

# ATLAS DEL SOCIOECOSISTEMA

RÍO GRANDE DE COMITÁN-LAGOS DE MONTEBELLO, CHIAPAS



Universidad Nacional  
Autónoma de México

**SDI** Secretaría  
de Desarrollo  
Institucional

**SUSMAI** ●●  
SEMINARIO UNIVERSITARIO DE SOCIEDAD, MEDIO AMBIENTE E INSTITUCIONES



# Atlas

del Socioecosistema

Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas

Universidad Nacional Autónoma de México

Dr. Leonardo Lomelí Vanegas  
Rector

Dra. Patricia Dolores Dávila Aranda  
Secretaria General

Mtro. Tomás Humberto Rubio Pérez  
Secretario Administrativo de la UNAM

Dra. Diana Tamara Martínez Ruiz  
Secretaria de Desarrollo Institucional

Dra. Marisa Mazari Hiriart  
Coordinadora  
Seminario Universitario de Sociedad,  
Medio Ambiente e Instituciones (SUSMAI)

# Atlas

## del Socioecosistema

### Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas

Marisa Mazari Hiriart

Paola Massyel García Meneses

Coordinadoras editoriales



Universidad Nacional Autónoma de México

México, 2024

## Catalogación en la publicación UNAM. Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales de Información

Los contenidos de la obra fueron analizados con software de similitudes, por lo que cumplen plenamente con los estándares científicos de integridad académica. De igual manera, fue sometida a un riguroso proceso de dictaminación doble ciego con un resultado positivo, el cual garantiza la calidad académica del libro, que fue aprobado por el Comité Editorial de la Secretaría de Desarrollo Institucional.

**La edición y publicación de este libro fue financiada con recursos del Seminario Universitario de Sociedad, Medio Ambiente e Instituciones (SUSMAI).**

Atlas del Socioecosistema  
Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas

Aviso legal

Esta edición de un ejemplar de (331 MB) fue preparada por la Secretaría de Desarrollo Institucional de la UNAM.  
Diseño editorial y gráfico: Elisa Paola Morales Trosino y Omar Hernández Acosta.  
Edición literaria y Compilación: Jannice Alvarado Velázquez y Adrián Fernández Reyes.  
Diseñadora: Fabiola Gress Carrasco.

Primera edición digital: 20 de febrero de 2024.

D.R. © 2024, Universidad Nacional Autónoma de México  
Ciudad Universitaria, Alcaldía de Coyoacán, C.P., 04510, Ciudad de México, México  
Secretaría de Desarrollo Institucional  
Ciudad Universitaria, 8o. Piso de la Torre de Rectoría  
Alcaldía de Coyoacán, C.P., 04510, Ciudad de México, México

ISBN del EPUB: 978-607-30- 8737-7

Foto de portada: Lago Ensueño, Chiapas  
© Adrián Fernández Reyes

Esta edición y sus características son propiedad de la Universidad Nacional Autónoma de México.  
Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales.

Hecho en México / Made in Mexico

# ATLAS DEL SOCIOECOSISTEMA

RÍO GRANDE DE COMITÁN-LAGOS DE MONTEBELLO, CHIAPAS

Marisa Mazari Hiriart  
Paola Massyel García Meneses  
**Coordinadoras editoriales**

Jannice Alvarado Velázquez  
Adrián Fernández Reyes  
**Edición literaria y compilación**

Fabiola Gress Carrasco  
**Diseño cartográfico**

Abisay Haro  
Elizabeth Alessandra López Anaya  
**Compiladoras**

Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad  
Instituto de Ecología, **UNAM**

Seminario Universitario de Sociedad, Medio Ambiente e Instituciones, **UNAM**

**Febrero 2024**

Universidad Nacional Autónoma de México

Instituto de Ecología

Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad

Seminario Universitario de Sociedad, Medio Ambiente e Instituciones



Universidad Nacional  
Autónoma de México



Laboratorio  
Nacional  
de Ciencias  
de la Sostenibilidad



# ÍNDICE

Índice de mapas

Índice de figuras

Índice de tablas

Acrónimos y siglas

Agradecimientos

Financiamiento

Presentación

Introducción

## I. COMPONENTE HUMANO

Municipios y localidades	15
Uso de suelo y vegetación	21
Producción agrícola	25
Turismo	29
Contribución del Programa de Ordenamiento Ecológico	33
Desigualdad	37
Rezago social	42

## II. COMPONENTE BIOLÓGICO

Biodiversidad de la cuenca	47
Parque Nacional Lagunas de Montebello	51
Ictiofauna	61
Macroinvertebrados	66
Conservación	73

III

## III. COMPONENTE FÍSICO

77

VII

X

XII

3

5

7

11

Geología	77
Edafología	84
Geomorfología	92
Climatología	96
Hidrología	104
Limnología	108
Agua subterránea	117
Servicios ecosistémicos hidrológicos	121

15

## IV. PRESIONES SOCIOAMBIENTALES

129

Exposición a la contaminación hídrica	129
Alteraciones fisicoquímicas de la calidad del agua	138
Alteraciones microbiológicas de calidad del agua	150
Presencia de cianobacterias	157
Erosión del suelo y aporte de sedimentos	164
Plaguicidas organoclorados en sedimentos	170
Problemas asociados con el uso y manejo de agroquímicos	174
Comorbilidad y mortalidad por deterioro ambiental	180
Vulnerabilidad socioambiental	186
Cambio climático	191
Migración por cambio climático	193

## V. PERSPECTIVAS A FUTURO

199

Lista de participantes y afiliaciones	201
---------------------------------------	-----



## ÍNDICE DE MAPAS

### Mapa 1

Municipios y localidades en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas. 18

### Mapa 2

Población en localidades de la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas. 19

### Mapa 3

Mapa de uso del suelo y vegetación de la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas. 23

### Mapa 4

Ordenamiento Ecológico de la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello. 35

### Mapa 5

Registros de grupos biológicos presentes en la cuenca del Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas. 49

### Mapa 6

Ubicación y territorialidad del Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chiapas. 56

### Mapa 7

Subzonificación del Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chiapas. 57

### Mapa 8

Mapa de uso de suelo y vegetación del Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chiapas. 58

### Mapa 9

Diferenciación de lagos por conductividad eléctrica y abundancia de grupos dominantes de macroinvertebrados en el Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chiapas. 69

### Mapa 10

Diferenciación de lagos por conductividad eléctrica y grupos tróficos de macroinvertebrados en el Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chiapas. 70

### Mapa 11

Áreas de la cuenca RGC-LM que forman parte de las Regiones Terrestres Prioritarias (RTP) y que son Sitios Prioritarios Terrestres para la Conservación de la Biodiversidad (SPTCB), y Sitios Prioritarios Acuáticos epicontinentales para la Conservación de la Biodiversidad (SPAECB). 74

### Mapa 12

Geología de la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas. 80

### Mapa 13

Mapa de suelos de la cuenca del Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas. 88

### Mapa 14

Delimitación de trece unidades geomorfológicas de la cuenca del Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas. 94

### Mapa 15

Temperatura media anual de la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas. 97

### Mapa 16

Temperatura mínima de la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas. 98

### Mapa 17

Temperatura máxima de la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas. 99

### Mapa 18

Precipitación anual promedio de la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas. 100

### Mapa 19

Ubicación de la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello dentro de la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta. 105

### Mapa 20

Cuenca del Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello y sus subcuencas, Chiapas, México. 106

### Mapa 21

Transparencia (profundidad del disco de Secchi, Zds) de las aguas de los Lagos de Montebello. 111

### Mapa 22

Concentración de nitrógeno total (NT) en los Lagos de Montebello, Chiapas. 112

### Mapa 23

Concentración de fósforo total (PT) en los Lagos de Montebello, Chiapas. 113

### Mapa 24

Estado trófico (con base en la concentración de clorofila a) de los Lagos de Montebello. 114

### Mapa 25

Elevación del nivel estático de la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas. 119

### Mapa 26

Porcentaje de contaminación proyectado por WaterWorld en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas. 125

### Mapa 27

Rendimiento hídrico (mm/año) en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas. 126

### Mapa 28

Exposición a la contaminación hídrica en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas. 133

### Mapa 29

Concentraciones promedio de pH durante 2013 a 2020 en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas. 142

### Mapa 30

Concentraciones promedio de sólidos disueltos totales (SDT) durante 2013 a 2020 en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas. 143

### Mapa 31

Concentraciones promedio de turbidez durante 2013 a 2020 en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas. 144

### Mapa 32

Concentraciones promedio de oxígeno disuelto durante 2013 a 2020 en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas. 145

### Mapa 33

Densidad de coliformes fecales en la temporada de lluvias en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas. 152

### Mapa 34

Densidad de coliformes fecales en la temporada de secas en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas. 153

### Mapa 35

Densidad de enterococos fecales en la temporada de lluvias en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas. 153

### Mapa 36

Densidad de enterococos fecales en la temporada de secas en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas. 155

### Mapa 37

Sitios de colecta de cianobacterias en la cuenca del Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas. 160

### Mapa 38

Erosión del suelo en la cuenca del Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas. 167

### Mapa 39

Presencia de plaguicidas organoclorados en sedimento de la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas. 172

### Mapa 40

Vulnerabilidad en ejidos seleccionados en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas. 189

## ÍNDICE DE FIGURAS

### Figura 1

Población total en las localidades de la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, por municipio (INEGI 2000, 2010 y 2020). 16

### Figura 2

Producción promedio anual de maíz amarillo de temporal (miles de toneladas) para el periodo 2003-2020. Fuente: SIACON, 2020. 26

### Figura 3

Producción promedio anual de maíz blanco de temporal (miles de toneladas) para el periodo 2003-2020. Fuente: SIACON, 2020. 26

### Figura 4

Producción anual de cultivos de temporal para el ciclo otoño-invierno en el periodo 2003-2013, en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello. 26

### Figura 5

Producción anual de cultivos de temporal para el ciclo primavera-verano en el periodo 2003-2013, en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello. 27

### Figura 6

Producción anual de cultivos de riego para el ciclo otoño-invierno en el periodo 2003-2013 para dos municipios de la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello. 27

### Figura 7

Producción anual de cultivos perennes de temporal para el periodo 2003-2013, en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello. 28

### Figura 8

Presupuesto promedio destinado al Parque Nacional Lagunas de Montebello por las personas entrevistadas. 30

### Figura 9

Porcentaje de personas con disposición de visitar el Parque Nacional Lagunas de Montebello considerando un escenario de degradación. 30

### Figura 10

Grado de satisfacción del visitante al PNLN, Chiapas. 31

### Figura 11

Índice de Palma en el estado de Chiapas y los municipios de Comitán de Domínguez, La Trinitaria y La Independencia para el año 2000 y 2010. 40

### Figura 12

Grado de rezago social en tres municipios de Chiapas (CONEVAL, 2000, 2010 y 2020). 43

### Figura 13

Índice de Desarrollo Humano (PNUD, 2000, 2010, 2020). 44

### Figura 14

Número de especies registradas en la cuenca RGC-LM (Fuente: SNIB, 2020; Haro, 2017). 47

### Figura 15

Especies registradas en la cuenca RGC-LM, bajo alguna categoría de riesgo o protección en la NOM-059 y en la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN). Para la NOM-059: Amenazadas (A), En peligro de extinción (P), Sujetas a protección especial (Pr). Para la IUCN: En peligro crítico (CR), En peligro de extinción (EN), Vulnerable (VU), casi amenazada (NT). 48

### Figura 16

Macroinvertebrado de la familia Chironomidae. La alta abundancia de esta familia es indicadora de mala calidad del agua. 67

### Figura 17

Macroinvertebrado de la familia Hyalellidae. La dominancia de esta familia generalmente indica buena calidad del agua. 68

### Figura 18

Macroinvertebrado de la familia Coenagrionidae. Una alta abundancia de esta familia está asociada con mala calidad del agua. 68

### Figura 19

Macroinvertebrado de familia Baetidae. Una alta abundancia de esta familia está asociada con mala calidad del agua. 68

### Figura 20

Macroinvertebrados de la familia Caenidae. Su presencia es indicadora de buena calidad del agua. 68

### Figura 21

Perfiles de suelo identificados en geoformas de Montaña en la cuenca. Fotografías Lucy Mora Palomino y Roberto Bonifaz. 85

### Figura 22

Perfiles de suelo identificados en geoformas de Lomerío en la cuenca. Fotografías Lucy Mora y Roberto Bonifaz. 86

### Figura 23

Perfiles de suelo identificados en geoformas de Valle en la cuenca. Fotografías Lucy Mora y Roberto Bonifaz. 87



### Figura 24

Síntesis de los cambios proyectados en la cantidad y calidad del agua en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas. Subcuencas con diferencias significativas se resaltan con los límites en color negro. 123

### Figura 25

Del 1-8 Poblaciones de cianobacterias en los sitios de colecta en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello. Fig. 1. *Anabaenopsis* sp. Fig. 2. *Ancylothrix* sp. Figura 3. *Arthrospira* sp. Fig. 4. *Cylindrospermopsis* sp. Fig. 5. *Limnothrix* sp. Fig. 6. *Microcystis* sp. Fig. 7. *Phormidium* sp. Fig. 8. *Planktothrix* sp. Escala de la barra 10  $\mu$ m. 158

### Figura 26

Hidrograma con valores de caudal observados y simulados mensuales promedio para el sitio Los Riegos, Chiapas. 165

### Figura 27

Hidrograma con valores de caudal observados y simulados mensuales promedio para el sitio Emiliano Zapata, Chiapas. 165

### Figura 28

Porcentaje de uso de agroquímicos a nivel local en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas. 175

### Figura 29

Percepción de salud por localidades de la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas. 175

### Figura 30

Curvas de ajuste del análisis no paramétrico para las dos enfermedades gastrointestinales más prevalentes (notar la diferencia de escalas) en: a) los tres municipios de estudio (periodo de 1998 a 2018), y b) el estado de Chiapas (quinquenios de 1995-2015). 181

### Figura 31

Defunciones por algún tipo de cáncer con evidencia de tumores malignos en los municipios de Comitán de Domínguez, La Independencia y La Trinitaria, en el periodo de 1998 a 2018. 182

### Figura 32

Metodología de la investigación sobre vulnerabilidad socioambiental en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas. 187

### Figura 33

Diagrama de frecuencias de los determinantes de migración en tres momentos de una misma conversación con productores. 194

## ÍNDICE DE TABLAS

### Tabla 1

Número de localidades y población total por municipio en los años 2000, 2010 y 2020. 15

### Tabla 2

Superficie agrícola según tipo de régimen hídrico. Fuente: Anuario Estadístico y Geográfico de Chiapas, 2017. 25

### Tabla 3

Grado e índice de marginación en el estado de Chiapas y los municipios de Comitán de Domínguez, La Trinitaria y La Independencia para el año 2015 (CONAPO, 2016). \* nivel estatal. 40

### Tabla 4

Origen de los Lagos de Montebello, según parámetros morfométricos (adaptada de Alcocer et al., 2016). 53

### Tabla 5

Dimensiones y profundidades de los Lagos de Montebello (información adaptada de Alcocer et al., 2016). \*Ubicado en zona de influencia del Parque Nacional Lagunas de Montebello. 53

### Tabla 6

Riqueza de especies de peces registradas en el río Grande de Comitán, Chiapas (Haro, 2017, p. 32). 62

### Tabla 7

Riqueza de especies registrada en diversos lagos del ANP Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chiapas (Haro, 2017). Las especies no nativas se identifican con \*. 62

### Tabla 8

Parámetros morfométricos de los Lagos de Montebello. (Lmax = longitud máxima, bmax = ancho máximo, A = superficie, P = perímetro, V = volumen, Zmax = profundidad máxima, Zmed = profundidad media). Los lagos están ordenados por su ubicación del NW al SE (Alcocer et al., 2016). 108

### Tabla 9

Riqueza taxonómica (S) de zooplancton pelágico y macroinvertebrados bentónicos (MIB) de la zona profunda de los Lagos de Montebello (Cortés-Guzmán et al., 2019, 2021; Fernández et al., 2020a, 2020b, 2022; Palacios-Vargas et al., 2018). 110

### Tabla 10

Parámetros hidrológicos considerados para la evaluación de los SEH en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas (Mulligan 2013, 2020). 122

### Tabla 11

Descripción de escenarios de modelación proyectados con base en el aumento o disminución de la cobertura forestal en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas. 122

### Tabla 12

Ponderación de fuentes potenciales de contaminación a través del Proceso Analítico Jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés). 131

### Tabla 13

Parámetros físicos y químicos de los sitios de estudio en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas. 159

### Tabla 14

Riqueza y abundancia relativa de las cianobacterias en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas. 159

### Tabla 15

Índices de vulnerabilidad en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas. 187

## Acrónimos y Siglas

**°C:** grados centígrados

**µg/g:** microgramos por gramo

**AICA:** Área de Importancia para la Conservación de las Aves

**ANP:** Área Natural Protegida

**CONAGUA:** Comisión Nacional del Agua

**CONANP:** Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas

**CONAPO:** Consejo Nacional de Población

**CONEVAL:** Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social

**GRS:** Grado de Rezago Social

**IDH:** Índice de Desarrollo Humano

**mm/año:** milímetros por año

**msnm:** metros sobre el nivel del mar

**ng/g:** nanogramos por gramo

**PNUD:** Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

**RAMSAR:** Convención sobre los Humedales de Importancia Internacional

**RGC-LM:** Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello



*Dedicamos esta obra a la memoria de Oscar Escolero Fuentes, a quien recordamos con mucho cariño y gratitud. Hace una década, Oscar inició el trabajo de investigación e involucramiento con las comunidades de la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello. Su dedicación, pasión y legado perduran en nuestra memoria.*



# AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro más sincero reconocimiento a todos los estudiantes, académicos y actores clave que aportaron y apoyaron en la construcción del Atlas del socioecosistema Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas. Gracias por enriquecer con su visión la realización de este documento, el cual esperamos que sea consultado y utilizado ampliamente. Para la consecución del proyecto, se requirió de la colaboración y apoyo de diversas instancias académicas de gobierno local (Comisariados), estatal (Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural) y federal (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales), así como la participación de integrantes de las comunidades de Juznajib La Laguna, El Triunfo y Tzisco. Queremos agradecer especialmente a todas las personas de estas comunidades que nos dedicaron un tiempo especial para llevar a cabo estas investigaciones, nos permitieron entrar a sus casas y nos compartieron sus formas de vida. Se trata, sin duda, de personas comprometidas con la transformación de su comunidad. También hacemos extensivo el agradecimiento a los Institutos de Geología, Ecología, Ingeniería y Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México, cuyos académicos coadyuvaron brindando su ayuda y colaboración al proporcionar datos e información geoespacial para la integración del atlas.

El grupo de la FES-Iztacala, coordinado por Javier Alcocer, agradece al "Parque Nacional Lagunas de Montebello", a la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) (Jesús A. León y Roberto Castellanost), a las comunidades locales y a los Comisariados Ejidales de Antelá, Cárdenas, Miguel Hidalgo, Ojo de Agua y Tzisco por las facilidades de acceso a los lagos. También se agradece al Comité de Administración de Tzisco (Sergio Marcos y Miguel A. Tomás), al presidente del Comité de Turismo de Tzisco (Armando Hernández), al Comisario Ejidal de Tzisco (Enrique M. Hernández) y al personal del Hotel Villas Tzisco (Rosemberg F. Jorge, Juan G. Espinoza y Gemuel P. Hernández) por su apoyo y facilidades para realizar el estudio. Asimismo, se reconoce a René Morales Hernández por el apoyo en el trabajo de campo. El análisis de los nutrientes estuvo a cargo de F. Sergio Castillo Sandoval, Laboratorio de Biogeoquímica Acuática, ICMYL, UNAM.





# FINANCIAMIENTO

Los autores deseamos agradecer el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y de la Comisión Nacional del Agua para desarrollar el proyecto Estudio Hidrológico y de Calidad del Agua del Sistema Lagunar de Montebello, Chiapas –Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo sobre el Agua, Proyecto CONAGUA-CONACYT 167603, coordinado por el Dr. Oscar Escolero Fuentes, del Instituto de Geología, UNAM (2013-2017)–. Agradecemos también a la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la UNAM por el apoyo recibido para los proyectos Vulnerabilidad socioambiental de Río Grande-Lagos de Montebello, Chiapas –PAPIIT IT200618 (2018-2020), coordinado por la Dra. Marisa Mazari Hiriart, del Instituto de Ecología, UNAM– y Crisis ambiental en México y desigualdad –PAPIIT CV300120 (2020-2022), coordinado por la Dra. Leticia Merino Pérez, del Instituto de Investigaciones Sociales, UNAM. Asimismo, destacamos los apoyos brindados por los Posgrados de Ciencias Biológicas, Ciencias del Mar y Limnología, Ciencias de la Sostenibilidad y Ciencias de la Tierra de la UNAM, a través de becas y apoyos para trabajo de campo otorgados a varios de los alumnos que colaboran como coautores de esta obra. También agradecemos a la Secretaría de Desarrollo Institucional de la UNAM por el apoyo, a través del Seminario Universitario de Sociedad, Medio Ambiente e Instituciones (SUSMAI), para la integración final del manuscrito y la homogeneización de mapas.

Los autores del capítulo sobre Limnología (Alcocer et al.) agradecen el apoyo financiero recibido de las siguientes instituciones: Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo sobre el Agua (CONAGUA-CONACYT), a través del proyecto 167603, y por la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (UNAM-DGAPA-PAPIIT), a través de los proyectos IN219215, IV200319 y IV200122.

Los datos del estudio correspondientes a los capítulos de Geología y de Agua subterránea provienen del proyecto financiado por el Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo sobre el agua CONAGUA-CONACYT 167603.



# PRESENTACIÓN

Ya ha pasado mucho tiempo entre el día de hoy y aquellos momentos en que escuchaba, fascinada, las narraciones de las hermanas mayores de mi madre sobre Santa María, finca situada en la región de Montebello, en las cercanías de Chinkultic, en la que mi abuelo había servido como administrador. Las imágenes del viaje en carreta desde Comitán hasta allá, con los niños corriendo entre los ocotales, eran mis pasajes favoritos, lo mismo que la remembranza acerca de que en tiempos anteriores, la bisabuela, haciendo viajes semejantes, había visto oscurecerse el cielo bajo el paso de parvadas de guacamayas. Eso contaban para después referir viajes posteriores en camiones de redilas que se atascaban a cada tramo, rumbo a Montebello. Mi primer viaje hacia allá, ya con plena conciencia, ocurrió a los 9 años, con mi familia: una Semana Santa en Bosque Azul que perdura, memorable en el recuerdo, junto con el retozo en el Paso del Soldado y la caminata en la montaña hasta El Arco. Todavía bogaban en el lago algunas canoas hechas con árboles ahuecados que los lugareños manejaban con pericia. A ese viaje le sucedieron muchos otros, propiciados por la construcción de la carretera. Caminamos, hundiéndonos en el lodo hasta la rodilla, hasta el lago Montebello, en un trayecto penoso que se vio coronado, al llegar, por la extraordinaria belleza del paisaje. Empezamos a ir prácticamente cada domingo y, en cuanto tuvimos edad y fortaleza suficiente, completábamos la experiencia del paseo atravesando a nado las profundidades. Los lagos, maravillosos, se nos fueron instalando en el alma.

En cada viaje, sin embargo, de manera imperceptible, el paisaje iba cambiando. La milpa fue ganando terreno a los pinares y un día, estando en la cúspide de la pirámide más alta de Chinkultic, vi enfrente una estructura de acero que, después supe, estaba destinada a la producción a gran escala de semillas para el impulso a las labores agropecuarias. Para entonces, en la cuenca del río Grande de Comitán se había construido un sistema de drenes. La necesidad de resolver el problema alimentario y de mejorar la calidad de vida de las personas estaba cambiando el comportamiento de la cuenca entre Comitán y Montebello. El efecto del cambio de uso del suelo sobre los Lagos tardó en producirse, pero ocurrió: para el 2012 el cambio de coloración ya era evidente.

