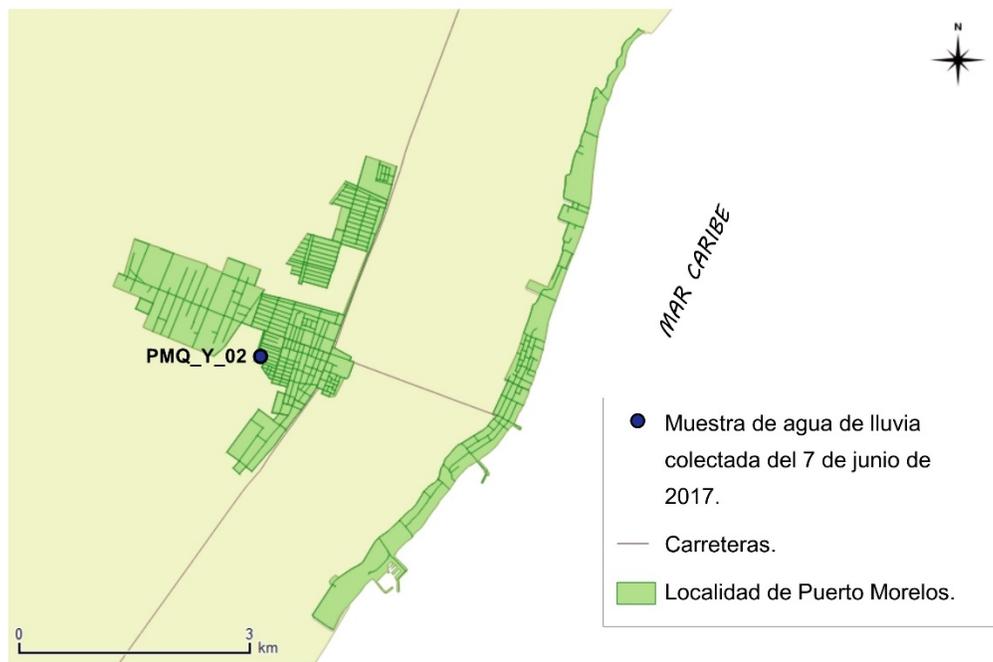


Figura 38. Muestras de agua de lluvia colectada del 7 de junio de 2017. (Modificado de INEGI, 2010a).

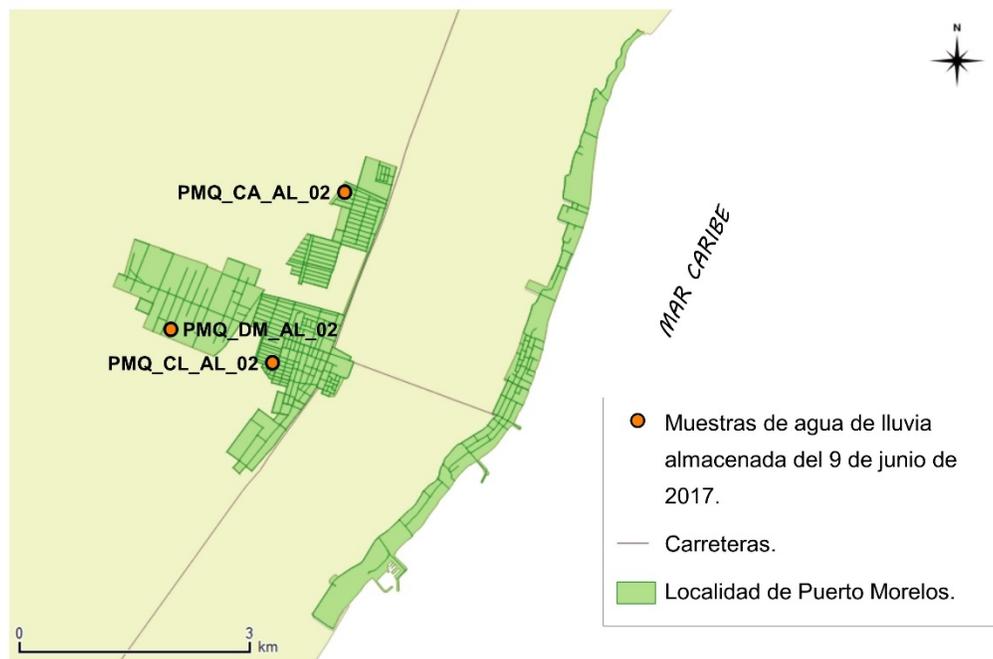


Figura 39. Muestras de agua de lluvia almacenada del 9 de junio de 2017. (Modificado de INEGI, 2010a).