La historia de mi familia y su relación con Montebello es muy semejante a la de muchos habitantes de la región. El lazo afectivo profundo que guardamos con ese paisaje nos hace lamentar tanto la pérdida de su belleza como el hecho de ya no poder nadar en sus aguas, pero, por supuesto, va más allá: es imposible no advertir, con preocupación, que dado lo vital del líquido, la pérdida de la calidad del agua puede, con el tiempo, tomar proporciones mayores, lo mismo que la pérdida de la biodiversidad.

Se especuló mucho sobre las causas del fenómeno y se hicieron algunos estudios iniciales, pero no fue sino a la llegada de este grupo de científicos de la Universidad Nacional Autónoma de México que hubo total claridad sobre el asunto. Por eso, como un habitante más de la cuenca, agradezco profundamente la publicación de este atlas, que compendia de una manera muy sintética los resultados de casi una decena de años de investigación depositados en artículos científicos, tesis de licenciatura, maestría y doctorado realizados con gran seriedad y compromiso por jóvenes universitarios de varias disciplinas, supervisados por investigadores de renombre, en los que quedan establecidos tanto el origen del problema como la necesidad de cambiar las prácticas agrícolas en la cuenca por procedimientos sustentables, con el fin de conseguir un nuevo equilibrio en donde los suelos y el agua no sufran deterioro frente a la productividad.

Tomó muchos años romper la relación entre todos los elementos del territorio y tomará otros tantos restaurarlo. Será precisa una fuerte voluntad política, pero, de manera fundamental, se requerirá un cambio en la conciencia de las personas. En relación con crisis ambientales como esta, las opiniones en el mundo se dividen. Yo prefiero creer que es necesario mudar hacia otro orden para resolverlas; se requiere tanto de determinación individual como de impulsar acciones comunes que nos permitan resolverlas. Si hemos de ver otra vez a nuestros lagos lucir su transparencia y colores de ensueño, será porque habremos establecido una nueva relación con el orden natural al que esa maravilla pertenece, y al que debemos honra y respeto.

*María del Rosario Bonifaz Alfonso*

*Secretaria de Medio Ambiente e Historia Natural del Estado de Chiapas*





# INTRODUCCIÓN

*Marisa Mazari Hiriart y Paola Massyel García Meneses*

En la región sureste de la República Mexicana se encuentra un estado que podría ser por sí solo un país: Chiapas. Con más de 73,000 km<sup>2</sup> de extensión, abarca zonas con una gran riqueza natural y étnica, donde podemos encontrar cordilleras y valles que alojan diversos paisajes considerados entre los más bellos del mundo. En estas lares encontramos diversos cuerpos de agua que se comunican y unen a través del territorio kárstico. Estas interconexiones conforman un sistema de más de 50 cuerpos de agua, denominado Lagos de Montebello, que incluye lagos y cenotes, así como la presencia de ríos tanto superficiales como subterráneos que integran ecosistemas y albergan poblaciones que se han asentado en la zona por cientos de años. Al visitar esta región todavía se puede conservar la visión romántica de Humboldt y sentir el compromiso con la naturaleza como un ente protagonista de la historia del Estado en interacción con sus habitantes. Sin embargo, es verdad también que en esta interpretación romántica se necesita y se persigue incorporar visiones que nos permitan conservar el sistema de lagos en el largo plazo.

Históricamente, Chiapas ha sufrido procesos de cambio drásticos que han modificado el flujo de ríos y alterado procesos hídricos que han resultado en una afectación a los socioecosistemas –concepto útil para tratar de entender la interrelación entre el medio ambiente y los seres humanos o la dinámica ambiental y el cambio social (Fischer et al., 2015)–. A pesar de ser una de las regiones de México más ricas en recursos hídricos, hemos observado las dificultades a las que se enfrentan los pobladores, en especial las mujeres y los niños, por el acceso a este recurso de uso común (Ostrom, 2009). Un gran atractivo turístico del estado de Chiapas es precisamente el sistema de

Lagos de Montebello, cuya diversidad de dimensiones y profundidades confiere a los lagos muy diversos colores de acuerdo con la luz que reciben a diferentes horas del día. Desafortunadamente, algunos de los lagos han sufrido una alteración que ha provocado un cambio de coloración: en el pasado presentaban una increíble transparencia con diversos tonos de azul y verde; ahora tienen un color verde con una alta turbidez.

Para ahondar en estas cuestiones, un grupo de académicos se ha acercado desde diferentes flancos para recabar e incorporar información cuantitativa y cualitativa sobre el área de estudio, promoviendo la colaboración estrecha entre grupos inter y transdisciplinarios. Este trabajo, que surge como producto del conocimiento generado sobre la zona y del conocimiento local que los pobladores nos han compartido, nos ha ayudado a entender y a describir las características que componen el socioecosistema que hemos denominado Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello (RGC-LM).

Nuestra intención con este atlas es brindar elementos fundamentales para el entendimiento de este sistema que componen el río Grande de Comitán, también conocido simplemente como río Grande, y el sistema de los Lagos de Montebello, en el que los humanos convivimos con el medio ambiente en un proceso dinámico, que presenta pulsos y presiones (Collins et al., 2011) sobre los recursos hídricos que han tenido efectos en el sistema a lo largo del tiempo, desde las culturas mayas asentadas en la zona, cuyo auge se presentó en el Periodo Clásico Tardío (600 a 900 d.C.), hasta nuestros días. En consecuencia, el espacio geográfico que abarca el área de estudio se ha delimitado

no solo por el sistema de lagos, sino por el territorio en el que corre el río Grande hasta su desembocadura en la zona de los Lagos de Montebello. Esta cuenca, comprendida como un área natural donde se llevan a cabo los procesos que conforman el ciclo hidrológico y como un área de gestión hídrica, engloba el área de los parteaguas de las zonas más altas de las montañas circundantes –que permiten el flujo de agua hacia las regiones de menor altitud– y las zonas bajas; en este caso, el sistema de lagos.

La superposición cuidadosa de la información, el análisis referente a sistemas vinculados con el agua y la elaboración de un conjunto de representaciones gráficas nos ha brindado como grupo de trabajo un espacio de entendimiento, construcción y colaboración continua. Este atlas es el resultado de una serie de trabajos realizados de 2013 a 2022, que ha ido extendiéndose entre académicos, estudiantes, gobiernos locales y actores en el territorio interesados en estos temas. La pluralidad de visiones y abordajes, así como la incorporación de actores sociales, nos permite presentar un trabajo con el cual esperamos sentar precedentes, comunicar resultados e impulsar la toma de decisiones y medidas importantes para, sobre y con el territorio, de modo que más personas se sumen al mantenimiento de su riqueza y belleza natural.

El orden de las secciones en este atlas responde a la caracterización de la cuenca RGC-LM como un sistema socio-bio-físico, según lo denomina Maass (2018). De ahí que primero se presente el componente humano, luego el biológico y, por último, el físico. En el componente humano se describe dónde viven los pobladores, cuántos son, los tipos de vegetación natural que se presentan en la zona, las actividades productivas primordiales –agricultura y turismo–, el ordenamiento territorial que se ha propuesto para la zona y, finalmente, cuáles son las condiciones de desigualdad y rezago social de los pobladores. En el componente biológico se aborda la biodiversidad presente en la zona, con énfasis en algunos de los elementos bióticos de este diverso ecosistema, como la fauna –mamíferos, peces, aves y macroinvertebrados–, así como

los esfuerzos de conservación. En el componente físico se profundiza sobre los elementos abióticos, es decir, la descripción de la geología, la morfología, los suelos, la climatología, la hidrología, la limnología y los mecanismos que determinan la distribución del agua superficial y subterránea; además, este apartado incluye la visión de los servicios ecosistémicos de corte hidrológico en la cuenca. Posteriormente, una cuarta sección incluye el análisis de los pulsos y las presiones socioambientales que prevalecen en la región, como son la exposición a la contaminación hídrica, las alteraciones de la calidad del agua, la presencia de bacterias indicadoras y cianobacterias, así como las alteraciones recientes que se han presentado en el socioecosistema debido a la erosión y a las fuentes potenciales de contaminación. Asimismo, se aborda la vulnerabilidad socioambiental debida a los efectos de cambio climático, y se profundiza sobre un tema que ha sido una constante en la zona: la migración. Este apartado permite identificar algunos de los factores de cambio más relevantes en el sistema RGC-LM que lo tornan vulnerable (Turner et al., 2003; Eakin y Luers, 2006).

En conjunto, queremos mostrar la relación del ser humano con el medio natural, cómo este último se ha visto afectado por las actividades que se han llevado a cabo en el pasado y cómo esto se refleja en la condición actual en la zona, para terminar con una última mirada sobre las perspectivas a futuro, enfocadas en entender y preservar la estructura de este socioecosistema, sus funciones y contribuciones. En la cuenca RGC-LM se presenta una dinámica particular que procuramos mostrar espacialmente en los mapas sobre estos muy diversos temas. Confiamos en que esta información sirva de apoyo para la toma de decisiones en beneficio de esta interesante zona que sufre problemas de desigualdad, y que además muestra alteraciones debidas a los efectos del cambio climático. Se requerirán adaptaciones y transformaciones en respuesta a estos cambios, y contar con este tipo de estudios brinda trazos para proyectar nuevas líneas de investigación, pulsos para detonar el interés de más actores sociales y puntos de partida para la búsqueda de trayectorias más sostenibles.



## Referencias

- Collins, S. L., Carpenter, S. R., Swinton, S. M., Orenstein, D. E., Childers, D. L., Gragson, T. L., Grimm, N. B., Grove, J. M., Harlan, S. L., Kaye, J. P., Knapp, A. K., Kofinas, G. P., Magnuson, J. J., McDowell, W. H., Melack, J. M., Ogden, L. A., Robertson, G. P., Smith, M. D. y Whitmer, A. C. (2011). An integrated conceptual framework for long-term social-ecological research. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(6), 351- 357. <https://doi.org/10.1890/100068>
- Eakin, H. y Luers, A. L. (2006). Assessing the Vulnerability of Social-Environmental Systems. *Annual Review of Environmental Resources*, 31(1), 365-394. <http://doi.org/10.1146/annurev.energy.30.050504.144352>
- Fischer, J., Gardner, T. A., Bennett, E. M., Balvanera, P., Biggs, R., Carpenter, S., Daw, T., Folke, C., Hill, R., Hughes, T. P., Luthe, T., Maass, M., Meacham, M., Norström, A. V., Peterson, G., Queiroz, C., Seppelt, R., Spierenburg, M. y Tenhunen, J. (2015). Advancing sustainability through mainstreaming a social-ecological system perspective. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 14, 144-149. <http://doi.org/10.1016/j.cosust.2015.06.002>
- Maass, M. (2018). Los sistemas socio-ecológicos desde el enfoque socioecosistémico. En: Ávila Foucat, V.S., Perevochtchikova, M. (Coord.) *Sistemas socio-ecológicos: marcos analíticos y estudios de caso en Oaxaca, México*. (pp. 19-67). Instituto de Investigaciones Económicas, Universidad Nacional Autónoma de México. <https://doi.org/10.22201/iiec.9786073013109e.2019>
- Ostrom, E. (2009). A General Framework for Analyzing Sustainability of Socio-Ecological Systems. *Science*, 325(5939), 419-422. <http://doi.org/10.1126/science.1172133>
- Turner, B. L., Kasperson, R. E., Matson, P. A., McCarthy, J. J., Corell, R. W., Christensen, L., Eckley, N., Kasperson, J.X., Luers, A., Martello, M. L., Polsky, C., Pulsipher, A. y Schiller, A. (2003). A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *PNAS*, 100(14), 8074-8079. <https://doi.org/10.1073/pnas.1231335100>



# COMPONENTE HUMANO

# I. COMPONENTE HUMANO

## MUNICIPIOS Y LOCALIDADES

*Fabiola Gress Carrasco*

La cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello (RGC-LM) es una cuenca transfronteriza que se encuentra al sureste del estado de Chiapas, delimitada principalmente en cuatro municipios. En La Trinitaria está el 34% de superficie; en La Independencia, el 32%; en Comitán de Domínguez, el 30%; y en Las Margaritas está el 3.97%, además de una porción del 0.03% en el departamento de Huehuetenango, en Guatemala (Mapa 1).

La relevancia de la cuenca dentro de los municipios es mayor en La Independencia, debido a que representa el 51% de la superficie municipal, seguido del 25% en Comitán de Domínguez, el 17% en La Trinitaria y el 1 % en Las Margaritas.

Los datos del Censo de Población y Vivienda realizados de 2000 a 2020 (INEGI, 2000; INEGI 2010; INEGI, 2020) muestran, para el estado de Chiapas y al igual que en otras entidades de México, una tendencia constante en el crecimiento de la población. INEGI (2021) define a la localidad como “un lugar ocupado con una o más viviendas habitadas, reconocido por un nombre dado por la ley o la costumbre. Por la cantidad de población, se dividen en urbanas (mayores de 2 500 habitantes) y rurales (menores de 2 500 habitantes)”. El sistema de Integración territorial (ITER) presenta resultados por localidad, y permite identificar que la cuenca RGC-LM pasó de tener 160 localidades en el año 2000 a 205 en el 2020, con cerca de 200, 000 habitantes. En este contexto, el municipio de Comitán de Domínguez tuvo un

incremento de 21 localidades, seguido de La Trinitaria, con 17, en un periodo de 20 años (Tabla 1).

El 85% de las localidades entran en la categoría de rural, mientras el 15% son asentamientos de tipo urbano. El municipio de Comitán de Domínguez presenta los asentamientos con mayor número de habitantes (Mapa 2), principalmente en la ciudad de Comitán de Domínguez, que es la cuarta ciudad del estado con mayor población, y en el 2020 representa el 72% de la población en la cuenca (Figura 1).

Tabla 1. Número de localidades y población total por municipio en los años 2000, 2010 y 2020.

Municipio	Número de localidades			Población total		
	2000	2010	2020	2000	2010	2020
Comitán de Domínguez	55	60	76	87, 036	118, 522	139, 094
La Independencia	32	35	36	21, 857	27, 251	30, 020
La Trinitaria	62	70	79	17, 291	20, 957	24, 202
Las Margaritas	11	13	14	655	774	931
<b>Total en la cuenca RGC-LM</b>	<b>160</b>	<b>178</b>	<b>205</b>	<b>126, 839</b>	<b>167, 504</b>	<b>194, 247</b>

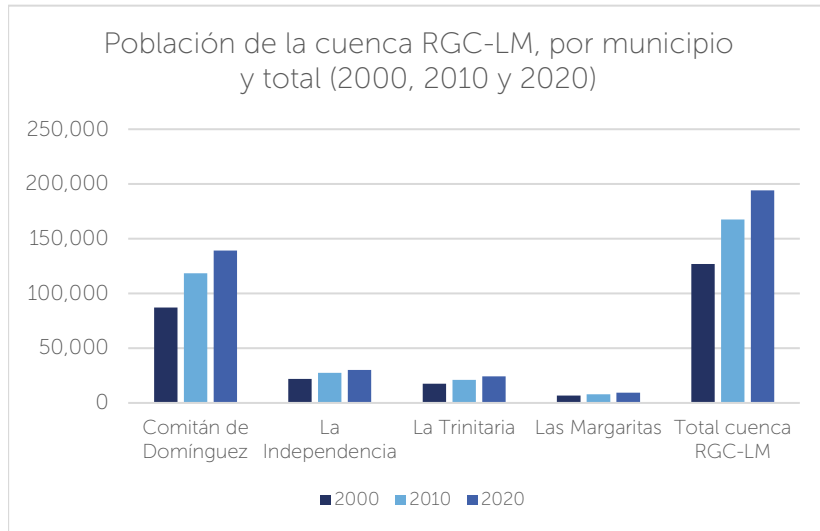


Figura 1. Población total en las localidades de la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, por municipio (INEGI 2000, 2010 y 2020).

El incremento poblacional está acompañado de procesos de cambio de uso de suelo, construcción de viviendas y apertura de nuevos caminos que contribuyen a la fragmentación ecológica (Fotografía 1). Del mismo modo, el crecimiento de la ciudad amplía la mancha urbana en pequeñas localidades periurbanas (Fotografía 2).



Fotografía 1. Localidad de San Pablo Yalmutz, en el municipio de La Independencia, ubicada en el límite del Parque Nacional Lagunas de Montebello (Google Earth, 2022).

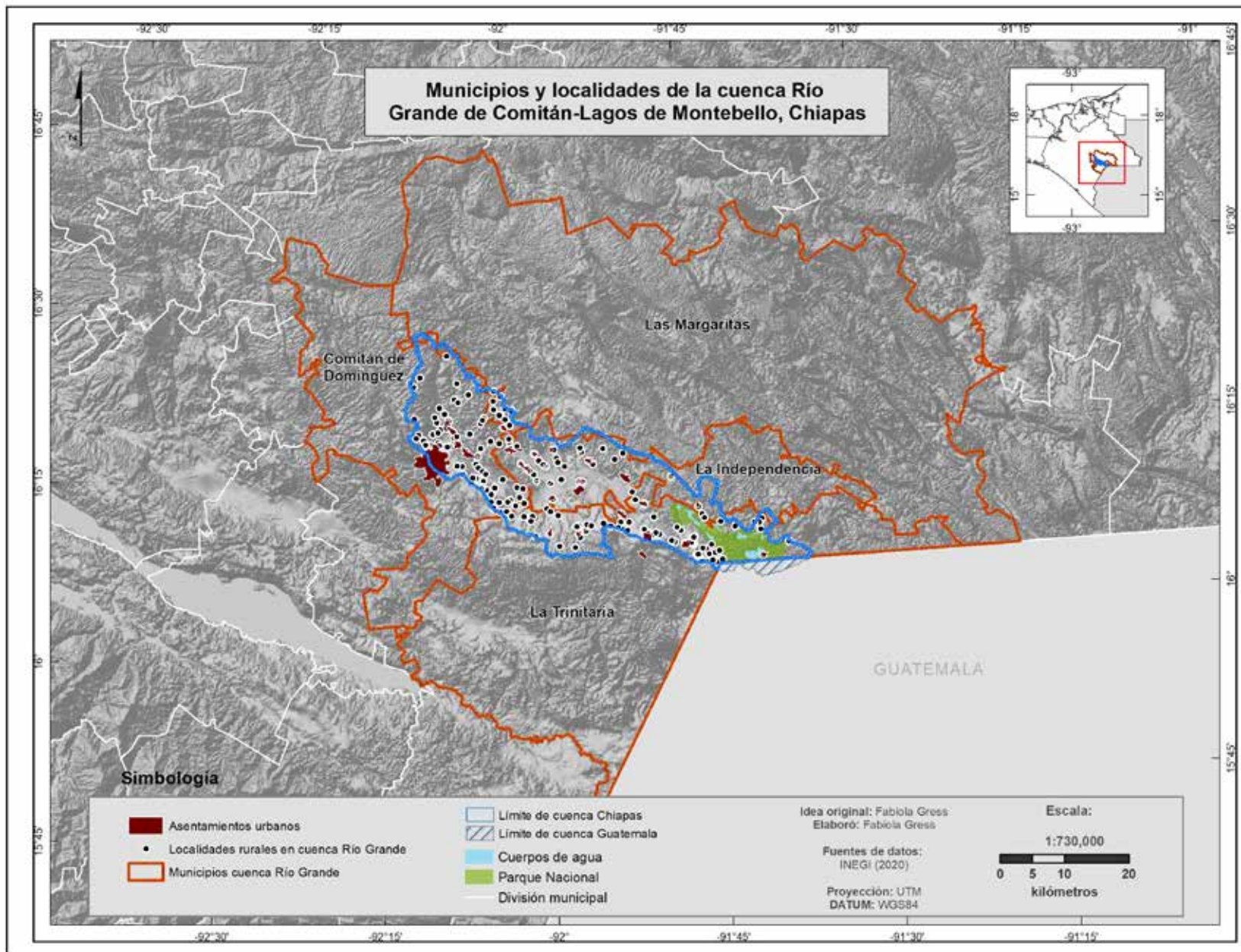


## Conclusiones

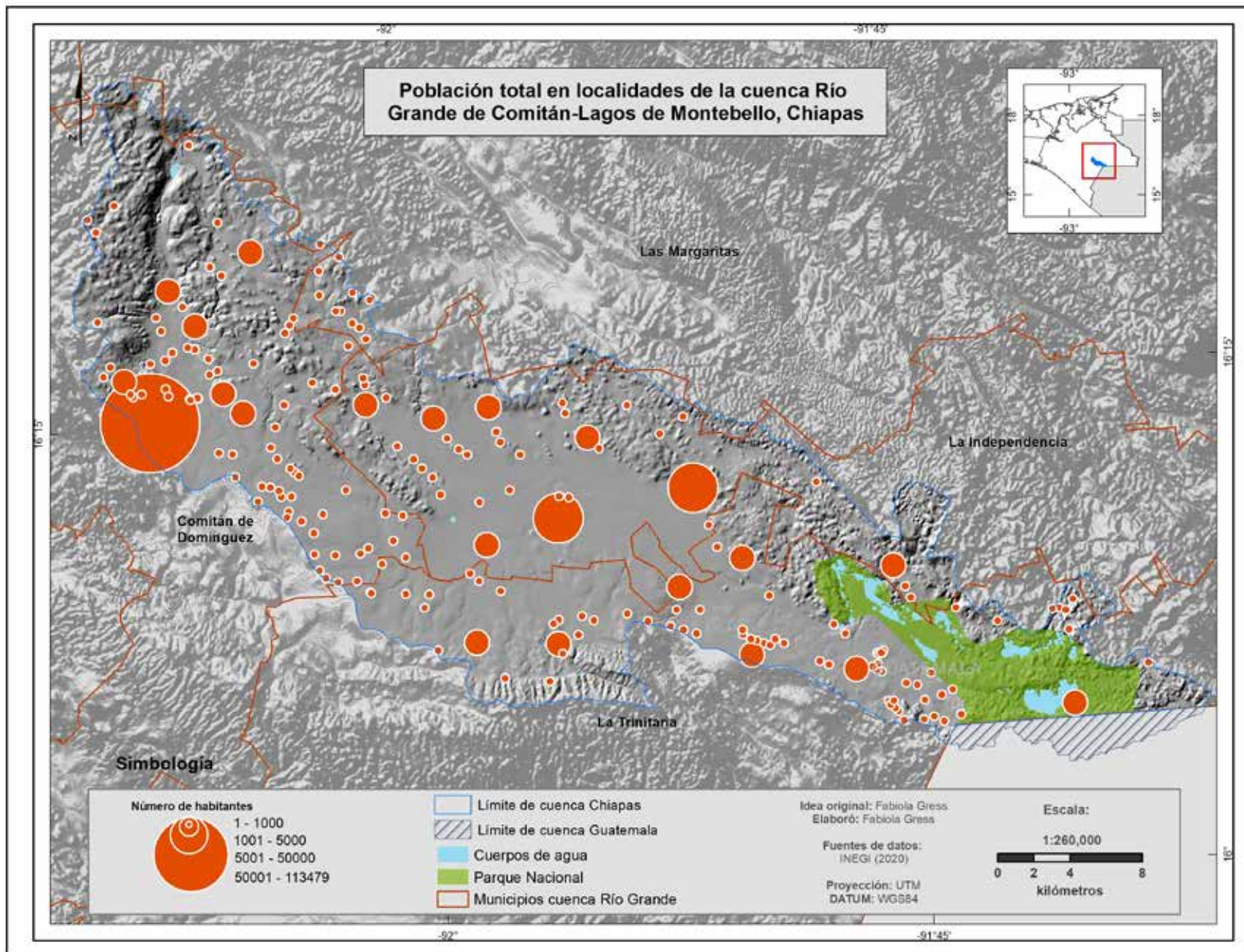
La gestión de los servicios ambientales con enfoque de cuenca se torna más compleja cuando la distribución de atribuciones y toma de decisiones responde a una unidad administrativa, y más aún cuando está compartida por dos países, como es el caso entre México y Guatemala. Es relevante conocer el contexto y las tendencias poblacionales para proponer escenarios alternativos y garantizar la conservación estratégica de los bienes naturales comunes.



Fotografía 2. Ciudad de Comitán de Domínguez, en el municipio de Comitán de Domínguez (Google Earth, 2022).



Mapa 1. Municipios y localidades en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas.



Mapa 2. Población en localidades de la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas

## Referencias

Google Earth (2022). *Time Lapse*. <https://earthengine.google.com/timelapse/>

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). (2000). *Censo Nacional de Población y Vivienda 2000*. México.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). (2010). *Censo Nacional de Población y Vivienda 2010*. México.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). (2020). *Censo Nacional de Población y Vivienda 2020*. México.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). (2021). *Síntesis metodológica y conceptual del Censo Nacional de Población y Vivienda 2020*. México. [https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva\\_estruc/702825197605.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825197605.pdf)



# USO DE SUELO Y VEGETACIÓN<sup>1</sup>

*Rutilio Castro, Roberto Bonifaz Alfonso, Jannice Alvarado Velázquez  
y Marisa Mazari Hiriart*

A nivel nacional se han realizado varios esfuerzos para elaborar la cartografía de uso de suelo y vegetación a escala 1:250,000. Dentro de estos trabajos se encuentran los realizados por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), cuya fecha de elaboración abarca desde la década de 1980, correspondiente a la Serie I, hasta el año 2014, referente a la serie VI (INEGI, 2017).

El sistema de clasificación utilizado en esta cartografía es de tipo jerárquico. Para la vegetación natural, parte de la agrupación de las comunidades vegetales, con base en sus afinidades ecológicas y florísticas. Para la información agropecuaria, muestra las áreas correspondientes a las superficies agrícolas y pecuarias, así como las zonas dedicadas a las plantaciones comerciales de explotación forestal. Además, incluye un grupo llamado "Otros rasgos", el cual incorpora a las que no están consideradas en los dos primeros grupos (INEGI, 2017).

La cartografía a escala 1:250,000 proporciona información que ignora un área de tamaño considerable para la extensión de territorio que cubre la cuenca RGC-LM. Con el propósito de generar nueva cartografía de uso del suelo y vegetación actualizada, y a una escala de 1:50,000 de la cuenca, se utilizaron las bandas 2, 3, 4 y 8 (resolución espacial de 10 m) de imágenes de satélite Sentinel del año 2019. Estas imágenes fueron interpretadas de manera visual en compuestos en falso color

sobre su despliegue en el monitor. Para la definición de las clases a interpretar se tomaron como base las categorías que trabaja el INEGI en su cartografía de uso del suelo y vegetación Serie VI (INEGI, 2017). Se interpretaron las agrupaciones vegetales de uso del suelo y otros de vegetación natural, agricultura de temporal, agricultura tecnificada, cultivo de aguacate, pastizal (cultivado e inducido), lagos, cuerpos de agua, erosión y asentamiento humano.

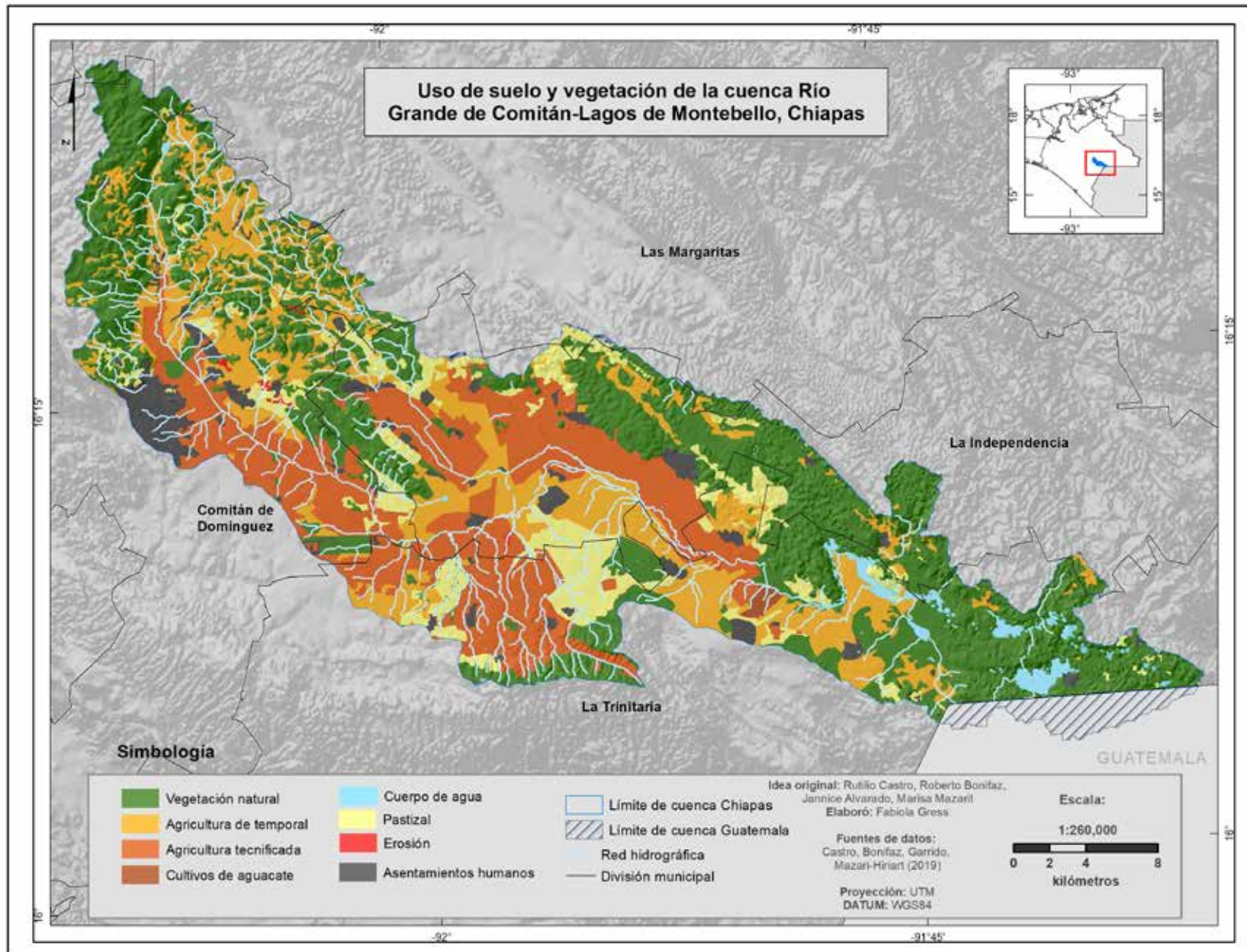
Los resultados obtenidos muestran que, del total de la superficie de la cuenca, el 22.2% está cubierta por agricultura de temporal; la agricultura tecnificada cubre el 11.9%; las plantaciones de aguacate, el 0.2%; los pastizales, el 14.7%; los lagos, un 1.2%; los cuerpos de agua, el 0.04%; la erosión, el 0.1%; y los asentamientos humanos cubren el 4.9%. Los datos muestran que las actividades antrópicas (agricultura de temporal, tecnificada, plantaciones de aguacate, pastizales y asentamientos humanos) cubren el 53.9% de la superficie de la cuenca, mientras que las coberturas naturales (vegetación natural y lagos) cubren el 46% (Mapa 3).

En la cuenca RGC-LM se ha presentado un importante desarrollo de la actividad agrícola y pecuaria desde mediados del siglo pasado, fomentado tanto por las políticas implementadas a nivel nacional como por el aumento en la cantidad de habitantes (Caballero et al.,

---

<sup>1</sup> Este trabajo ha sido un esfuerzo realizado como parte de los siguientes proyectos: CONAGUA-CONACYT 167603 (2012-2017); PAPIIT IT200618, IEUNAM (2018-2020). La versión final del mapa de uso de suelo (mapa 3) se generó como parte de las actividades del proyecto A.408 Fortalecimiento de capacidades para el manejo sostenible del agua en comunidades de la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas, apoyado por la Fundación Gonzalo Río Arronte (2020-2023).

2019). El aumento de la superficie de actividades agropecuarias impacta directamente áreas de vegetación natural, que se evidencia en los altos porcentajes de superficie que corresponden a las actividades agropecuarias (agricultura de temporal y tecnificada, plantaciones de aguacate y pastos), con un 49%, en comparación con el 46% de la superficie de coberturas naturales (vegetación natural y lagos), lo que implica el desarrollo de problemas de deforestación y pérdida en la calidad y cantidad de agua disponibles (Alcocer et al., 2018; Caballero et al., 2019; Palomino et al., 2017).



Mapa 3. Mapa de uso del suelo y vegetación de la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas.

## Referencias

- Alcocer, J., Merino-Ibarra, M., Oseguera, L. A. y Escolero, O. (2018). Anthropogenic impacts on tropical karst lakes: "Lagunas de Montebello," Chiapas. *Ecohydrology*, 11(8), 1-13. <https://doi.org/10.1002/eco.2029>
- Caballero, M., Muñoz, E., Escolero, O., Bonifaz, R., Carolina, R. y Prado, B. (2019). Anthropogenic influence on the sediment chemistry and diatom assemblages of Balamtetik Lake, Chiapas, Mexico. *Environmental Science and Pollution Research* 27, 15935–15943. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04581-9>
- Castro, R., Bonifaz, R., Garrido, C. y Mazari-Hiriart, M. (2019). [Mapa de Uso del Suelo y Vegetación de la Cuenca del Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas]. MapaWeb. <http://chiapas.k.vu/lizmap/index.php/view/map/?repository=chiapas2&project=MapaWeb>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2005). *Guía para la interpretación de cartografía: Uso del suelo vegetación*. Aguascalientes, México.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2017). *Guía para la interpretación de cartografía: uso del suelo vegetación: escala 1:250,000, serie VI*. Aguascalientes, México.
- Palomino, L. M., García, L. A., Ramos, Y. R., Bonifaz, R. y Escolero, O. (2017). Description of chemical changes in a large karstic system: Montebello, Mexico. *Procedia Earth and Planetary Science*, 17(1), 829-832.

## PRODUCCIÓN AGRÍCOLA<sup>2</sup>

Abisay Haro

La cuenca RGC-LM está inmersa dentro de la Región XV Meseta Comiteca Tojolabal (CONANP, 2007), la cual está conformada por siete municipios. En este dominio territorial, la mayor proporción del uso de suelo corresponde a agricultura de temporal (Tabla 2) y, en menor medida, a la agricultura de riego. En el aspecto social y económico, en la mayor parte del territorio de la cuenca se encuentran comunidades rurales, donde la principal actividad económica corresponde al sector primario, ya sea en actividades agrícolas o ganaderas. En el municipio de La Trinitaria, 80% de la población se dedica a actividades agropecuarias, de las cuales el 28% se dedica específicamente a la agricultura de temporal. En el municipio de Comitán de Domínguez (Plan de Desarrollo Municipal de Comitán de Domínguez), el 40% de la superficie es de agricultura de riego, en tanto que el 3% es de temporal (INEGI, 2017); 33% de la población vive en localidades rurales y 18% se dedica a actividades primarias. El sector primario es la principal fuente de ingresos en el municipio de La Independencia (Plan de Desarrollo Municipal de La Independencia), con una ocupación en este sector del 66% de la población ocupada.

Tabla 2. Superficie agrícola según tipo de régimen hídrico. Fuente: Anuario Estadístico y Geográfico de Chiapas, 2017.

Municipio	Superficie agrícola	Maíz (ha)	Frijol (ha)
Comitán de Domínguez	Temporal: 40% Riego: 3%	2,760 en conjunto	
La Independencia	Temporal: 73%	12,254	2,215
La Trinitaria	Temporal: 28% Riego: 20%	24,970	4,500
Las Margaritas	Temporal: 11% Riego: 1%	25,504	2,045

En la cuenca, el sistema principal de cultivo sigue siendo la milpa, cuyos principales cultivos son el maíz blanco, el maíz amarillo y el frijol. Para el periodo 2013-2020, la mayor producción de maíz amarillo en la cuenca se registró para el ciclo de primavera-verano, donde el municipio de La Trinitaria fue el mayor productor, seguido por el municipio de La Independencia. Durante este mismo periodo, la producción promedio de este tipo de maíz disminuyó notablemente para el ciclo otoño-invierno (Figura 2). En el caso de maíz blanco, la producción promedio fue notablemente menor que la de maíz amarillo (Figura 3).

<sup>2</sup> La información reportada proviene de diversas los datos reportados en los Planes de Desarrollo Municipales, así como también de los Censos Agrícolas y de los datos reportados por el Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON).

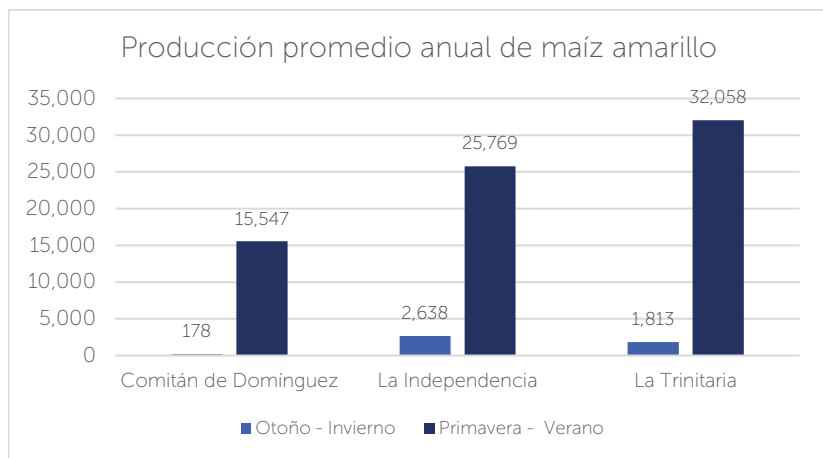


Figura 2. Producción promedio anual de maíz amarillo de temporal (miles de toneladas) para el periodo 2003-2020. Fuente: SIACON, 2020.

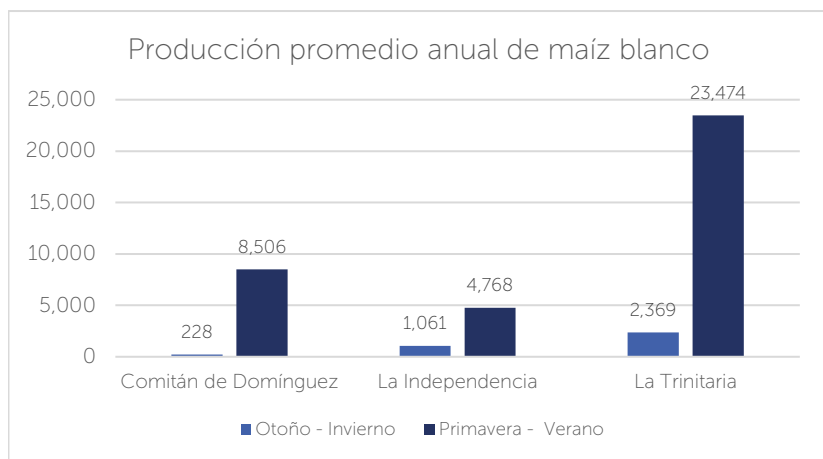


Figura 3. Producción promedio anual de maíz blanco de temporal (miles de toneladas) para el periodo 2003-2020. Fuente: SIACON, 2020.

En el ciclo otoño-invierno se observa una reconversión total, en la cual la mayor proporción de producción de cultivos corresponde al maíz, y en cantidades mínimas a la producción de frijol (Figura 4).

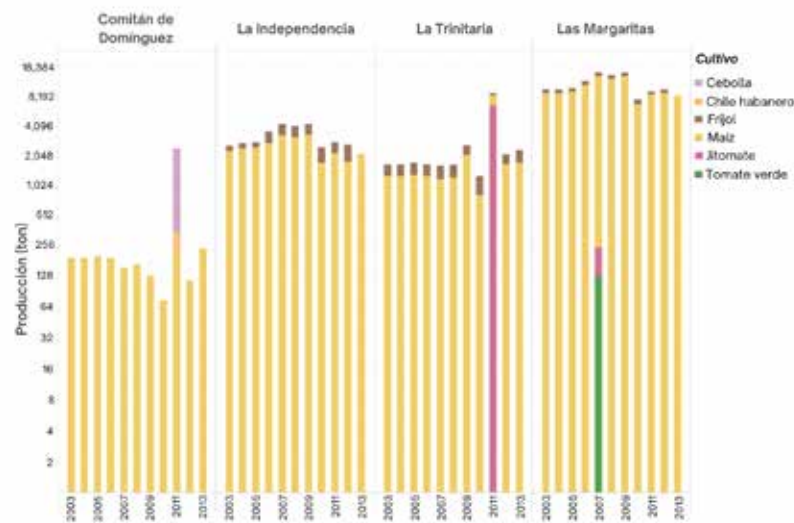


Figura 4. Producción anual de cultivos de temporal para el ciclo otoño-invierno en el periodo 2003-2013, en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello.

En los últimos 10 años, en la cuenca se ha observado una conversión de cultivos enfocado a hortalizas, particularmente para el ciclo primavera-verano. Si bien se sigue manteniendo el sistema milpa, las mayores proporciones de producción para tres de los cuatro municipios corresponden al cultivo de jitomate (Figura 5). Como parte de la microcuenca Tzjunté-Chamentic, que comparte territorio con los municipios de Comitán de Domínguez y Las Margaritas, el sistema agrícola que se practica en su mayoría es el de temporal, dedicándose la mayor parte de la superficie a la producción de maíz y frijol. La superficie restante se divide para la agricultura de humedad y para el sistema de riego, principalmente para los cultivos de maíz, frijol,

jitomate y flores (SAGARPA, 2007). En el estado de Chiapas, la mayor proporción de jitomate saladette se produce en el municipio de La Independencia, con una producción de 13,650 toneladas anuales. Para el año 2007, considerando que la producción estatal de jitomate fue de 31,010 toneladas, la producción de La Independencia fue equivalente al 44% de la producción del estado (SIACON, 2020).

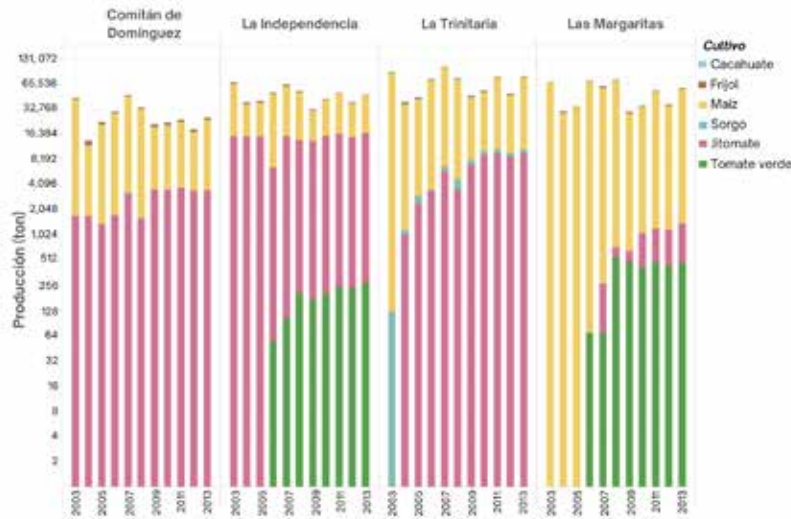


Figura 5. Producción anual de cultivos de temporal para el ciclo primavera-verano en el periodo 2003-2013, en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello.

Desde el año 2007, el municipio de La Trinitaria se convirtió en otro productor importante de jitomate de riego (Figura 6). Esto es un indicativo del incremento de la superficie ocupada para este cultivo, y del impacto de su producción en los acuíferos, ya que el jitomate se caracteriza por una alta demanda hídrica para su crecimiento.



Figura 6. Producción anual de cultivos de riego para el ciclo otoño-invierno en el periodo 2003-2013 para dos municipios de la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello.

En la cuenca se registra una mínima producción de cultivos perennes, a excepción del municipio de La Trinitaria, donde se mantiene una diversificación importante de este tipo de cultivos, que en su mayoría corresponden al cultivo de café, papaya y naranja (Figura 7). Muchos de estos cultivos de traspatio se mantienen en varias localidades de la cuenca como producción de autoconsumo.

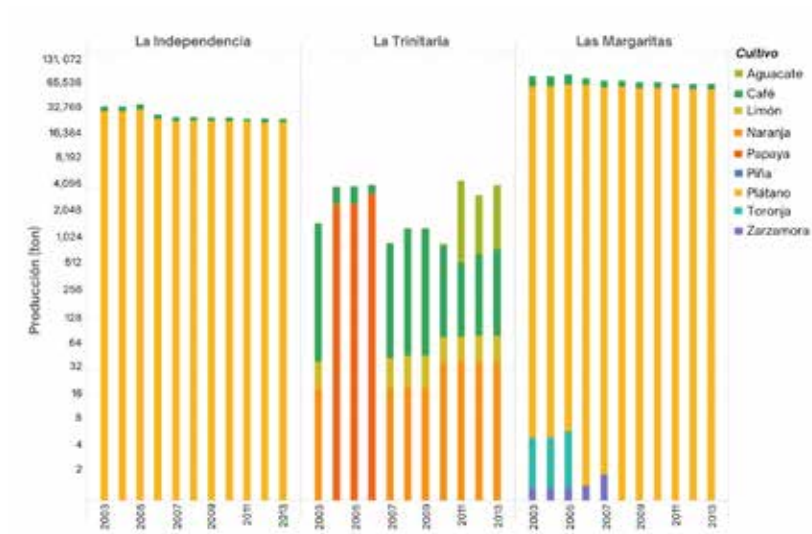


Figura 7. Producción anual de cultivos perennes de temporal para el periodo 2003-2013, en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello

## Referencias

- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2007). Programa de Conservación y Manejo: Parque Nacional Lagunas de Montebello. SEMARNAT. México.
- Gobierno Municipal de Comitán de Domínguez. (2018). Plan de Desarrollo Municipal de Comitán de Domínguez 2018-2021.
- Gobierno Municipal de La Independencia. (2018). Plan de Desarrollo Municipal de La Independencia 2018-2021.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2017). Anuario Estadístico y Geográfico de Chiapas 2017.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2007). Censo Agropecuario. <https://www.inegi.org.mx/programas/cagf/2007/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2017). Encuesta Nacional Agropecuaria.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2017). Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo de Chiapas 2017.
- SAGARPA (2007). Informe de Evaluación Estatal. Evaluación Alianza para el Campo. Programa de Desarrollo Rural, Chiapas.
- Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta. (2020). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Gobierno de México. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>



# TURISMO

*Daniela Ávila García y Diana G. Monzón Zavalza*

El turismo representa un gran impulsor de la economía en México, con 8.7% de contribución al PIB nacional, en 2018 (SECTUR, 2019). El porcentaje de la ocupación en el sector turístico en el estado de Chiapas alcanzó el 34.69% en el mismo año como resultado de una tendencia en crecimiento del número de llegadas turísticas a la entidad, la cual pasó de 3,542,911 en el 2014 a tener una afluencia de turistas nacionales y extranjeros de 6,294,179 en el 2019. La derrama económica generada fue superior a los 20 mil millones de pesos (SECTUR, 2022).

En el estado de Chiapas, los tipos de turismo predominantes –debido a su oferta de riqueza biológica, cultural, artesanal y gastronómica– son el ecoturismo y el turismo comunitario. De acuerdo con Matarrita-Cascante et al. (2010), el turismo comunitario se refiere a los esfuerzos locales destinados a planificar, desarrollar y gestionar oportunidades relacionadas con el turismo. Una de las características más relevantes del turismo comunitario es su capacidad para proporcionar beneficios económicos, justicia y democratización participativa, empoderamiento y sentido de pertenencia a la población local. Por otra parte, el ecoturismo se caracteriza por llevar a cabo actividades que ocasionen el menor impacto negativo en áreas naturales, promoviendo, a su vez, la conservación de la naturaleza y el bienestar de las comunidades locales (UNWTO, 2002).