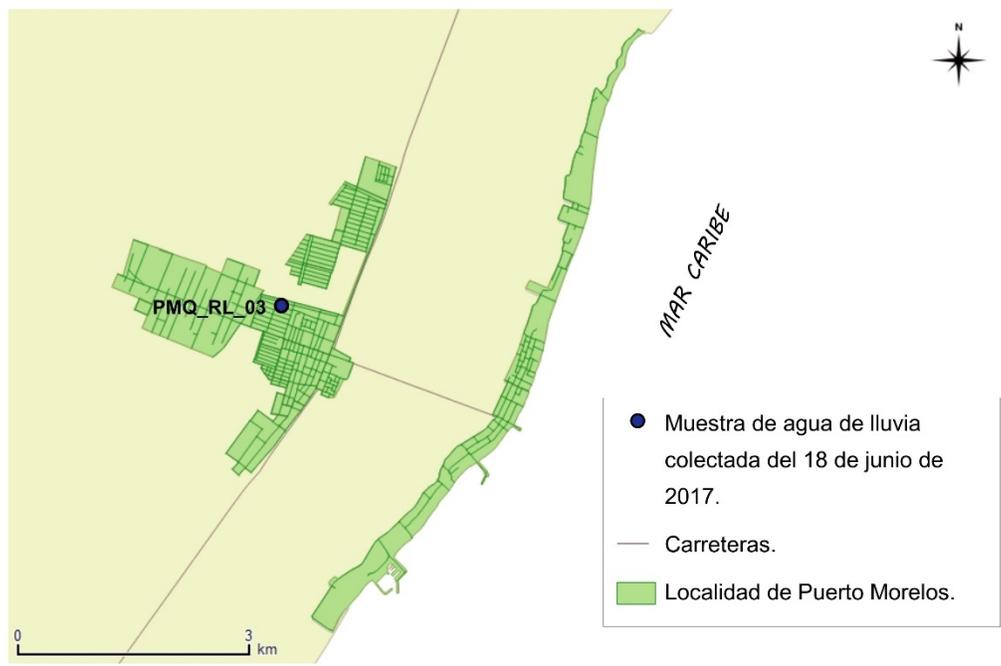


Figura 40. Muestras de agua de lluvia colectada del 18 de junio de 2017. (Modificado de INEGI, 2010a).

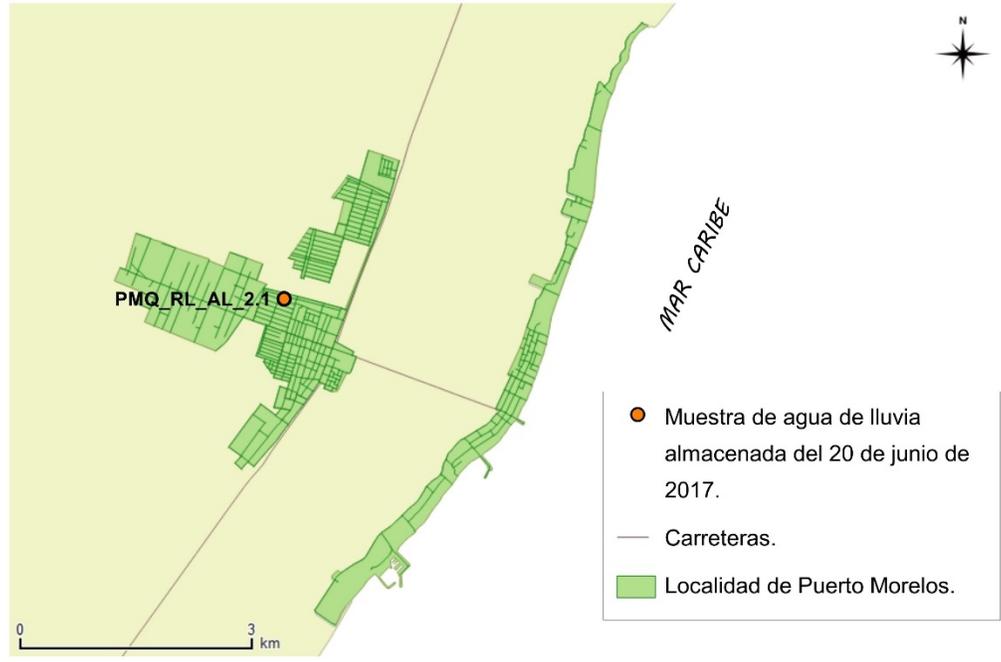


Figura 41. Muestras de agua de lluvia almacenada del 20 de junio de 2017. (Modificado de INEGI, 2010a).