A través de las Áreas Naturales Protegidas (ANP) se promueve la conservación de los ecosistemas, por lo que planear y desarrollar turismo de manera sostenible es clave para la preservación de una gran cantidad de servicios ecosistémicos (SE). Destacan, particularmente, los

servicios culturales, definidos como los beneficios reales e intangibles que emergen de la interacción entre los humanos y los ecosistemas: el empleo, el sentido de identidad, el valor espiritual, el valor estético y el desarrollo cognitivo (Balvanera et al., 2017). Por lo tanto, este capítulo tiene como objetivo analizar desde un enfoque económico los SE recreativos relacionados con la naturaleza en el Parque Nacional Lagunas de Montebello (PNLM).

## Método

Los SE de turismo y recreación se estimaron con base en los métodos sugeridos por el Toolkit for Ecosystem Services Site-based Assessment (TESSA) (Peh et al., 2013). Particularmente, se aplicó el método simplificado de valoración económica por coste de viaje. Este método consiste en estimar el valor utilizando el costo de viajar a un sitio con ciertos SE. Para ello, se modela en una función la demanda de viajes de un individuo a cierto sitio, considerando el costo del viaje (INECC, 2020), en conjunto con los métodos de recreación adaptados de la herramienta TESSA. Para realizar la cuantificación de SE de recreación, el primer paso es tener un número aproximado de flujo de visitantes por año.

Posteriormente, se calculan los valores económicos anuales derivados de turismo y recreación del sitio con la ayuda de la herramienta TESSA, que proporciona un marco de beneficios netos mediante la aplicación de un conjunto de métodos apropiados para dos estados alternativos en un sitio (Peh et al., 2013). Considerando el formato de entrevista sugerida por TESSA, los datos se obtuvieron con base en 150 entrevistas dirigidas a turistas del PNLM durante el mes de agosto 2018.

Los SE de recreación se compararon considerando dos escenarios: 1) estado de conservación actual y 2) incremento en la tasa de deforestación y eutrofización del sistema de lagos. El gasto promedio por visitante se calculó analizando su hospedaje, comida y bebida, alquiler o compra de equipo para actividades deportivas, transporte, souvenirs, entrada, propinas y otros gastos que pudieran agregar. El ingreso anual total derivado del turismo de naturaleza en el PNLM se compone del flujo anual de visitantes turísticos multiplicado por el gasto promedio calculado por visitante, multiplicado por el porcentaje de visitantes que no muestran interés en regresar al PNLM en caso de un escenario de eutrofización y deforestación.

Ingreso anual total =

$$\text{flujo anual visitantes} \times \frac{\text{gasto}}{\text{visitante}} \times \% \text{ de visitantes que no volverían ante el escenario 2}$$

## Resultados

El PNLM registró un aforo turístico de alrededor de 23,615 visitantes durante los meses de enero a marzo de 2016, de acuerdo con información de la Comisión Nacional de Área Naturales Protegidas (CONANP) (Barriga Guijarro, 2017). En los datos reportados en años previos se han registrado fluctuaciones importantes; sin embargo, estas cifras podrían estar incompletas debido a que el registro no es constante. De acuerdo con los resultados de las entrevistas, para el año 2016, el presupuesto promedio por persona en su visita al PNLM fue de aproximadamente 1,229 MXN (64 USD) <sup>3</sup>.

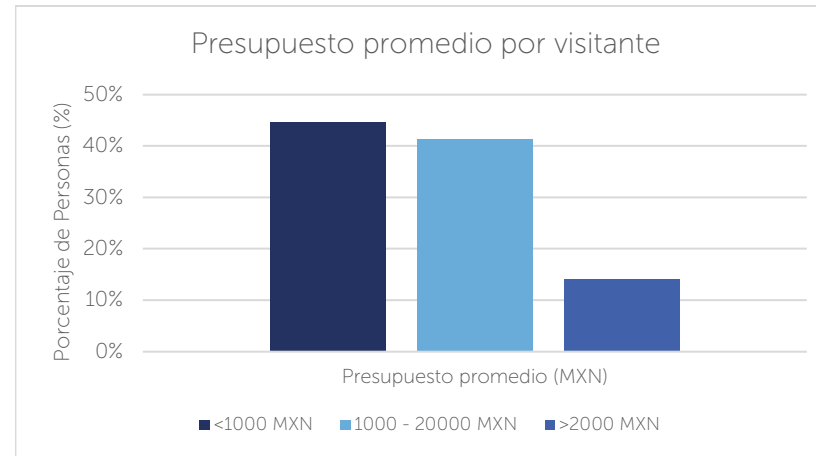


Figura 8. Presupuesto promedio destinado al Parque Nacional Lagunas de Montebello por las personas entrevistadas.

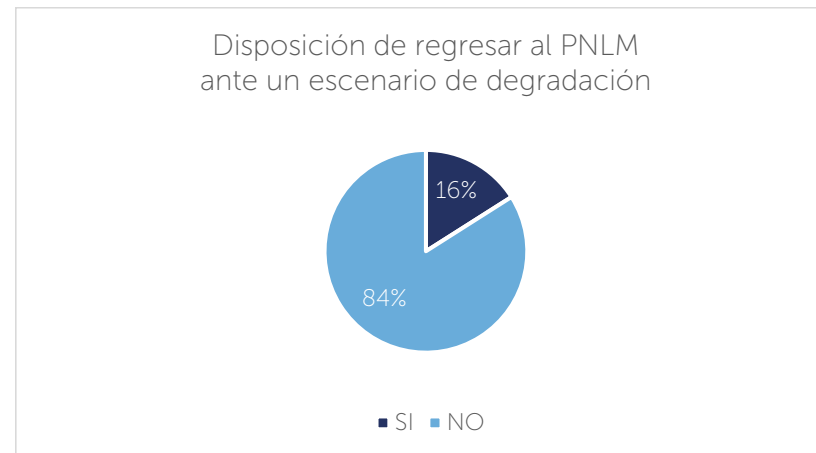


Figura 9. Porcentaje de personas con disposición de visitar el Parque Nacional Lagunas de Montebello considerando un escenario de degradación

<sup>3</sup> El análisis fue hecho en pesos mexicanos 1,229 MXN a una tasa de cambio de 1 MXN = 0.052 USD al 24/Noviembre/2019.

Para ese mismo año, los resultados muestran que el ingreso anual total derivado del turismo y la recreación en el PNLM fue de 6,289,920 USD. Por último, para que el turismo sea sostenible a largo plazo, es fundamental que el visitante se sienta satisfecho con la visita al sitio y, en el caso del PNLM, la experiencia fue calificada en su mayoría como excelente y muy buena (Figura 10).

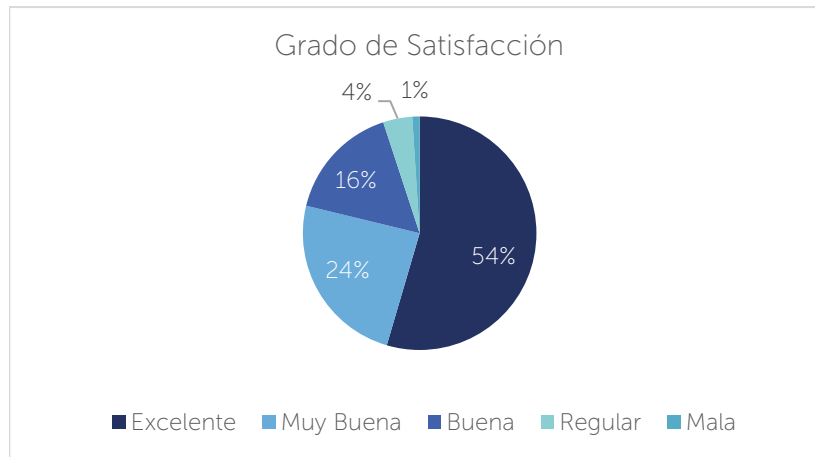


Figura 10. Grado de satisfacción del visitante al PNLM, Chiapas

## Conclusiones

Los SE de recreación son fundamentales en el desarrollo económico de las comunidades aledañas al PNLM. La degradación ambiental representa un escenario alternativo que involucraría pérdidas económicas de alrededor de seis millones de dólares generados por el turismo basado en la naturaleza. El turismo basado en la naturaleza en el PNLM puede representar una opción sostenible que diversifique las actividades económicas de la población local a corto y largo plazo. En el contexto actual, post-pandemia, y tras un par de años de dificultades económicas, comienza a haber un repunte de las actividades turísticas, según lo han comentado, en el año de publicación de este atlas, las personas integrantes de los comités de turismo ejidal, los encargados y dueños de los restaurantes, así como las personas que preparan alimentos a los visitantes del ANP. Sin embargo, algunas condiciones de violencia en las fronteras y los bloqueos en carreteras dificultan en ocasiones la llegada de turistas al PNLM, lo que afecta visible y considerablemente a quienes dependen del turismo como actividad de subsistencia.

## Referencias

- Ávila-García, D. (2020). Assessment of water ecosystem services and alternative scenarios to climate change and human impact in neotropical mountains. Doctoral thesis. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona.
- Balvanera, P., Quijas, S., Karp, D. S., Ash, N., Bennett, E. M., Boumans, R., Brown, C., Chan, K. M. A., Chaplin-Kramer, R., Halpern, B. S., Honey-Ros, J., Kim, C., Cramer, W., Jos, M., Mooney, H., Mwampamba, T., Nel, J., Polasky, S., Reyers, B., ... Walpole, M. (2017). *The GEO Handbook on Biodiversity Observation Networks*. In *The GEO Handbook on Biodiversity Observation Networks*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-27288-7>
- Barriga Guijarro, D. E. (2017). Gobernanza del turismo sustentable en áreas naturales protegidas: el caso del Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chiapas, México. 145. [http://aleph.ecosur.mx:8991/F?func=service&doc\\_library=CFS01&local\\_base=CFS01&doc\\_number=000058230&line\\_number=0001&func\\_code=-DB\\_RECORDS&service\\_type=MEDIA](http://aleph.ecosur.mx:8991/F?func=service&doc_library=CFS01&local_base=CFS01&doc_number=000058230&line_number=0001&func_code=-DB_RECORDS&service_type=MEDIA)
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC-SEMARNAT) (2020). Revisión y análisis de documentos sobre valoración económica de los servicios ecosistémicos de México de 1990 a 2019. México.
- Matarrita-Cascante, D., Anthony, M. y Luloff, A. E. (2010). Community agency and sustainable tourism development: the case of La Fortuna, Costa Rica. *Journal of Sustainable Tourism*, 18(6), 735–756. <https://doi.org/10.1080/09669581003653526>
- Peh, K. S. H., Balmford, A., Bradbury, R. B., Brown, C., Butchart, S. H. M., Hughes, F. M. R., Stattersfield, A., Thomas, D. H. L., Walpole, M., Bayliss, J., Gowing, D., Jones, J. P. G., Lewis, S. L., Mulligan, M., Pandeya, B.,
- Stratford, C., Thompson, J. R., Turner, K., Vira, B., ... Birch, J. C. (2013). TESSA: A toolkit for rapid assessment of ecosystem services at sites of biodiversity conservation importance. *Ecosystem Services*, 5(2013), 51–57. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2013.06.003>
- Secretaría de Turismo (SECTUR). (2020). Cuenta Satélite del Turismo de México, 2018. Dirección General de Información Sectorial. Subsecretaría de Planeación y Política Turística.
- Secretaría de Turismo (SECTUR). (2022). *Actividad hotelera: Porcentaje de Ocupación en Establecimientos de Hospedaje de Categoría Turística*. Consultado el 30 de septiembre de 2022; disponible en: <https://www.datatur.sectur.gob.mx/SitePages/ActividadHotelera.aspx>
- World Tourism Organization. (2014). Towards Measuring the Economic Value of Wildlife Watching Tourism in Africa – *Briefing Paper. Towards Measuring the Economic Value of Wildlife Watching Tourism in Africa. Briefing Paper, UNWTO*, Madrid. <https://doi.org/10.18111/9789284416752>
- Zolfani, S. H., Sedaghat, M. y Maknoon, R. (2015). Sustainable tourism: a comprehensive literature review on frameworks and applications. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 28(1), 1–30. <https://doi.org/10.1080/1331677X.2014.995895>

# CONTRIBUCIÓN DEL PROGRAMA DE ORDENAMIENTO ECOLÓGICO<sup>4</sup>

*María del Rosario Bonifaz Alfonso y Pedro Sánchez Montero*

La cuenca Río Grande de Comitán-Lagunas de Montebello tiene una superficie de 76,205.85 hectáreas (8% del territorio estatal), que abarca parte de los municipios de Comitán, La Independencia, La Trinitaria y una pequeña porción del municipio de Las Margaritas. En esta cuenca se encuentra el área natural protegida Parque Nacional Lagunas de Montebello, decretada en 1959, y cuya superficie es de 6,545.62 hectáreas.

En esta región habita el 7.6% de la población de Chiapas, con grados de marginación de medio a muy alto. Las principales actividades económicas son la agricultura y el turismo. En este último rubro, la zona recibe un poco más de 300 mil visitantes al año. Además del impacto en el turismo por el cambio de coloración, el fenómeno de eutrofización de los lagos afecta al medio ambiente por la pérdida de especies que habitan en el ecosistema y por el deterioro de la productividad del suelo. La eutrofización antropogénica consiste en un enriquecimiento de nutrientes, sobre todo de especies de nitrógeno y fósforo (N y P), debido a actividades humanas, que tienen diversos efectos en los procesos de autorregulación y mantenimiento de los ecosistemas acuáticos, pues causan un decremento del oxígeno disuelto en el agua, detonan procesos de crecimiento exponencial de algas con potenciales efectos tóxicos para especies acuáticas y seres

humanos, además de propiciar un deterioro de la calidad del agua para uso y consumo humano.

El proyecto "Estudio Hidrológico y de Calidad del Agua del Sistema Lagunar de Montebello", financiado por el Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo sobre el Agua CONAGUA-CONACYT, demostró que la mayor parte de la contaminación del suelo y del agua de la región se debe al exceso en el uso de fertilizantes nitrogenados. Otro factor importante de impacto ambiental son los asentamientos humanos: en la región se localizan 1,185 comunidades en los alrededores de áreas forestales y en las partes altas de las cuencas o cercanas a áreas de conservación. La tasa de crecimiento de población de esta subcuenca se calcula en 2.2%.

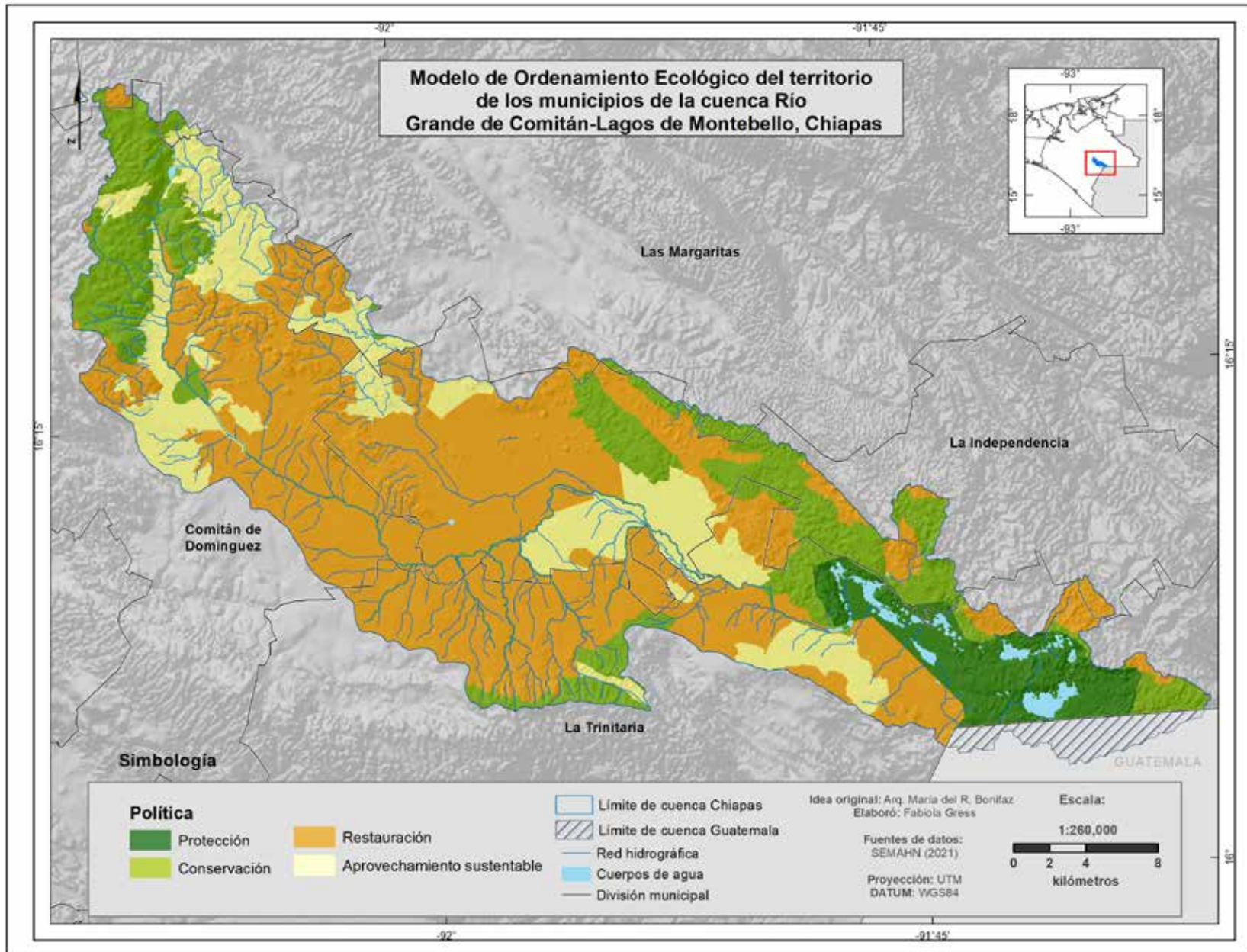
El proceso de ordenamiento ecológico en los municipios de la subcuenca tuvo como objetivo la regulación del uso del suelo y de las actividades productivas para lograr la protección del medio ambiente, así como la preservación y el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales (SEMARNAT, 2016), el cual culminó con la publicación del Programa de Ordenamiento Ecológico de la Subcuenca del Río Grande Lagunas de Montebello, el 6 de enero de 2021 (Mapa 4).

---

<sup>4</sup> Estudio realizado por la Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural del Estado de Chiapas (SEMAHN), (2021). Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio de los municipios de la subcuenca del río Grande y Parque Nacional Lagunas de Montebello. Pub. No. 1312-A-2021.

Dicho programa abarca la totalidad del territorio de los municipios de Comitán de Domínguez, La Independencia, La Trinitaria y Las Margaritas, que corresponde a un total de 610,648 hectáreas. Se establecieron: 1) noventa y dos Unidades de Gestión Ambiental con política de Conservación, que abarcan un total de 221,568 hectáreas; 2) tres Unidades de Gestión Ambiental con política de Protección, que comprenden 6,693 hectáreas; y 3) ochenta y ocho Unidades de Gestión Ambiental con política de Restauración, que incluyen 243,804 hectáreas.

Este Programa pretende mejorar las condiciones ambientales de la cuenca y del Parque Nacional Lagunas de Montebello, pero también protege áreas prioritarias para la conservación, como el humedal de La Ciénega, cercano a la ciudad de Comitán de Domínguez. El humedal es un refugio para la vida silvestre local y para las aves migratorias, además de servir como almacén del agua limpia que abastece a la ciudad.



Mapa 4. Ordenamiento Ecológico de la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello.

## Referencias

Alvarado, J. (2015). Evaluación espacial de la contaminación potencial puntual y difusa en la cuenca del Río Grande Comitán, Chiapas. [Tesis de licenciatura]. Universidad Nacional Autónoma de México.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (2010). Red hidrográfica. Escala 1:50,000. Edición 2.0. Subcuenca hidrográfica RH30GI R. Comitán. Cuenca R. Lacantún. RH Grijalva – Usumacinta. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463127543>

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (2020). Censo Nacional de Población y Vivienda 2020. México.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2016). ¿Qué es un ordenamiento ecológico del territorio? Gobierno de México. <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/que-es-un-ordenamiento-ecologico-del-territorio>



## DESIGUALDAD<sup>5</sup>

*Alfonso de la Vega Rivera y Emilio Rodríguez Izquierdo*

En los últimos años, la influencia de la desigualdad en distintos ámbitos de la vida social se reconoce de manera creciente (Stiglitz, 2012; Wilkinson, 2010). Esta desigualdad no solo representa una distribución del ingreso y de la riqueza distinta, sino también capacidades políticas desiguales y derechos sociales en el acceso a la salud, al agua, o a la calidad ambiental (Esquivel Hernández, 2015). En México, es cada vez más evidente que los niveles extremos de desigualdad constituyen un grave impedimento para el desarrollo económico, de paz y de bienestar del país (*sensu* Stiglitz, 2012). En este capítulo presentamos un análisis de diversos indicadores socioeconómicos en tres municipios de la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello (Comitán de Domínguez, La Independencia y La Trinitaria), en Chiapas.

Chiapas es uno de los estados con mayor rezago social de México; los diferentes índices socioeconómicos así lo reflejan. Por ejemplo, en 2020, el Índice de Desarrollo Humano (IDH) de las Naciones Unidas presentó un valor de 0.592 (considerado un nivel de desarrollo medio), que representa el menor en México a nivel estatal y es un 23% menor del promedio nacional. Este nivel es comparable con países como Camboya o Angola. Desde una escala municipal, el municipio de La Trinitaria, con un IDH de 0.582, se considera con un nivel de IDH medio, mientras que el municipio de Comitán, pese a ser un centro de población y comercial muy importante en la región, tiene un IDH de 0.506, que está considerado en la categoría de desarrollo bajo. De manera similar, el municipio de La Independencia presenta un nivel de IDH de 0.529. Estos datos reflejan el nivel de marginación que se vive

en las comunidades de la región en las tres dimensiones que mide el IDH: educación, ingreso y salud.

Otro indicador que utilizamos para conocer el nivel de marginación y desigualdad en la región fue el Índice de Palma, que mide la desigualdad económica haciendo énfasis en la diferencia de ingreso entre el 10% de la población más rica y el 40% de la población más pobre. Sobre este indicador es interesante mencionar que los valores del Índice de Palma para los municipios de La Independencia y La Trinitaria en el año 2000 eran muy bajos (es decir, con muy poca desigualdad), debido a que prácticamente toda la población se encontraba en los deciles más bajos de ingresos, por lo que se podría decir que no existía una desigualdad intermunicipal. Para 2010, los valores del Índice de Palma aumentaron, tanto a nivel estatal como en los tres municipios de estudio. Sin embargo, dichos valores son muy inferiores a los que se encuentran a nivel estatal y nacional (Figura 11).

---

5 Esta investigación fue realizada con apoyo del Programa UNAM-PAPIIT IV300120 Crisis Ambiental en México y Desigualdad.





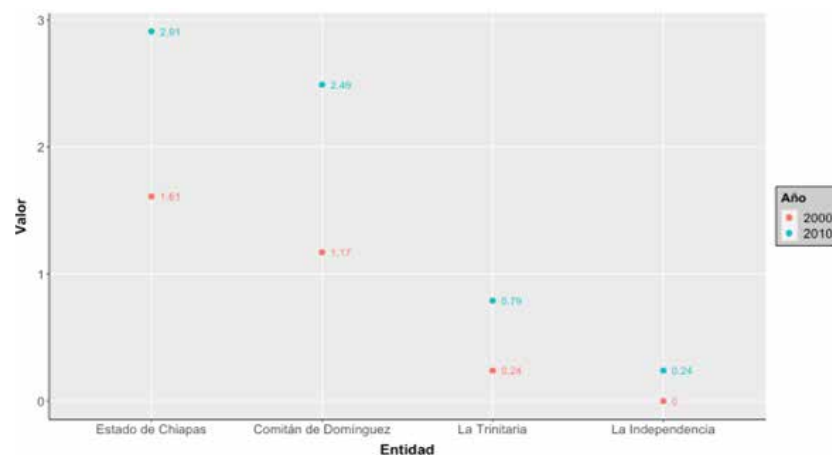


Figura 11. Índice de Palma en el estado de Chiapas y los municipios de Comitán de Domínguez, La Trinitaria y La Independencia para el año 2000 y 2010.

Dado que la desigualdad intermunicipal evaluada con el Índice de Palma en los municipios de estudio es muy baja, resulta especialmente interesante evaluar los niveles de marginación. En la Tabla 3 se presentan los valores de marginación<sup>6</sup> en el año 2015 (CONAPO, 2016), y en ella se puede apreciar que los niveles de marginación en los tres municipios de estudio son menores que los que se presentan a nivel estatal, lo que significa que en los tres casos tienen un grado de desigualdad menor que el promedio estatal. Cabe señalar que el estado de Chiapas ocupa el segundo lugar (solo después de Guerrero) entre los estados más marginados de nuestro país. El municipio de La Trinitaria está entre los municipios más marginados de México y es el que presenta el índice de Marginación más alto de los tres municipios

de estudio. El valor negativo en el índice de marginación del municipio de Comitán de Domínguez indica un grado de marginación menor que el del resto de los municipios. Este valor es comparable con el valor del índice de marginación promedio del estado de Sinaloa; esta situación se explica porque dicho municipio tiene características urbanas.

Tabla 3. Grado e índice de marginación en el estado de Chiapas y los municipios de Comitán de Domínguez, La Trinitaria y La Independencia para el año 2015 (CONAPO, 2016). \* nivel estatal.

Entidad	Grado de marginación	Índice de marginación	Lugar en el contexto nacional
Estado de Chiapas	Muy alto	2.41	2*
Comitán de Domínguez	Medio	-0.24	1,377
La Independencia	Alto	0.52	698
La Trinitaria	Alto	0.68	581

Todo ello ocurre en el contexto de una población que va en aumento y que está constituida principalmente por jóvenes menores a 15 años. En 2010, en el estado de Chiapas casi la mitad de la población (48%) o no tenía instrucción primaria (19%) o la tenía incompleta (29%). El municipio con mayor población es Comitán de Domínguez y tenía unos niveles de educación similar a los del estado de Chiapas: casi la mitad de la población (42%) o no tenía instrucción primaria (16%) o la tenía incompleta (26 %). En La Trinitaria, que es el siguiente municipio en términos de tamaño de la población, la mayoría de la población tenía

<sup>6</sup> El índice de marginación es un estadístico desarrollado por el Consejo Nacional de Población de México que evalúa por áreas geográficas el impacto de las carencias de la población respecto de cuatro dimensiones: educación, vivienda, distribución de la población e ingresos monetarios.

la primaria incompleta (34%), pero más de un cuarto de la población tenía la primaria completa (27%). Finalmente, en La Independencia la mayoría de la población, al momento de realizar este estudio, tenía la primaria incompleta (37%), pero más de un cuarto de la población tenía la primaria completa (28%).

Aunque la tendencia en los índices socioeconómicos de los tres municipios de estudio es similar a la del estado de Chiapas, los valores son ligeramente mejores, a excepción del IDH, donde los municipios de La Trinitaria y La Independencia –con una población inferior a los cien mil habitantes– tenían valores inferiores a los del IDH estatal. Todo ello pone de manifiesto el impacto negativo de la desigualdad, pues el poco crecimiento económico que se presenta beneficia solamente a un grupo de individuos. Por ende, podemos concluir que la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello mantiene procesos de desigualdad muy grandes comparados con las condiciones a nivel nacional y que la marginación prevalece en los municipios de estudio, lo que se refleja en un lento desarrollo y en una calidad de vida muy baja para los pobladores.

## Referencias

- Consejo Nacional de Población (CONAPO). (2016). Índice de marginación por entidad federativa y municipio 2015. Ciudad de México, México.
- Esquivel Hernández, G. (2015). Desigualdad Extrema en México: *Concentración del Poder Económico y Político. Reporte Oxfam. Ciudad de México*. [https://oxfammexico.org/wp-content/uploads/2017/04/desigualdadextrema\\_informe.pdf](https://oxfammexico.org/wp-content/uploads/2017/04/desigualdadextrema_informe.pdf)
- Pickett, K. y Wilkinson, R. (2010). *The spirit level: Why equality is better for everyone*. Penguin, UK.
- Stiglitz, J. E. (2012). *El precio de la desigualdad: el 1% de población tiene lo que el 99% necesita*. Madrid: Taurus.

# REZAGO SOCIAL <sup>7</sup>

*Efraín Aguirre Cortés, Alfonso de la Vega Rivera y Leticia Merino Pérez*

Las mediciones sobre la pobreza y marginación en México muestran marcados contrastes entre estados, regiones y municipios (Székely, 2005). Los efectos asociados a estos fenómenos se expresan en mayor grado en segmentos de la población vulnerable, principalmente las mujeres, los pueblos indígenas, los jóvenes y las personas discapacitadas (Somuano y Ortega, 2021). El estado de Chiapas es la entidad federativa con mayor rezago social en México (Carrillo Sagástegui et al., 2021). Paradójicamente, cuenta con una gran diversidad biológica y cultural.

La cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello incluye a los municipios de La Independencia, La Trinitaria y Comitán de Domínguez. La región está asociada a la dinámica transfronteriza entre México y Centroamérica, lo que ha generado un crecimiento poblacional acelerado con una marcada exclusión de grupos indígenas y migrantes, así como a conflictos políticos y religiosos (CONAGUA, 2009). En paralelo, el deterioro ambiental de los bosques y cuerpos de agua se ha agudizado en los últimos años. En este contexto, las condiciones de vida de amplios segmentos de la población de la cuenca son precarias.

## Metodología

En este trabajo se realizó una descripción sociodemográfica de los municipios de Comitán de Domínguez, La Independencia y La Trinitaria,

y para los años 2000, 2010 y 2020, mediante dos índices: 1) el Índice de Desarrollo Humano (IDH), del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), que consta de tres componentes estandarizados: salud, ingreso y educación, cuyo intervalo es de 0 a 1, donde un valor más cercano a uno indica mayor desarrollo humano; y 2) el Grado de Rezago Social (GRS), del Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL), el cual se compone de 11 indicadores que consideran al porcentaje poblacional bajo condiciones de rezago.

## Resultados y discusión

Chiapas es el estado con mayor rezago social en México, lo cual se ha mantenido durante las últimas décadas. En los municipios de estudio, los niveles de pobreza y pobreza extrema de la población en el año 2020 son altos: en Comitán, 69%; en La Independencia, 92%; y en La Trinitaria, 88% (CONEVAL). Al comparar el rezago, es de medio a bajo para Comitán, y de alto a muy alto en La Independencia y en La Trinitaria. Uno de los componentes más preocupantes es el educativo, ya que la escolaridad básica en Comitán fue de 16.2% en 1990 y de 30% en 2020, con un 22.6% de profesionistas en 2020. En La Independencia, la escolaridad básica fue de 16.3% en 1990 y de 53.1% en 2020, con un 3.8% de profesionistas (2020). En La Trinitaria, la escolaridad básica fue de 17.9% en 1990 y de 43.9% en 2020, con un 5.9% de profesionistas (2020). En la Figura 12 se muestran las once condiciones de rezago social del CONEVAL para los tres municipios. A mayor área del gráfico cubierta, mayor grado de rezago social.

<sup>7</sup> Esta investigación fue realizada con apoyo del Programa UNAM-PAPIIT IV300120 Crisis Ambiental en México y Desigualdad.

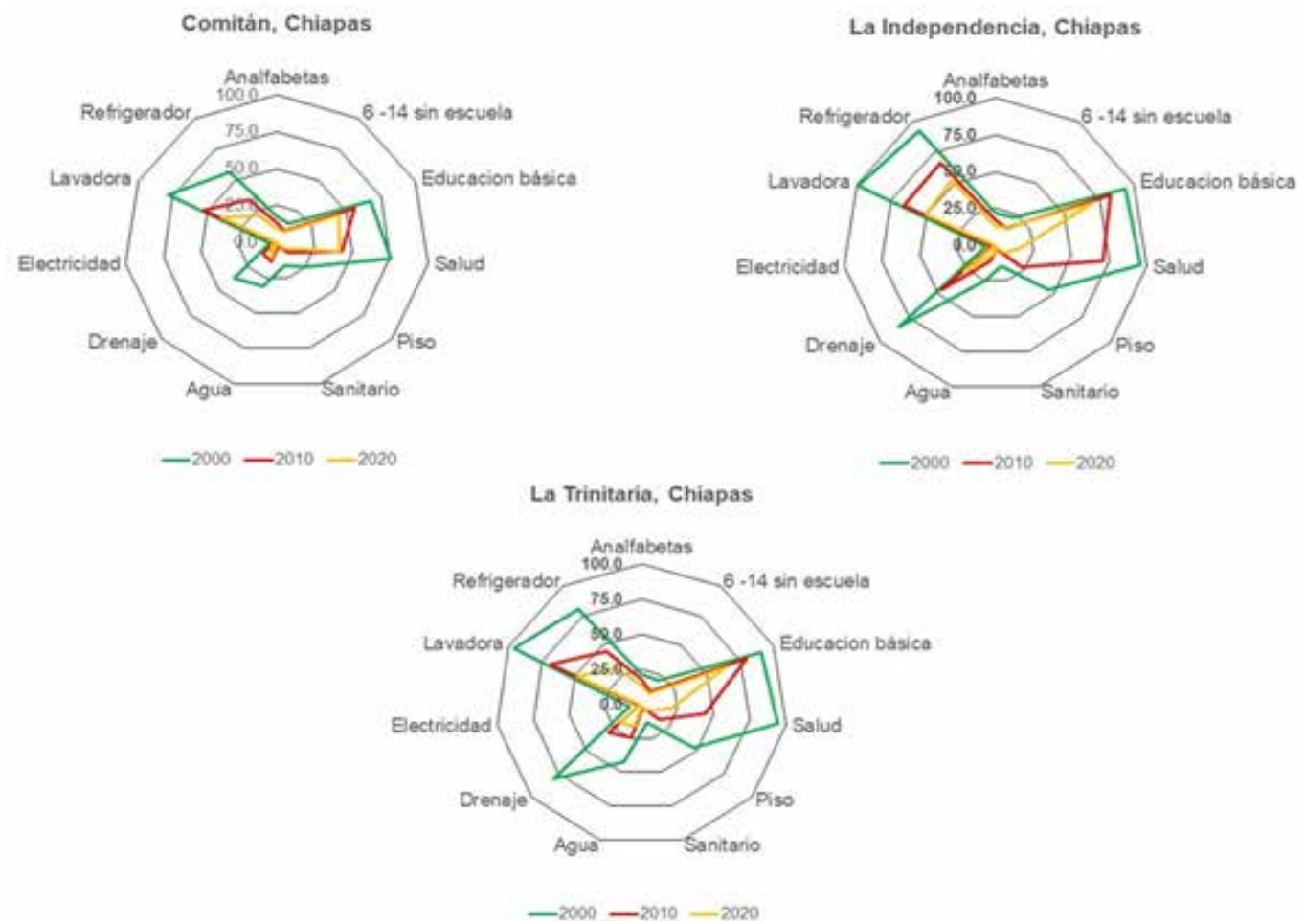


Figura 12. Grado de rezago social en tres municipios de Chiapas (CONEVAL, 2000, 2010 y 2020).

Respecto al Índice de Desarrollo Humano (IDH) (PNUD 2014, 2020), se observa una disminución desde el año 2000 a la fecha (Figura 13). Los municipios de estudio se encuentran en la categoría de desarrollo bajo y ocupan las posiciones 1,953 (La Trinitaria), 2,321 (La Independencia) y 2,402 (Comitán), dentro de los 2,458 municipios que conforman la República Mexicana y cuyos valores extremos correspondieron a Batopilas, Chihuahua (0.397), con el valor más bajo, y a Benito Juárez, Ciudad de México, con el valor más alto (0.929). Los valores de IDH son congruentes con el GRS, donde Chiapas se ubica como el estado más rezagado, seguido de Oaxaca y Guerrero.

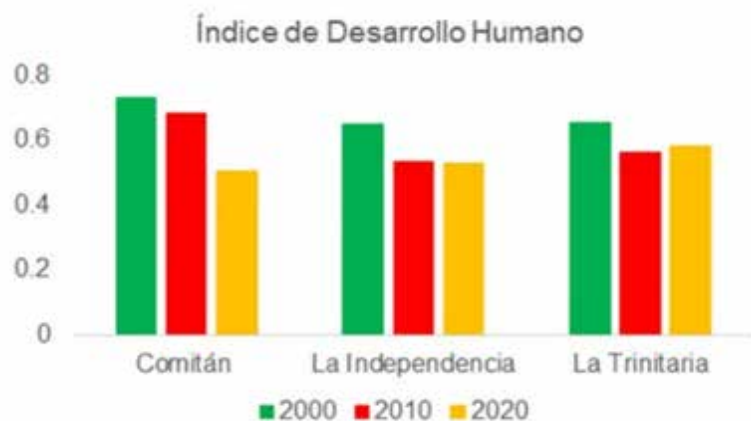


Figura 13. Índice de Desarrollo Humano (PNUD, 2000, 2010, 2020).

## Conclusiones

La evaluación del rezago social muestra avances incipientes para el estado de Chiapas y, en particular, para los municipios de estudio. Sin embargo, el desarrollo humano se ha deteriorado en las últimas décadas. Ambos indicadores permiten apreciar, desde dos aproximaciones complementarias, las necesidades y carencias por atender en la región y en el estado de Chiapas. En el periodo analizado, la región de estudio se ha caracterizado por un aumento en la producción agroindustrial, así como por el extractivismo, tanto del agua como del territorio, profundizando con ello la pobreza de las comunidades indígenas de la región y exacerbando las problemáticas sociales como la pobreza, la migración y la marginación, lo que pone en riesgo tanto a las comunidades humanas como a los ecosistemas.



## Referencias

Carrillo-Sagástegui, L. L., García-Fernández, F. y López-Arévalo, J. A. (2022). La relación entre desigualdad y crimen en el contexto de los estados con mayor pobreza en México: los casos de Guerrero, Oaxaca y Chiapas. *Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 32(59), 1-41.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2009). Plan de Gestión de la Cuenca del Río Grande – Lagunas de Montebello, Chiapas, México. 168 páginas.

Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL). (2020). *Medición de la pobreza. Índice de rezago social 2020 a nivel nacional, estatal, municipal y localidad*. [https://www.coneval.org.mx/Medicion/IRS/Paginas/Indice\\_Rezago\\_Social\\_2020.aspx](https://www.coneval.org.mx/Medicion/IRS/Paginas/Indice_Rezago_Social_2020.aspx)

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2014). *Índice de Desarrollo Humano Municipal*. <https://www.undp.org/es/mexico/publications/%C3%ADndice-de-desarrollo-humano-municipal>

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (2020). <https://www.idhmunicipalmexico.org/>

Somuano, M. F. y Ortega, R. (2021). *Desigualdad económica en México. Percepciones y determinantes*. En: Altamirano, M. y L. Flamand (Ed.). *Desigualdades sociales en México. Legados y desafíos desde una perspectiva multidisciplinaria* (pp. 251-286). El Colegio de México: 251 – 286.

Székely, M. (2005). Pobreza y desigualdad en México entre 1950 y 2004. *El trimestre económico*, 72(4), 913 – 931.



# COMPONENTE BIOLÓGICO

## II. COMPONENTE BIOLÓGICO

### BIODIVERSIDAD DE LA CUENCA<sup>8</sup>

Abisay Haro

Según el Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad (SNIB), la cuenca cuenta con un total de 4,614 especies, distribuidas en los grupos biológicos de anfibios, aves, hongos, invertebrados, mamíferos, peces, plantas, y reptiles (Figura 14). Esto muestra que la cuenca funciona como un importante reservorio de biodiversidad y el papel esencial que juega el ANP Parque Nacional Lagunas de Montebello para la conservación de diversas especies biológicas (Mapa 5), en particular para los grupos de plantas, invertebrados, y aves. Es importante mencionar que el territorio donde se encuentra el ANP es hábitat del quetzal mesoamericano (*Pharomachrus mocinno*) y es un área de distribución potencial de la guacamaya roja (*Ara macao*) y del águila arpía (*Harpia harpyja*), que son especies amenazadas o en peligro de extinción. Los hábitats que se encuentran en el ANP funcionan como un importante refugio de aves, por lo que el Parque Nacional Lagunas de Montebello está considerado como una de las Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICA) (CIPAMEX-CONABIO, 2015).

Muchas de las especies registradas se encuentran bajo alguna categoría de riesgo con respecto a su conservación; tal es el caso de los grupos de plantas y aves (Figura 15). Esto se debe a la notable transformación del territorio que conforma la cuenca, ya que en las últimas

décadas ha presentado una importante expansión agrícola, así como un rápido crecimiento de zonas urbanas y periurbanas.

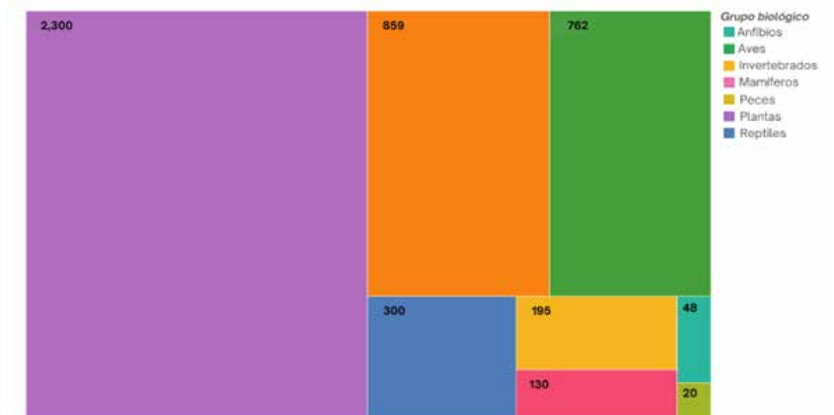


Figura 14. Número de especies registradas en la cuenca RGC-LM (Fuente: SNIB, 2020; Haro, 2017).

<sup>8</sup> Para el registro de los grupos biológicos en la cuenca se utilizó el Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad de México: <https://www.snib.mx/>. Las especies registradas en la cuenca y que se encuentran bajo algún tipo de amenaza se obtuvieron de: IUCN. (2022). The IUCN Red List of Threatened Species. Versión 2020-1. <https://www.iucnredlist.org> [Acceso en 2020].

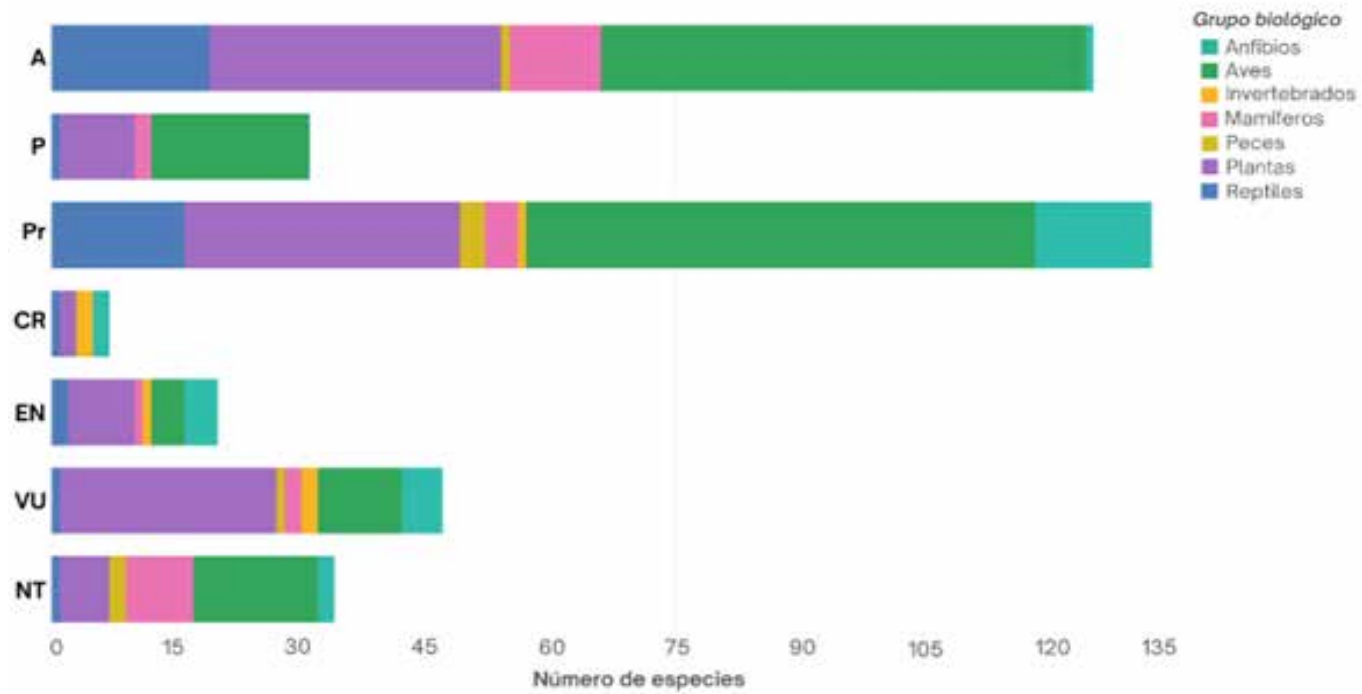
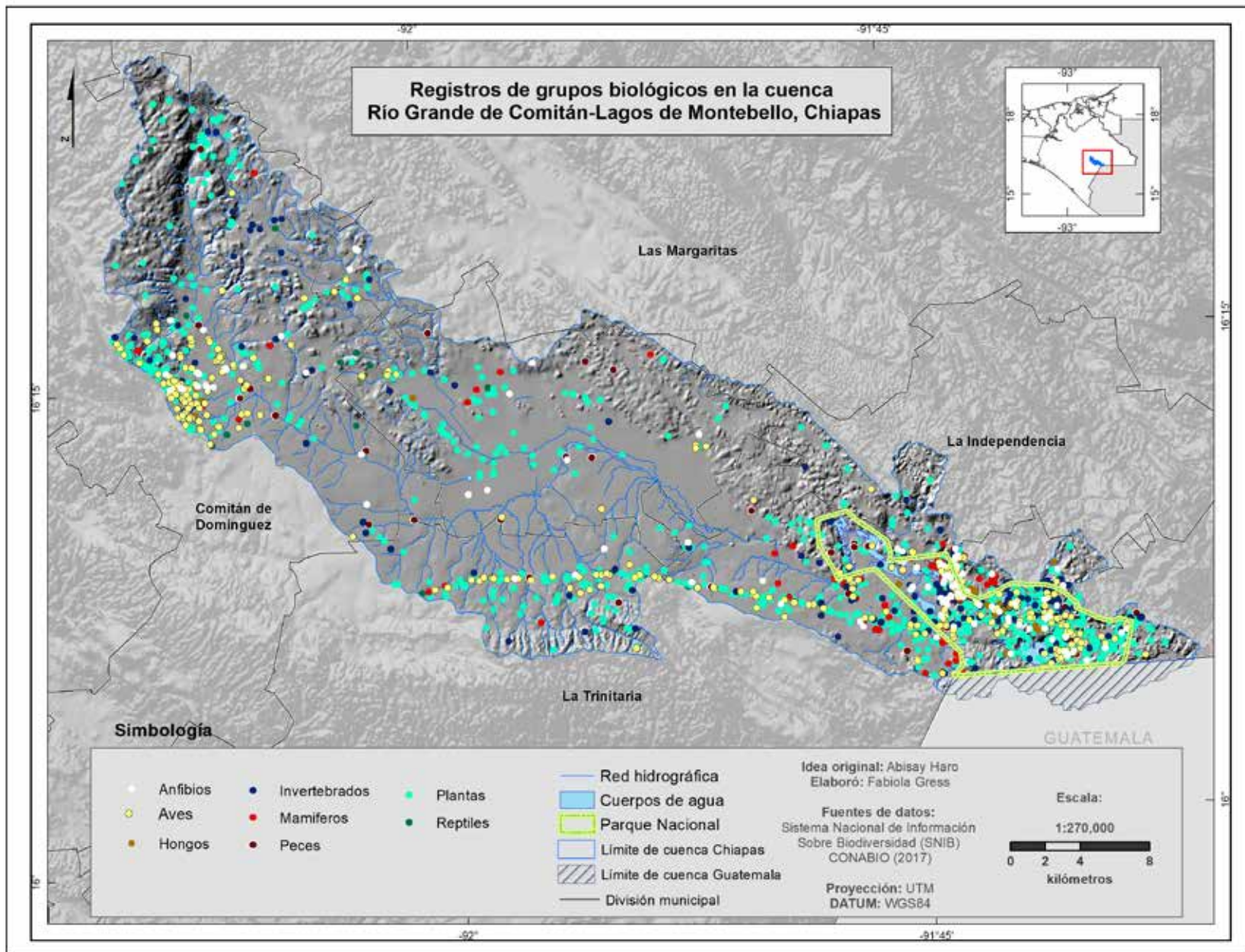


Figura 15. Especies registradas en la cuenca RGC-LM, bajo alguna categoría de riesgo o protección en la NOM-059 y en la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN). Para la NOM-059: Amenazadas (A), En peligro de extinción (P) , Sujetas a protección especial (Pr). Para la IUCN: En peligro crítico (CR), En peligro de extinción (EN), Vulnerable (VU), casi amenazada (NT).