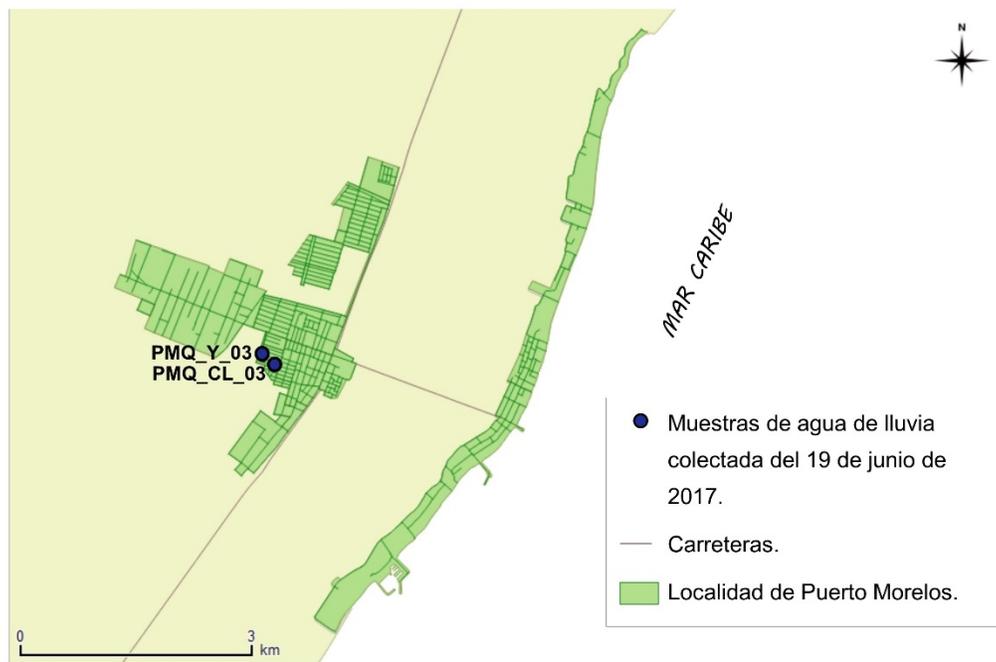


Figura 42. Muestras de agua de lluvia colectada del 19 de junio de 2017. (Modificado de INEGI, 2010a).

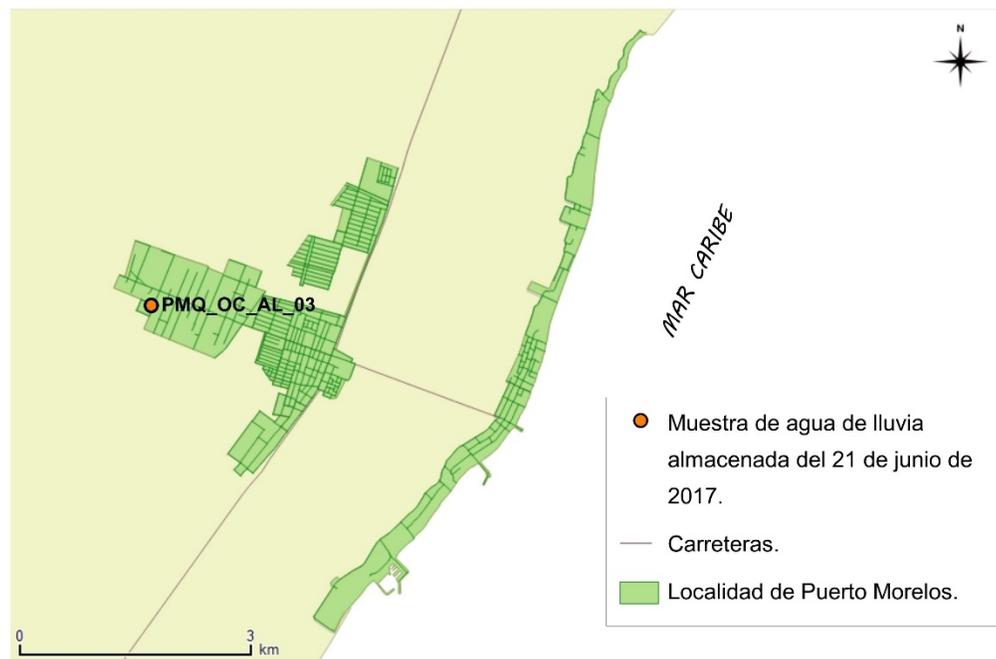


Figura 43. Muestras de agua de lluvia almacenada del 21 de junio de 2017. (Modificado de INEGI, 2010a).