Mapa 5. Registros de grupos biológicos presentes en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas

## Referencias

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2021). Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad de México. Disponible en: <https://www.snib.mx/>

Sección Mexicana del Consejo Internacional para la Preservación de las Aves y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CIPAMEX-CONABIO). (2015). Áreas de importancia para la conservación de las aves, escala:1:250,000. CONABIO-FMCN-CCA., México.

# PARQUE NACIONAL LAGUNAS DE MONTEBELLO<sup>9</sup>

*María Odetta Cervantes Bieletto y Jesús Alejandro León Mendoza*

## Descripción del Área Natural Protegida y su política de manejo

El Parque Nacional Lagunas de Montebello, ubicado en la región sur-sureste del estado de Chiapas, y colindante con el país vecino de Guatemala (CONANP, 2007), fue decretado como Área Natural Protegida (ANP) federal el 26 de noviembre de 1959 por el presidente Adolfo López Mateos. La publicación de su decreto en el Diario Oficial de la Federación (DOF) se realizó el 16 de diciembre del mismo año (DOF, 1959). La superficie del Parque Nacional corresponde a 6,545.62 hectáreas de zona terrestre y aguas continentales (CONANP, 2022), y abarca los municipios de La Independencia y La Trinitaria, Chiapas. Este último ocupa aproximadamente un 95% de la superficie del ANP (Mapa 6).

La administración del Parque Nacional, a partir del mes de junio del año 2000, quedó a cargo de la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), organismo administrativo desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). A través de su Programa de Manejo se establecen cinco subzonas al interior del polígono para política de regulación, las cuales corresponden a las subzonas de preservación, uso tradicional, uso público, de recuperación y de asentamientos humanos (Mapa 7). Por ejemplo, la subzona de uso público, de 232 ha, corresponde a las áreas con atractivos naturales destinados a actividades de recreación y esparcimiento,

en tanto que la subzona de uso tradicional, de 0.51 ha, se refiere a las superficies en donde los recursos naturales han sido aprovechados de manera tradicional y donde continuamente se llevan a cabo prácticas comunitarias tradicionales, como lo evidencia el panteón comunitario que está en esta área, donde se rinde culto a los difuntos, o el polígono de las grutas de San Rafael el Arco, donde se hacen ofrendas y rituales (CONANP, 2007). Por su parte, la subzona de asentamientos humanos hace referencia a la colonia Tzisco, municipio de La Trinitaria, Chiapas, que constituye el único centro de población reconocido en el Programa de Conservación y Manejo del Parque Nacional (CONANP, 2007).

Derivado de su belleza escénica, por la majestuosidad del color de sus lagos, asociados a bosques de pino, encino y liquidámbar (Fotografía 1), a su valor biológico y a su riqueza multicultural, el Parque Nacional Lagunas de Montebello se ha constituido como un atractivo turístico de gran relevancia no solo para Chiapas y México, sino también a nivel internacional, pues más de 300,000 turistas lo visitan anualmente, lo que provoca una alta derrama económica para la región, así como para las comunidades que ofertan servicios en el ANP.

---

<sup>9</sup> Trabajo elaborado por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, oficina del Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chiapas, con base en el Programa de Conservación y Manejo del Parque Nacional (2007).



Fotografía 3. Vegetación de pino-encino-liquidámbar en el Parque Nacional Lagunas de Montebello.

### Cuerpos lacustres

El complejo de lagos de Montebello está ubicado en los límites de la frontera entre el territorio de México y Guatemala. En términos de regiones hidrológicas, corresponde a la región Grijalva-Usumacinta (No. 30), de la cual forma parte también la cuenca del río Lacantún. De esta última se desprende la subcuenca del río Grande de Comitán, donde está ubicado el complejo lacustre. Al ser de origen kárstico, los lagos forman un grupo de cuerpos de agua conectados tanto vía superficial como subterránea, particularmente en la temporada de lluvias (CONANP, 2007).

El complejo lacustre de Montebello muestra variables morfológicas: algunos lagos presentan pequeñas playas, como el lago Montebello y el lago Tziscaco; otros se encuentran entre paredes escarpadas carentes de orillas planas, como Agua Tinta y Ensueño. Otros lagos se

caracterizan por sus zonas altamente inundables, como el complejo de lagos de planicie de San Lorenzo y Peñitas (Fotografía 2), que han sido impactados por la aportación de nutrientes, sedimentos y microorganismos favorecidos por las precipitaciones y escorrentías de fuentes puntuales y difusas provenientes principalmente de la parte alta y media de la cuenca RGC-LM (Alvarado et al., 2022). Los lagos del Parque Nacional se han clasificado de acuerdo con su origen y parámetros morfométricos en poljes, dolina y uvalas (Tabla 4). Las dolinas son depresiones de forma circular, en tanto que las uvalas presentan formas alargadas y, si el tamaño es mayor a 1 km<sup>2</sup>, se consideran poljes (Fragoso-Servón et al., 2014).



Fotografía 4. Lagos de planicie en la zona del sistema lagunar Bosque Azul y Las Peñitas. Foto: Gabriel Franco Guillén (2019).



Tabla 4. Origen de los lagos de Montebello, según parámetros morfométricos (adaptada de Alcocer et al., 2016).

Clasificación de los tipos de orígenes (Hutchinson, 1957) de los lagos de Montebello, basados en parámetros morfométricos	
Categoría	Lagos
Dolina	Agua Tinta, Dos Lagos, Ensueño, Esmeralda y Patianú
Uvala	Chaj Chaj, Balamtetik, Cinco Lagos, Bosque Azul, La Encantada, Liquidámbar, Kichail, Montebello, Pojoj, Yalalush y San José
Polje	San Lorenzo y Tzisco

Las profundidades máximas registradas para algunos cuerpos lacustres los han colocado del segundo al sexto más profundos de México, solo por debajo del lago El Zacatón, localizado en el estado de Tamaulipas, de origen kárstico hidrotermal y con una profundidad máxima de 339 metros. Por debajo de él aparece el lago Pojoj, con 198 m; Cinco Lagos, con 162 m; Encantada, con 89 m; Tzisco, con 86 m; y San Lorenzo, con 67 m (Alcocer et al., 2016), clasificados de acuerdo con sus dimensiones y profundidades (Tabla 5).

Tabla 5. Dimensiones y profundidades de los Lagos de Montebello (información adaptada de Alcocer et al., 2016).

Categorización de los Lagos de Montebello basados en sus dimensiones y profundidades	
Categoría	Lagos
Largos y profundos	Bosque Azul, Pojoj y Tzisco
Largos y poco profundos	Montebello, San José y San Lorenzo
Pequeños y profundos	Cinco Lagos, Dos Lagos, Ensueño, La Encantada
Pequeños y poco profundos	Agua Tinta, Balamtetik, Chaj Chaj, Esmeralda, Kichail, Liquidámbar, Patianú, Yalalush

Las características de los cuerpos de agua, su asociación con la vegetación hidrófila y las condiciones del suelo han permitido que los humedales puedan albergar una gran diversidad de grupos taxonómicos, por lo que el Parque Nacional Lagunas de Montebello obtuvo su denominación el 27 de noviembre de 2003 como sitio RAMSAR número 1325. Los sitios RAMSAR son humedales de importancia internacional por ser cunas y refugios de diversidad biológica, así como por su relevancia cultural. La designación como sitio RAMSAR conlleva la adopción de planes de manejo, el establecimiento de zonificaciones urbanas y agrícolas, así como medidas para la conservación de los humedales.

### Vegetación

La vegetación predominante del Parque Nacional Lagunas de Montebello corresponde a bosques de clima templado, siendo las principales asociaciones vegetales los bosques de coníferas, bosques de latifoliadas, bosque mesófilo de montaña, vegetación riparia, vegetación secundaria y zonas de cultivo (Mapa 8). La comunidad vegetal más abundante corresponde al bosque de coníferas, donde la vegetación de pino está principalmente representada por dos especies: *Pinus oocarpa*, con una alta densidad en el centro y noroeste del Parque, y *Pinus maximinoii*, concentrado en lugares relativamente más altos y con mayor humedad. Es importante señalar que las poblaciones de estas dos especies de pino han sido constantemente afectadas por la presencia de insectos descortezadores primarios del género *Dendroctonus sp.*, que pueden llegar a provocar la muerte de miles de árboles en caso de no controlarse de manera oportuna de acuerdo con la normatividad aplicable para el ANP.

Otro ejemplo relevante de especies que albergan los bosques mesófilos de Montebello son orquídeas y bromelias (familias Bromeliaceae y Orchidaceae). Se han registrado 24 especies de bromelias y 176 de

orquídeas, lo que representa el 17.26% y 24.54%, respectivamente, de las registradas para el estado de Chiapas (Beutelspacher y Moreno, 2011).

Los ecosistemas del Parque Nacional favorecen el crecimiento de una gran variedad de hongos ectomicorrizógenos. Se han registrado 93 taxones para el ANP, de los cuales los más representativos, según valores de abundancia y distribución, son: *Laccaria amethystina*, *Craterellus lutescens*, *Suillus decipiens*, *Craterellus ignicolor*, *Cantharellus minor* y *Coltricia cinnamomea*, con 7.41%, 5.78%, 5.78%, 5.19%, 3.70% y 3.70%, respectivamente (Kong et al., 2008). Entre las especies comestibles se encuentran la oreja (*Auricularia auricula*), el canchaitas (*Boletus luridus*), el pegajoso (*Calvatia cyathiformis*) y el jolete (*Hebloma fastibile*) (CONANP, 2007).

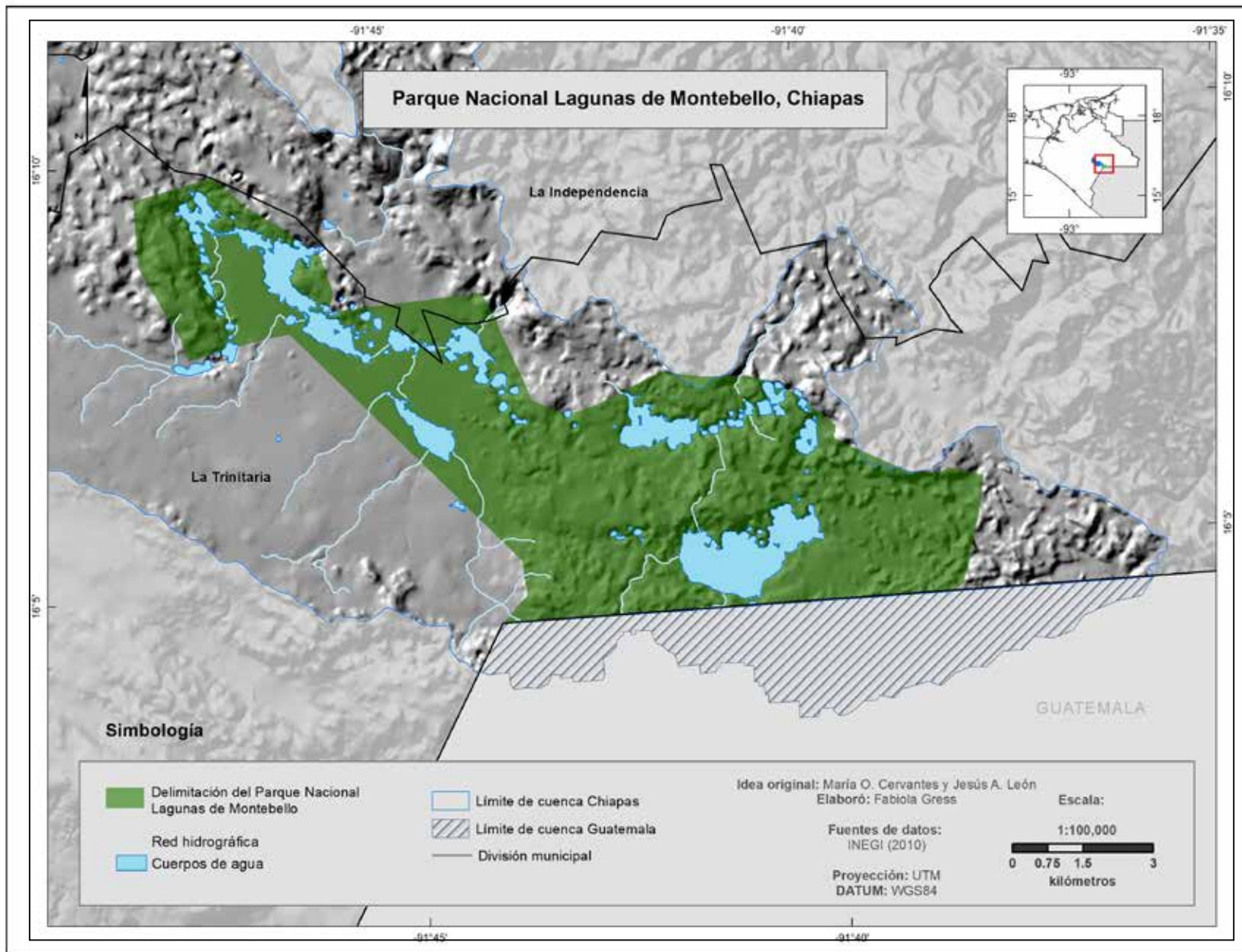
## Fauna

De acuerdo con el Programa de Conservación y Manejo del ANP, la riqueza faunística de vertebrados la encabeza el grupo de las aves, destacando el quetzal mesoamericano (*Pharomachrus mocinno*) por su hábitat restringido y como indicador de conservación. Le sigue el grupo de los mamíferos (CONANP, 2007), de los cuales se ha registrado, por personal del ANP y a través de cámaras trampa, la presencia de tepezcuintle (*Cuniculus paca*) y nutria (*Lontra longicaudis*), especies que no aparecen en el inventario faunístico del ANP. Asimismo, en la zona de influencia se ha identificado la presencia de pecarí de collar (*Dicotyles tajacu*) y, recientemente, al interior del área protegida, un ejemplar de mono aullador negro (*Alouatta pigra*), que presumiblemente se desplazó del noroeste de la zona de influencia del Parque al interior (Palacios et al., 2021), toda vez que en localidades de San Nicolás y Tierra Blanca La Montaña poseen áreas de reserva en donde existe la presencia de esta especie. Después del grupo de mamíferos, continúan, por número de especies, los grupos de reptiles, anfibios y peces (CONANP, 2007).

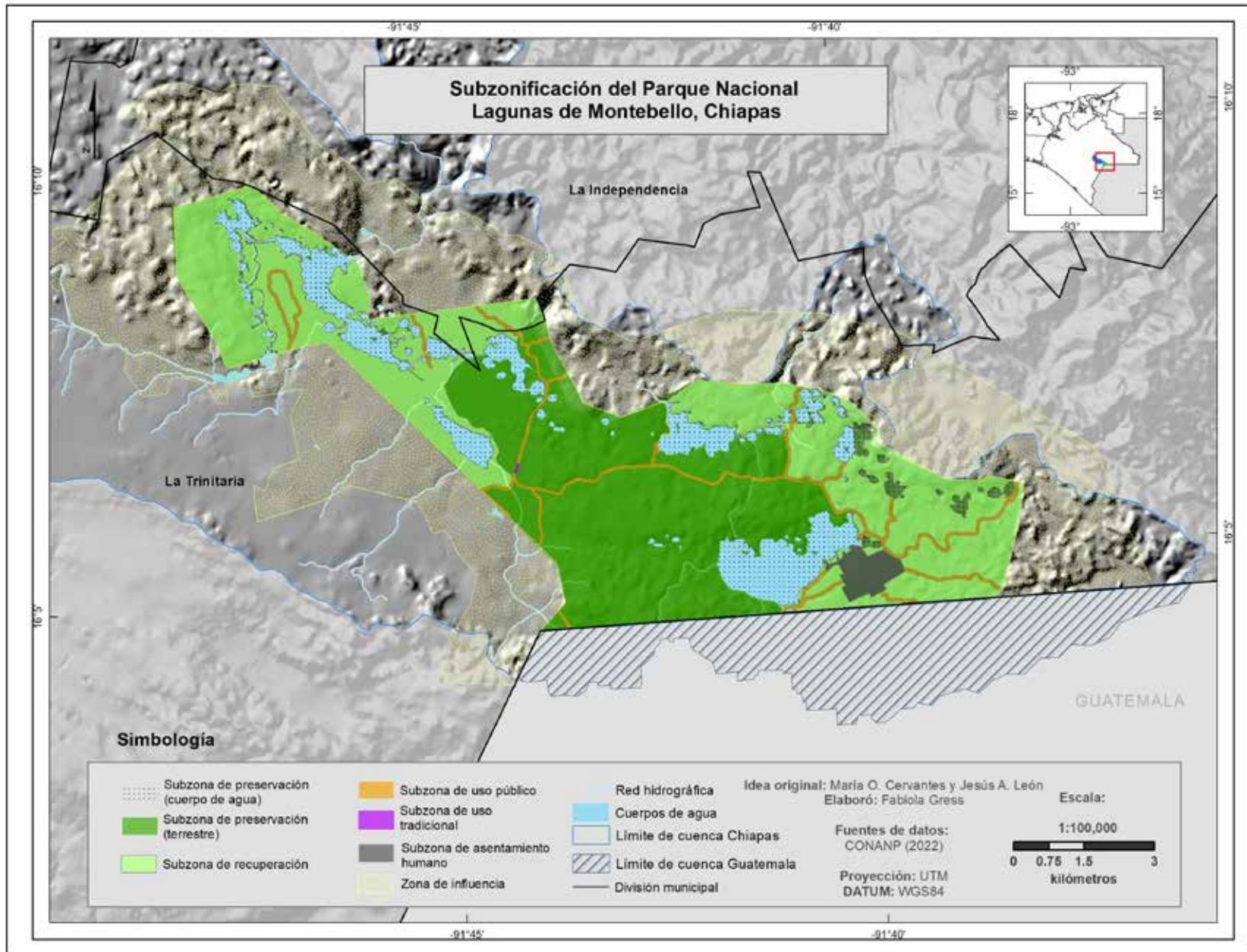
## Historia y Cultura

Históricamente, la región de los Lagos de Montebello ha sido un escenario pluricultural, fronterizo y de contactos y movimientos poblacionales que le confieren al área una complejidad multidimensional (Guerrero y Pérez, 2023). Como prueba de ello, contiguos al Parque Nacional se encuentran el sitio arqueológico de Chinkultic y otros de menor tamaño en Yalmutz, Montebello, Tziscoa, así como cuevas con ofrendas importantes, como Los Andasolos. La ocupación más antigua de la que se tiene registro es del periodo Preclásico Medio, alrededor del año 500 a. C. (Sánchez et al., 2023), pero seguramente la presencia humana en la zona data de varios milenios atrás. Durante los años 700 a 900 d. C. se erigieron los principales monumentos de Chinkultic y se depositaron grandes urnas de barro en las cuevas de lo que hoy es el Área Natural Protegida. Posteriormente, durante la época Posclásica (900-1521) se utilizaron las cuevas como osarios y, tras el abandono de Chinkultic, la población se estableció en Tepancuapa, en las orillas de la laguna de San Lorenzo. Alrededor de 1550, tras constantes ataques de lacandones, y por su remota ubicación, los habitantes fueron reubicados en el pueblo de Coapa, a orillas del camino real a Guatemala, 45 km al suroeste. Durante la Colonia y hasta mediados del siglo XX, el área de los lagos de Montebello perteneció a la hacienda Tepancuapa y, con el tiempo, a varios ranchos y fincas, como El Rincón, San José, San Lorenzo y Tierra Blanca. Es importante mencionar, además, la fundación –entre 1874 y 1882– de la colonia Tziscoa con indígenas chuj, derivada de las órdenes del presidente Díaz en el contexto de la delimitación de la frontera con Guatemala (Limón, 2007). El área de Tepancuapa también fue un área de disputa. Originalmente perteneció a los mayas chuj de San Mateo Ixtatán, para luego ser parte de Zapaluta o Trinitaria. Lingüísticamente han cohabitado en el área los mayas tojolabales, los chujes y los tzeltales (Guerrero, 2020), quienes han mantenido vivas antiguas costumbres y significados del lugar.

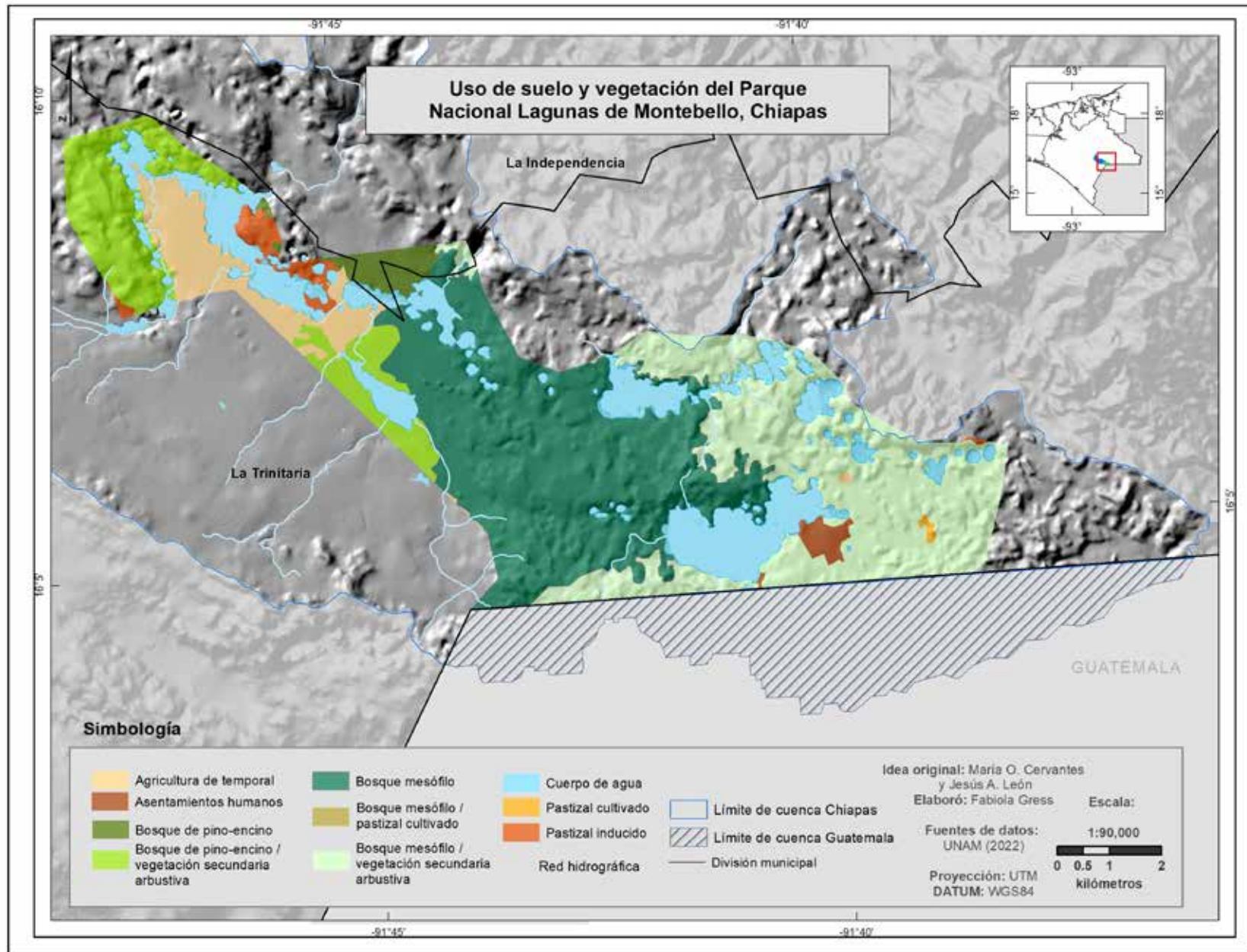
El Parque Nacional Lagunas de Montebello ha estado ligado a los habitantes de la región desde épocas inmemoriales, siendo un espacio de gran importancia espiritual para la comunicación con los ancestros y con seres sobrenaturales, por lo que su vocación de conservación implica conservar también la memoria de su pasado. Uno de los usos más importantes para las comunidades es el de espacio ritual para pedir agua, salud o cualquier necesidad espiritual. En particular, la cueva de San Rafael El Arco atrae a personas de ambos lados de la frontera y de zonas bastante lejanas del estado de Chiapas. Igualmente, sus pobladores han explotado recursos como las bromelias para decorar las iglesias y los altares en las fiestas patronales. Otro importante recurso explotado son las arcillas de Ojo de Agua para elaborar trabajos de alfarería en las comunidades de Yalmutz y Ojo de Agua, donde se halla una mina con arcillas de calidad extraordinaria (Daltabuit y Alvarez, 1977). Para el trabajo de la alfarería también se explota el *bax*, cristales de calcita que se encuentran en las montañas como afloramientos en grietas y algunas cuevas. De los ríos se extrae arena de dolomita, que se mezcla con la arcilla dependiendo del uso que se le dará al objeto terminado.



Mapa 6. Ubicación y territorialidad del Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chiapas.



Mapa 7. Subzonificación del Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chiapas.



Mapa 8. Mapa de uso de suelo y vegetación del Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chiapas.

## Referencias

- Alcocer, J., Oseguera, L. A., Sánchez, G., González, C. G., Martínez, J. R. y González, R. (2016). "Bathymetric and Morphometric Surveys of the Montebello Lakes, Chiapas". *Journal of Limnology*, 75. <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2016.1343>
- Alvarado, J., García-Meneses, P. M., Esse, C., Saavedra, P., Morales, R., Bonifaz, R. y Mazari-Hiriart, M. (2022). Spatially explicit vulnerability analysis of contaminant sources in a karstic watershed in southeastern Mexico. *Applied Geography*, 138, 102606. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2021.102606>
- Beutelspacher, B. C. R. y Moreno-Molina, I. (2011). Orquidáceas y Bromeliáceas del Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chiapas, México. *Lacandonia*, 5: 87-102.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). (2007). Programa de Conservación y Manejo del Parque Nacional Lagunas de Montebello (pp. 194). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). (2022). Sistema de Información, Monitoreo y Evaluación para la Conservación (SIMEC). Recuperado el 4 de octubre de 2022, de <https://simec.conanp.gob.mx/ficha.php?anp=167&reg=11>
- Daltabuit, M. y Álvarez, C. (1977). La Cerámica de Yalmuz, Chiapas. *Estudios de Cultura Maya*, Vol. 10, pp. 231-242. <https://revistas-filologicas.unam.mx/estudios-cultura-maya/index.php/ecm/article/view/497>
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (1959). Decreto que declara necesaria y de utilidad pública la creación de un Parque Nacional en la región conocida con el nombre de Lagunas de Montebello, ubicada en Independencia y La Trinitaria e Independencia, en el Estado de Chiapas. 16 de diciembre de 1959.
- Fragoso-Servón, P., Bautista, F., Frausto, O., Pereira, A. (2014). Caracterización de las depresiones kársticas (forma, tamaño y densidad) a escala 1:50,000 y sus tipos de inundación en el Estado de Quintana Roo, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 31:127-137.
- Guerrero, F. y Pérez, C. (2023). Acercamiento a Algunos Topónimos de la Región de Comitán y los Lagos de Montebello, Chiapas. *The Mayanist*. Vol. 5 (número 1), pp. 45-62. [https://static1.squarespace.com/static/5becd5662714e530f22454e9/t/652d720edf802817314343fe/1697477140465/TheMayanist5%281%29\\_sm.pdf](https://static1.squarespace.com/static/5becd5662714e530f22454e9/t/652d720edf802817314343fe/1697477140465/TheMayanist5%281%29_sm.pdf)
- Guerrero, Fernando. (2020). Reflexiones en torno a la historia de las relaciones entre tojolabales, tseltales y chujes. *Revista pueblos y fronteras digital*, 15, e439. Epub 05 de marzo de 2021. <https://doi.org/doi.org/10.22201/cimsur.18704115e.2020.v15.439>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2010. Obtenido de [https://antares.inegi.org.mx/analisis/red\\_hidro/siatl/#](https://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/siatl/#).
- Kong, A., Montoya, A., García-de Jesús, S., Ramírez-Terrazo, A., Andrade, R., Ruan-Soto, F. y Estrada-Torres, A. (2018). Hongos ectomicorrizógenos del Parque Nacional Lagunas de Montebello. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 741-756.

Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad. (2022). Universidad Autónoma de México (UNAM). <https://lancis.ecologia.unam.mx//proyectos/riogrande/>

Limón, F. (2007). Chuj/Pueblos Indígenas del México Contemporáneo. CDI México. 55 pp.- <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/11023/chuj.pdf>

Palacios-Méndez, L. R., León-Mendoza, J. A. y Romero-Berny, E. I. (2021). Primer registro del mono aullador negro (*Alouatta pigra*) en el Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chiapas, México. *Revista Mexicana de Mastozoología*, 11(1), 41-48. <https://doi.org/10.22201/ie.20074484e.2021.11.1.312>

Sánchez, A., Folch, R., Cuevas, M. (2023). The Chinkultic Effigy-Urns Complex and How They Made their Way to our Museums. *The Mayanist*. Vol. 5 (número 1), pp. 1-22. [https://static1.squarespace.com/static/5becd5662714e530f22454e9/t/652d720edf802817314343fe/1697477140465/TheMayanist5%281%29\\_sm.pdf](https://static1.squarespace.com/static/5becd5662714e530f22454e9/t/652d720edf802817314343fe/1697477140465/TheMayanist5%281%29_sm.pdf)



## ICTIOFAUNA<sup>10</sup>

Abisay Haro y Luis Zambrano González

Durante el 2013 se evaluó la estructura de la comunidad íctica a lo largo de diversos grados de perturbación en el río Grande de Comitán. A través de este estudio se encontraron diferencias espaciales y temporales de las condiciones fisicoquímicas del río. A lo largo del RGC se encuentran sitios con poca o nula vegetación riparia, olores fétidos y alto grado de erosión, siendo sitios poco heterogéneos. Los sitios con mayor perturbación se ubican desde la zona media hasta la zona baja del río. La presencia de algunas especies de peces está predominantemente asociada a un gradiente de diversidad de sustratos, pH y temperatura del agua; mientras que la presencia de otras está asociada a un gradiente de oxígeno disuelto y también de temperatura (Haro, 2017, p. 6). En cada uno de los sitios, la estructura de la comunidad íctica varía notablemente entre la temporada de lluvias y de secas, tanto en composición como en abundancia. En los sitios ubicados en la parte alta del río, las comunidades son similares, pero temporalmente muestran un ligero cambio en su composición y un notable cambio en abundancias. El grado de perturbación del río aumenta notablemente aguas abajo, pero se observa una ligera mejora de su calidad en la zona más baja. Conforme avanza el grado de perturbación, la mayoría de las especies nativas desaparecen, y solamente unas cuantas son capaces de tolerar alteraciones de la calidad del agua (Haro, 2017, p. 43).

Los ecosistemas lóticos (arroyos y ríos) y lénticos (lagos) que componen la cuenca funcionan como importantes reservorios de la ictiofauna. En el río Grande de Comitán se registraron 12 especies y una subespecie de peces, las cuales están distribuidas en seis familias.

La familia Poeciliidae es la que está mayormente representada a lo largo del río, con un total de cuatro especies (Tabla 6). Otra familia que está bien representada en el río es Profundulidae, con dos especies que son nativas y endémicas de la zona. Tal es el caso del pez endémico conocido como escamudo de Comitán (*Tlaloc candalarius*), especie catalogada como casi amenazada por la IUCN (Haro, 2017, p. 31). Por otra parte, y como suele ser una generalidad del estado actual de muchos de los ríos del país, en el río Grande también se encuentran especies introducidas, como es el caso de la carpa y la tilapia. En el sistema lagunar de Montebello se registraron siete especies de peces, correspondientes a cuatro órdenes; cuatro de estas especies son nativas y tres de ellas son introducidas (Tabla 7).

---

<sup>10</sup> Este capítulo es una síntesis de la tesis de maestría de Haro, G. A. (2017). Cambios en la estructura de la comunidad íctica a lo largo de un gradiente de perturbación ambiental, en el Río Grande de Comitán, Chiapas. Tesis disponible en: [https://tesiunam.dgb.unam.mx/F?func=find-b-0&local\\_base=TES01](https://tesiunam.dgb.unam.mx/F?func=find-b-0&local_base=TES01)

Tabla 6. Riqueza de especies de peces registradas en el río Grande de Comitán, Chiapas (Haro, 2017, p. 32).

Familia	Especie	Nombre común	Distribución
Characidae	<i>Astyanax aeneus</i>	Pepesca	Nativo
Cichlidae	<i>Oreochromis</i> sp.	-	Introducido
Cyprinus	<i>Cyprinus carpio</i>	Carpa común	Introducido
Pimelodidae	<i>Rhamdia guatemalensis</i>	Juil descolorido	Nativo
Poeciliidae	<i>Poecilia mexicana</i>	Topote del Atlántico	Nativo
	<i>Poeciliopsis gracilis</i>	Guatopote jarocho	Nativo
	<i>Poeciliopsis hnlickai</i>	Guatopote de Ixtapa	Nativo
	<i>Poecilia reticulata</i>	Guppy	Introducido
	<i>Poecilia</i> sp.	-	-
Profundulidae	Subgénero Tlaloc	-	-
	<i>Profundulus candalarius</i>	Escamudo de Comitán	Nativo
	<i>Profundulus</i> aff. <i>candalarius</i>	-	Nativo
	<i>Profundulus labialis</i>	Escamudo bocón	Nativo

Tabla 7. Riqueza de especies registrada en diversos lagos del ANP Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chiapas (Haro, 2017). Las especies no nativas se identifican con \*

Orden, Familia, Especie, Nombre común
Characiformes
Characidae
<i>Astyanax aeneus</i>
Pepesca
Cypriniformes
Cyprinidae
<i>Cyprinus carpio</i>
Cyprinodontiformes
Poeciliidae
<i>Poecilia mexicana</i>
Topote del Atlántico
Profundulidae
<i>Profundulus candalarius</i>
Escamudo de Comitán
Perciformes
Centrarchidae
<i>Micropterus salmoides</i> *
Lobina negra
Cichlidae
<i>Oreochromis</i> sp.
Tilapia
<i>Theraps intermedius</i>
Mojarra del Petén

El río Grande de Comitán se encuentra severamente perturbado como consecuencia de la actividad antropogénica de la región, particularmente por la descarga de aguas residuales y la intensa actividad agrícola. El poco control en el manejo y gestión del río ha provocado un desbalance en la cantidad y calidad del agua del ecosistema, lo cual representa un riesgo para la comunidad íctica (Haro, 2017, p. 52).

El estudio de los sistemas acuáticos de la cuenca y de sus comunidades biológicas a nivel local aporta información relevante; sin embargo, no nos permite identificar condiciones a nivel regional que pudieran relacionarse con la estructura de la comunidad íctica. La conservación de estos ecosistemas requiere de estudios desde una perspectiva regional que permitan identificar patrones a mayor escala que pudieran estar provocando cambios en la comunidad íctica. Esto ayudaría al mejor entendimiento de estos ecosistemas tan dinámicos y complejos, lo que a su vez contribuiría a un mejor manejo y protección (Haro, 2017, p. 53).

## Referencias

Haro, G. A. (2017). Cambios en la estructura de la comunidad íctica a lo largo de un gradiente de perturbación ambiental, en el río Grande de Comitán, Chiapas. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. México: 69 pp.





# MACROINVERTEBRADOS<sup>11</sup>

*Inari Sosa, Claudia Orozco Martínez y Luis Zambrano*

La composición de comunidades de macroinvertebrados acuáticos puede fungir como un indicador de la calidad del agua, ya que estas especies pueden identificarse y colectarse con relativa facilidad y tienen intervalos distintos de tolerancia a la contaminación orgánica. Esto significa que distintos organismos tienen una sensibilidad diferenciada ante una alteración en los cuerpos de agua: hay especies muy sensibles que pueden desaparecer o reducir su abundancia, como los plecópteros, tricópteros y efemerópteros; otras más tolerantes, como sucede con algunas familias de dípteros (Chironomidae), incrementan sus densidades cuando la calidad del agua disminuye (Orozco-Martínez, 2016). Los macroinvertebrados acuáticos son buenos colonizadores de diferentes ambientes, pues tienen ciclos de vida cortos, alta diversidad taxonómica y recambio de especies (Medianero y Samaniego, 2004; Alonso y Camargo, 2005; González y Fajardo, 2013; Olomukoro y Dirisu, 2014).

En 2013 se evaluaron los patrones de diversidad de macroinvertebrados asociados con la calidad del agua en los Lagos de Montebello; en específico, en 13 lagos con diferentes niveles de transparencia. En esta evaluación se registraron 52 familias, 15 órdenes, 6 clases y 4 phylum de macroinvertebrados. Las familias con mayores abundancias en los lagos fueron Chironomidae (56.2%, Figura 16), Hyalellidae (16.7%, Figura 17), Coenagrionidae (5.1%, Figura 18) y Scirtidae (3.9%). Los análisis de abundancia relativa mostraron a las familias Hyalellidae y

Chironomidae como las más abundantes, en lagos transparentes y en lagos turbios, respectivamente. En consecuencia, los lagos dominados por Chironomidae presentaron muy baja abundancia de Hyalellidae, y los lagos con mayor presencia de Hyalellidae presentaron baja abundancia de Chironomidae (Mapa 9) (Orozco-Martínez, 2016).

El grupo trófico recolector fue el dominante en casi todo el complejo lacustre (con excepción de Cinco Lagos, donde fue más abundante el grupo de los fragmentadores). En el caso de los lagos transparentes, este grupo está formado por las familias Chironomidae, Baetidae (Figura 19), Caenidae (Figura 20), Leptophlebiidae, Leptoceridae, Hylellidae, Ceratopogonidae, Cambaridae, Dixidae, Dugesiidae, Calamoceratidae, Elmidae y Xiphocentronidae. En el caso de los lagos turbios, el grupo de los recolectores está formado por las familias Cambaridae, Chironomidae, Dixidae, Baetidae y Ceratopogonidae. En el caso del grupo trófico de fragmentadores, ubicados en Cinco Lagos, la familia más abundante fue Scirtidae. La elevada presencia de este grupo se explica porque hay disponibilidad de materia orgánica de partículas gruesas, que los fragmentadores aprovechan (Orozco-Martínez, 2016).

Los grupos recolectores son favorecidos por una alimentación generalista, son más tolerantes a la alteración y dominan en zonas con gran cantidad de materia orgánica, mientras que los organismos

---

11 Este capítulo es una síntesis del trabajo de tesis de maestría de Orozco-Martínez, C. (2016). *Efecto de las variables fisicoquímicas en la estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en los lagos de Montebello, UNAM*, y de la tesis de licenciatura de Sosa-Aranda, I. (2015). *Comparación de la estructura de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos del Parque Nacional Lagunas de Montebello, UNAM*. Financiamiento proveniente del Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo sobre el Agua. CONACyT-CONAGUA Proyecto 167603.

especializados como los raspadores y trituradores son más sensibles a las variaciones del medio que habitan (Barbour et al., 1999). La alimentación generalista probablemente sea la dieta más flexible y puede contribuir a un incremento en la capacidad de sobrevivencia y a facilitar la colonización espacial (Tomanova et al., 2006). Sin embargo, un aumento considerable de los recolectores indica un deterioro de la calidad del agua (Orozco-Martínez, 2016, p. 45; Rivera et al., 2013).

La conductividad eléctrica y la concentración de fosfatos –junto con otros nutrientes– modifican la composición de las comunidades de productores primarios. El efecto más relevante es la modificación de la dinámica fisicoquímica de los lagos (Carpenter et al., 1998; Vitousek et al., 1997; Hoback y Stanley, 2000; Angelier, 2002; Mazzeo et al., 2002; Alonso y Camargo, 2005; Moreno Franco et al., 2010), lo que, en el caso del PNLM, resulta en una elevada abundancia de dos taxa: quiromóidos y hyalélidos, que son los dominantes en la región (Orozco-Martínez, 2016).

La existencia de varios grupos tróficos refleja una diversificación en el ingreso de energía a la comunidad de macroinvertebrados, lo que permite múltiples interacciones entre los taxa (Rivera et al., 2013). En los Lagos de Montebello, la diversificación de grupos tróficos no se encuentra relacionada con los lagos; ambas variables son independientes, y las diferencias entre los lagos se encuentran en relación con la proporción de los grupos tróficos, lo que hace evidente el dominio de un grupo trófico: los recolectores (Mapa 10). Esto se explica porque en los lagos turbios los quiromóidos son dominantes como familia y como grupo trófico, debido a que se adaptan mejor a sitios que presentan cierto grado de alteración. En consecuencia, estos sitios presentan una reducida variedad de recursos alimenticios, lo que trae consigo que los demás grupos tróficos se presenten en una proporción baja (Orozco-Martínez, 2016, p. 45).

En los lagos transparentes, las familias Baetidae, Chironimidae y Hyallelidae conforman el grupo trófico dominante de los recolectores. Al ser esta última familia la más abundante en la mayoría de los lagos, se puede suponer que Hyallelidae es una mejor competidora que el resto de los taxa, pues optimiza y adapta sus tasas de fecundidad y crecimiento a partir de la disponibilidad de nutrientes. Por otro lado, la presencia dominante de quiromóidos en lagos con alta turbidez refleja una mala calidad de agua: el exceso de contaminantes ha causado alteraciones a la composición de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos (Orozco-Martínez, 2016).



Figura 16. Macroinvertebrado de la familia Chironomidae. La alta abundancia de esta familia es indicadora de mala calidad del agua.



Figura 17. Macroinvertebrado de la familia Hyalellidae. La dominancia de esta familia generalmente indica buena calidad del agua.



Figura 19. Macroinvertebrado de familia Baetidae. Una alta abundancia de esta familia está asociada con mala calidad del agua.

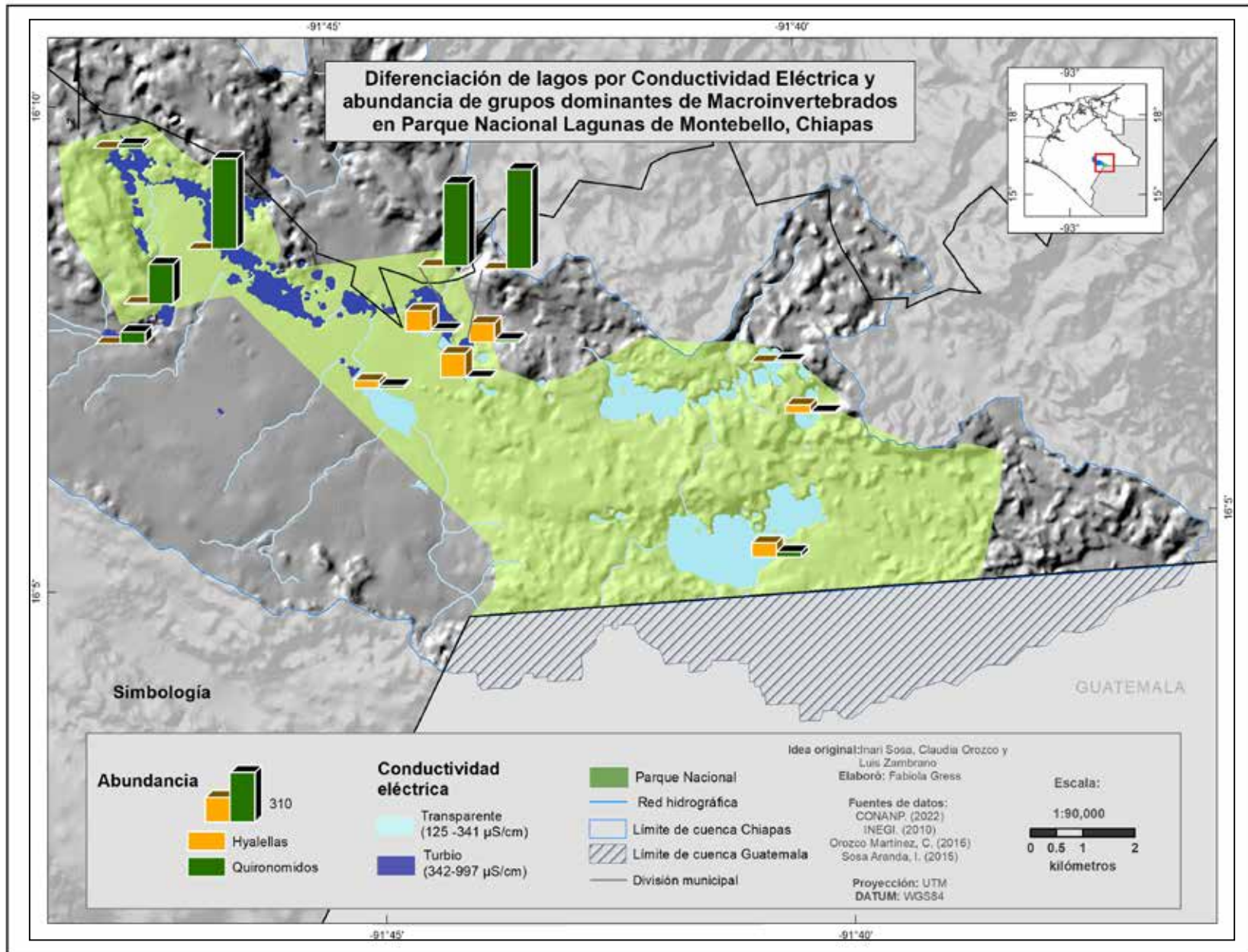


Figura 18. Macroinvertebrado de la familia Coenagrionidae. Una alta abundancia de esta familia está asociada con mala calidad del agua.