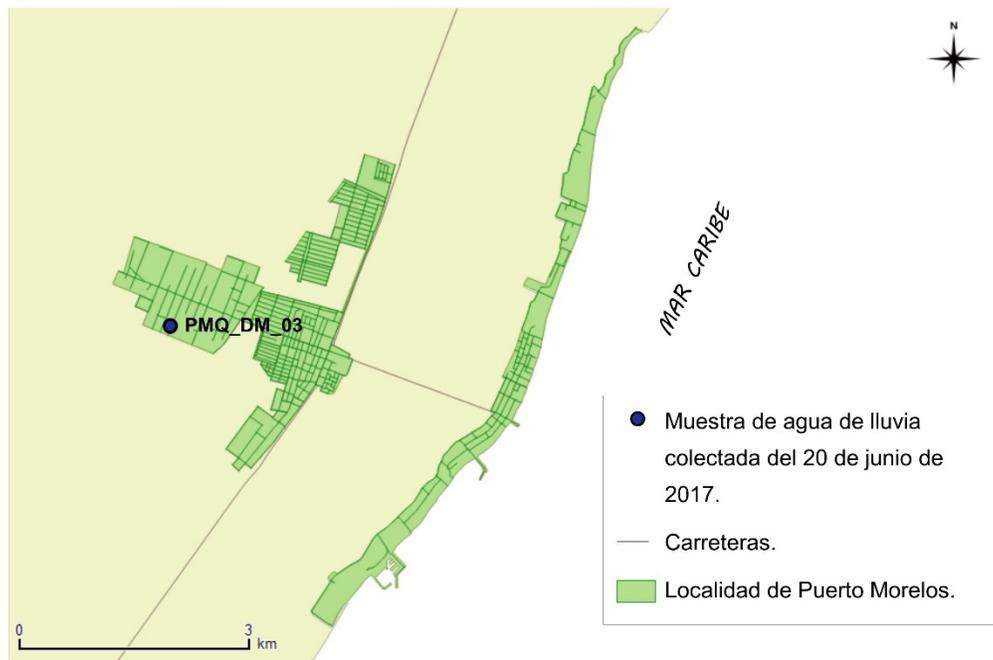


Figura 44. Muestras de agua de lluvia colectada del 20 de junio de 2017. (Modificado de INEGI, 2010a).

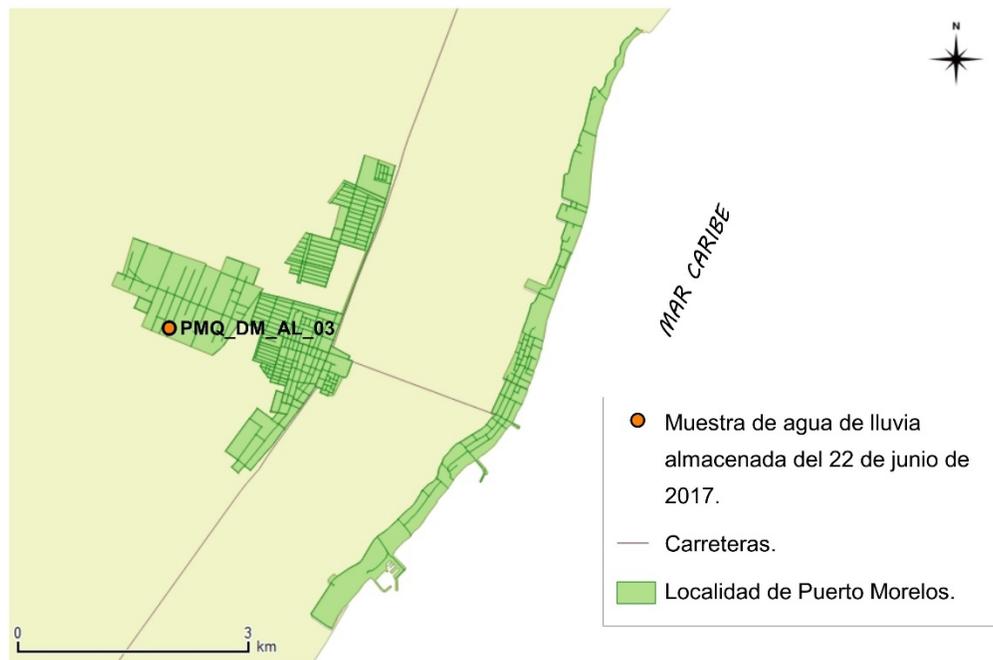


Figura 45. Muestras de agua de lluvia almacenada del 22 de junio de 2017. (Modificado de INEGI, 2010a).