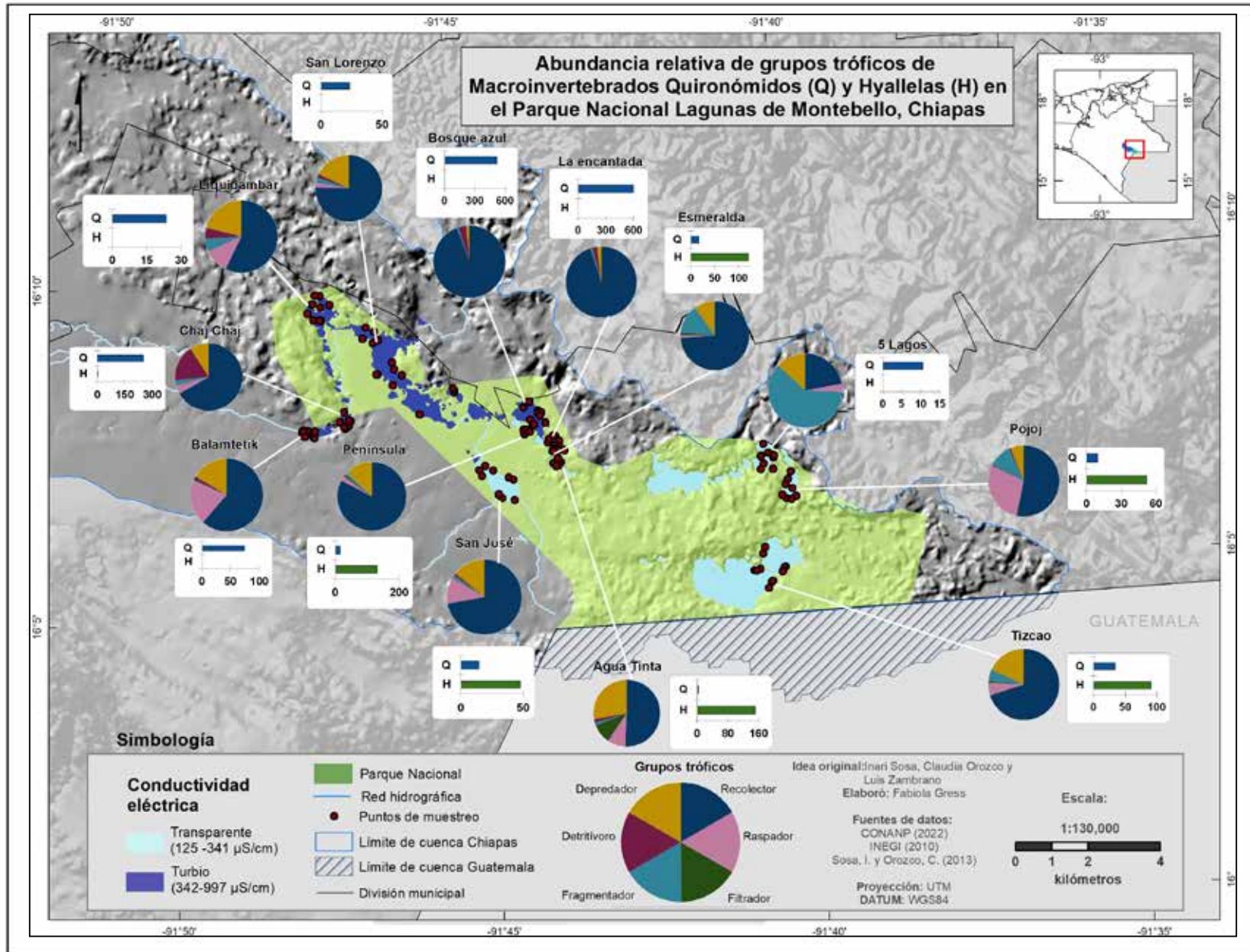


Figura 20. Macroinvertebrados de la familia Caenidae. Su presencia es indicadora de buena calidad del agua.





Mapa 9. Diferenciación de lagos por conductividad eléctrica y abundancia de grupos dominantes de macroinvertebrados en el Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chiapas.



Mapa 10. Diferenciación de lagos por conductividad eléctrica y grupos tróficos de macroinvertebrados en el Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chiapas.

## Referencias

- Alonso, A. y Camargo, J. A. (2005). Estado actual y perspectivas en el empleo de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos como indicadora del estado ecológico de los ecosistemas fluviales españoles. *Ecosistemas*, 14, 87–99.
- Angelier, E. (2002). *Ecología de aguas corrientes*. Acribia. España. 217 pp.
- Barbour, M. T. (1999). *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish*. U. S. Environmental Protection Agency, Office of Water.
- Carpenter, S. R., Caraco, N. F., Correll, D. L., Howarth, R. W., Sharpley, A. N. y Smith, V. H. (1998). Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological applications*, 8(3): 559–568.
- CONANP. 2022. Conjunto de datos vectoriales Áreas Naturales Protegidas, Lagunas de Montebello, Chiapas, México.
- González, M. y Fajardo, L. C. (2013). Asociación de grupos funcionales de macroinvertebrados acuáticos a *Juncus effusus* - *Typha latifolia* y *Eichornia crassipes* – *Limnobium laevigatum*, en el tercio alto del humedal Juan Amarillo, Bogotá - Colombia. *El Astrolabio*, 9–10.
- Hoback, W. W. y Stanley, D.W. (2000). Insects in hypoxia. *Journal of Insect Physiology*, 47, 533–542.
- INEGI. 2010. Conjunto de datos vectoriales Red hidrográfica. 1:50,000. Edición 2.0. Subcuenca hidrográfica RH30GI- R. Comitán, Cuenca R. Lacantún. RH Grijalva - Usumacinta, Chiapas, México.
- Mazzeo, N., Clemente, J., García Rodríguez, F., Gorga, J., Kruk, C., Larrea, D., Scasso, F. (2002). Eutrofización: causas, consecuencias y manejo. Perfil Ambiental del Uruguay, Nordan Comunidad, Montevideo.

- Medianero, E. y Samaniego, M. (2004). Comunidad de insectos acuáticos asociados a condiciones de contaminación en el Río Curundú, Panamá. *Folia Entomológica Mexicana*, 43, 279–294.
- Moreno Franco, D. P., Quintero Manzano, A. y López Cuevas, A. (2010). Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. *ContactoS*, 78(1), 25-33.
- Olomukoro, J. O. y Dirisu, A. R. (2014). Macroinvertebrate Community and Pollution Tolerance Index in Edition and Omodo Rivers in Derived Savannah Wetlands in Southern Nigeria. *Jordan Journal of Biological Sciences*, 7(1), 19-24.
- Orozco Martínez, C. (2016). Efecto de las variables fisicoquímicas en la estructura de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en los lagos de Montebello. [Tesis de Maestría, UNAM]. Disponible en <http://132.248.9.195/ptd2016/abril/0743197/Index.html>
- Rivera Usme, J. J., Pinilla Agudelo, J. y Camacho Pinzón, D. L. (2013). Grupos tróficos de macroinvertebrados acuáticos en un humedal urbano andino de Colombia. *Acta Biológica Colombiana*, 18(1), 279-292.
- Sosa Aranda, I. (2015). Comparación de la estructura de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos del Parque Nacional Lagunas de Montebello. Tesis de Licenciatura, UNAM]. Disponible en <https://doi.org/10.1071/MF19090>.
- Tomanova, S., Goitia, E. y Helešic, J. (2006). Trophic levels and functional feeding groups of macroinvertebrates in neotropical streams. *Hydrobiologia*, 556(1), 251-264.
- Vitousek, P. M., Aber, J. D., Howarth, R. W., Likens, G. E., Matson, P. A., Schindler, D. W. y Tilman, D. G. (1997). Human alteration of the global nitrogen cycle: Sources and consequences. *Ecological Applications*, 7(1), 737-750

## CONSERVACIÓN<sup>12</sup>

*Abisay Haro*

En términos territoriales y de conservación, la cuenca forma parte de la región fisiográfica Montañas del Norte y Altos de Chiapas, y la subregión Archipiélago de los Altos, con un área total de 1,229,604 ha (Cervantes-Zamora et al., 1990). Por su parte, el Área Natural Protegida Parque Nacional Lagunas de Montebello (PNLM) pertenece a la ecoregión de Sierras Templadas y, a la vez, forma parte de la región Cañadas de Ocosingo, subregión Montebello y periferias, con un área de 123,150 ha. Estas subregiones están catalogadas como de alta prioridad para la conservación del Bosque Mesófilo de Montaña en México (CONABIO, 2008), y su priorización considera la calidad, amenazas a su permanencia, oportunidades de conservación, así como las características sociales de la región. También, una extensa área del PNLM forma parte de la Región Terrestre Prioritaria El Momón-Montebello (CONABIO, 2004).

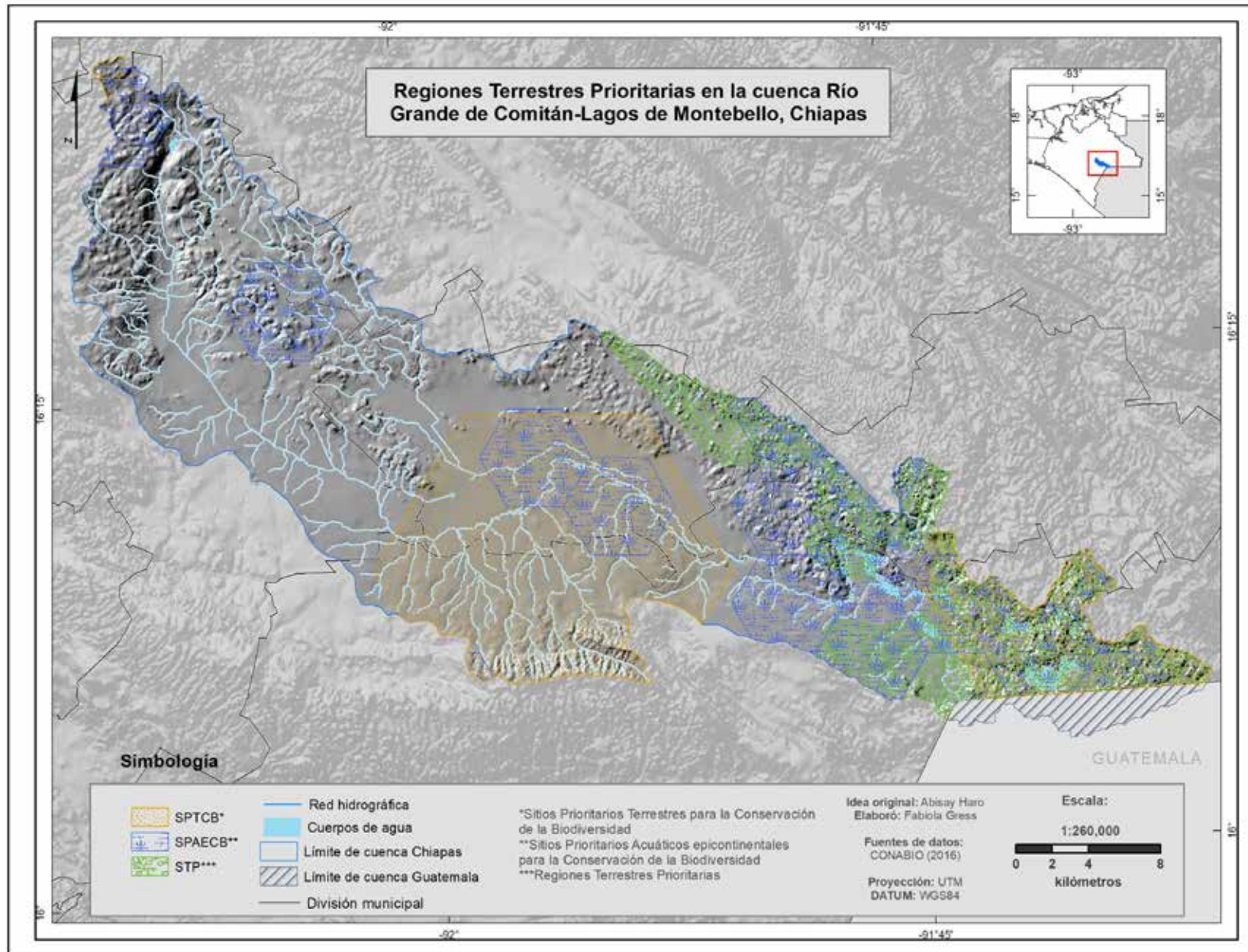
A nivel nacional, las Regiones Terrestres Prioritarias representan unidades estables ambientales en el área continental del territorio nacional, las cuales son territorios con una notable riqueza ecosistémica y una integridad ecológica funcional significativa (CONABIO, 2004). Por otra parte, un porcentaje significativo del territorio del PNLM se encuentra como parte de los Sitios de Atención Prioritaria para la conservación de la biodiversidad (SAP) (CONABIO, 2007). Estos sitios contemplan la distribución de hábitats mejor conservados que albergan especies en mayor riesgo de extinción y donde hay un alto riesgo de deforestación.

En el aspecto hidrológico, es importante mencionar que la cuenca está inmersa en la región sureste del país, la cual forma parte de las 100 Regiones Hidrológicas Prioritarias del país, y también es uno de los Sitios Prioritarios Acuáticos Epicontinentales para la Conservación de la Biodiversidad (Arriaga, Aguilar y Alcocer, 2002) (Mapa 11).

Además, el complejo sistema de humedales que se encuentran en el PNLM lo han hecho acreedor a ser catalogado como sitio RAMSAR, lo que significa que es un humedal de importancia internacional (CONANP, 2007). Por otra parte, también se considera un importante corredor biológico, lo cual fue reconocido en 2009 al incorporarlo a la Red Mundial de Reservas de la Biosfera.

---

<sup>12</sup> La información reportada se extrajo del Portal de Geoinformación de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>



Mapa 11. Áreas de la cuenca RGC-LM que forman parte de las Regiones Terrestres Prioritarias (RTP) y que son Sitios Prioritarios Terrestres para la Conservación de la Biodiversidad (SPTCB), y Sitios Prioritarios Acuáticos epicontinentales para la Conservación de la Biodiversidad (SPAECB).

## Referencias

Arriaga, L., Aguilar, V. y Alcocer, J. (2002). Aguas Continentales y diversidad biológica de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. <http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/rhpri4mgw.html>

Cervantes-Zamora, Y., Cornejo-Olgín, S. L., Lucero-Márquez, R., Espinoza-Rodríguez, J. M., Miranda-Viquez, E. y Pineda-Velázquez, A. (1990). Provincias Fisiográficas de México. Extraído de Clasificación de Regiones Naturales de México II, IV.10.2. Atlas Nacional de México. Vol. II. Escala 1:4000000. Instituto de Geografía, UNAM. México. <http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/rfisio4mgw.html>

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. (2007). Programa de Conservación y Manejo Parque Nacional Lagunas de Montebello. México, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales/ Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2008). Categoría de prioridad para la conservación del bosque mesófilo de montaña en México. Escala: 1:250000. México. <http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/pconsbmmgw.html>

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2004). Regiones Terrestres Prioritarias. Escala 1:1000000. México. <http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/rtp1mgw.html>

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, The Nature Conservancy - Programa México (TNC), Pronatura. (2007). Sitios prioritarios terrestres para la conservación de la biodiversidad. Escala 1: 1000000. México. <http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/spm1mgw.html>



# COMPONENTE FÍSICO



# III. COMPONENTE FÍSICO

## GEOLOGÍA

*Selene Olea Olea*

La geología de la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello (RGC-LM) comprende depósitos carbonatados, sedimentarios y, en menor proporción, ígneos, que representan un tiempo geológico que va desde el Cretácico hasta nuestros días (Mapa 12). Las rocas carbonatadas se encuentran ampliamente distribuidas en toda la cuenca y ocupan la mayor parte de ella, mientras que los depósitos sedimentarios afloran en la parte central, al SW y NE, y los ígneos al S. Estructuralmente, el área se ubica dentro del cinturón Chiapaneco de Pliegues y Cabalgaduras (Ortega-Gutiérrez et al., 1992), el cual está tectónicamente relacionado con la interacción entre las placas de Cocos, Norteamérica y Caribe (Guzmán-Speziale y Meneses-Rocha, 2000). Esta región ha sido afectada por eventos de plegamiento y fallamiento (Padilla-Sánchez, 2007; Durán-Calderón, 2013; Durán-Calderón et al., 2014).

### Rocas del Cretácico

El Cretácico inferior (Kaps Cz-Do) está representado por el Grupo Caliza Sierra Madre, que se conforma por tres formaciones que se distribuyen ampliamente en la cuenca (Sánchez-Montes de Oca, 1969). 1) La Formación Cantelhá está compuesta por una secuencia de dolomías bien estratificadas con intercalaciones de arcillas bentoníticas, arcillas que se intercalan con calizas wackestone con gradaciones a packstone de organismos bentoníticos con laminaciones de carpetas de algas. Los carbonatos de esta formación se depositaron en una amplia plataforma (Muñetón, 1987). 2) La Formación Cintalapa

está constituida por calizas tipo mudstone, mudstone dolomitizado, wackestone, packstone con fósiles, dolomía, fragmentos de pedernal, capas laminares de margas, pellets, peletoides, oolitos e intraclastos. La Formación Cintalapa pertenece a un ambiente de depósito de plataforma interna somera, en el cual se desarrolló una fauna abundante (Mandujano-Velásquez, 1995). 3) La Formación Jolpabuchil está integrada por calizas tipo mudstone, wackestone y packstone parcialmente dolomitizadas con foraminíferos planctónicos, con bandas y nódulos de pedernal e intercalaciones de brechas con restos de rudistas (Mandujano-Velásquez, 1995). Esta formación se depositó en facies profundas con escasa circulación en el borde de la plataforma (Muñetón, 1987). El Cretácico inferior representa un intervalo de tiempo de 145 a 100 millones de años antes del presente.

El Cretácico superior (Kcm Cz-Lu) está representado por dos formaciones. 1) La Formación Angostura, que está constituida por calizas tipo mudstone, wackestone y packstone de foraminíferos bentónicos y algas (Mandujano-Velásquez, 1995). Esta formación se depositó en una amplia plataforma somera, sujeta a etapas de alta y baja marea (Muñetón, 1987). 2) La Formación Ocozocuautla está constituida por gravillas de cuarzo, areniscas calcáreas, calizas arenosas, lutitas arenosas, predominando en gran proporción los terrígenos, los cuales, en general, se encuentran bien gradados, habiéndose depositado en secuencias que se repiten rítmicamente. Existen conglomerados polimícticos con fragmentos de rocas volcánicas, ígneas intrusivas y abundante cuarzo. Esta formación se depositó en periodos de inestabilidad

tectónica y condiciones ambientales fluctuantes con aporte de partes someras hacia otras más profundas (Mandujano-Velásquez, 1995). El Cretácico superior representa un tiempo geológico de 100 a 66 millones de años.

### Rocas del Paleógeno

El Paleógeno está representado por tres formaciones. 1) La Formación Tenejapa (Tpa Cz), que es una secuencia de calizas packstone con bioclastos y organismos plantónicos e intraclastos, con bandas y nódulos de pedernal e intercales de brechas calcáreas y packstone rudáceos. Su depósito ocurrió en facies de plataforma externa, en la que fueron comunes las intercalaciones de flujos turbidíticos proximales y distales (Muñetón, 1987). 2) La Formación Lacandón (Tpa Cz), compuesta por una secuencia de calizas packstone de intraclastos, pellets, bioclastos y miliólidos pequeños, parcialmente afectados por dolomitización y recristalización. Esta formación se depositó en ambientes de plataforma (Muñetón, 1987). 3) La formación Soyaló (Tpa Lu-Ar), que consiste en lutitas en alternancia con areniscas de matriz calcárea, y horizontes de conglomerados (Mandujano-Velásquez, 1995 y Ferrusquía-Villafranca, 1996). Esta formación se depositó en facies de talud con transición de plataforma externa y mar abierto (Muñetón, 1987). El Paleógeno representa un tiempo geológico de 66 a 23 millones de años.

### Rocas del Neógeno

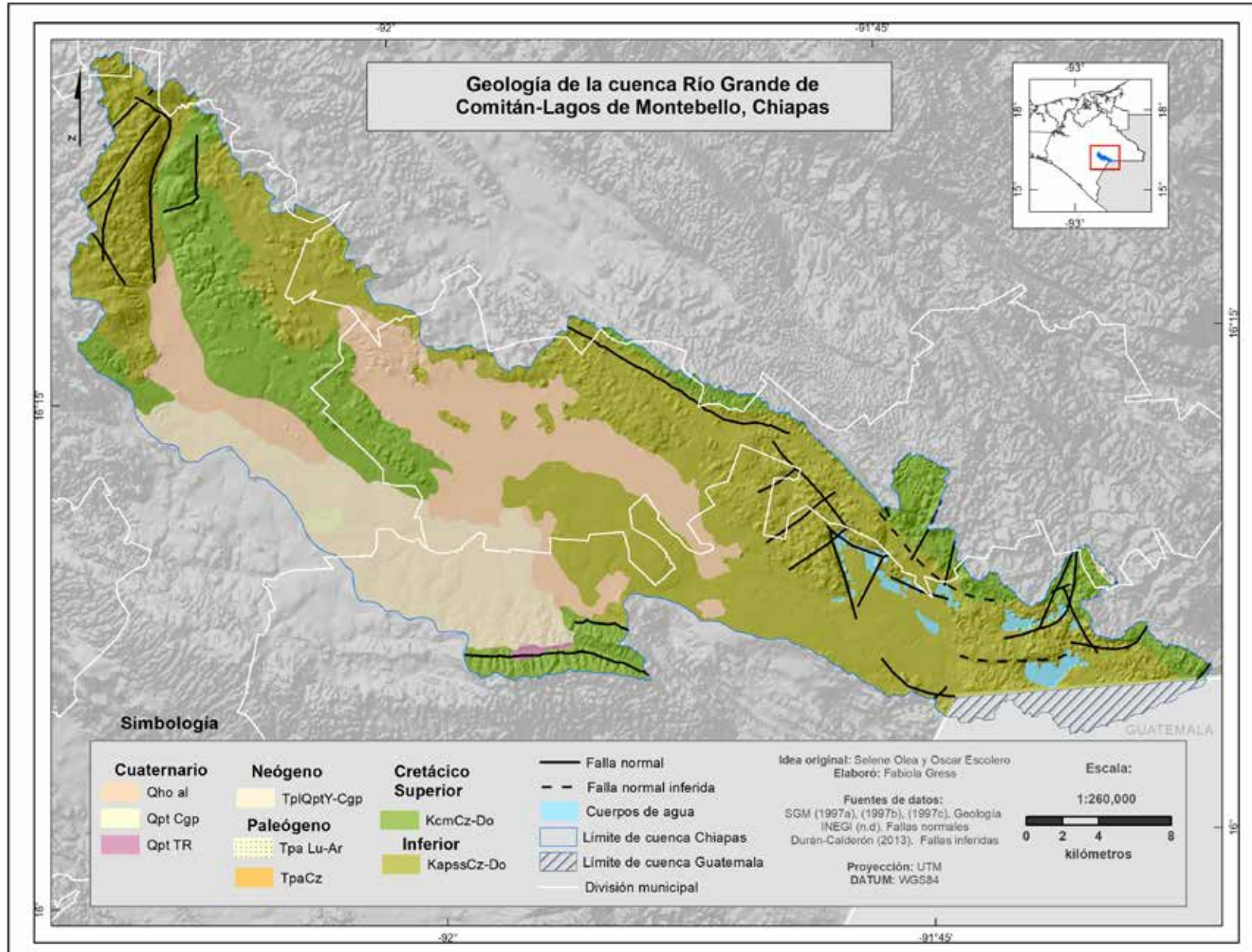
Los depósitos del Plioceno (TlpQpt Y-Cgp) son una secuencia de yesos, anhidritas, conglomerados polimícticos y, en menor proporción, de calizas tipo mudstone, wackestone, packstone, mudstone arcilloso, calizas dolomitizadas e intercalaciones de lutitas bentónicas. Su ambiente de depósito fue en facies evaporíticas de una plataforma interna somera, supramarea, lagunar y lagunar evaporítica (Mandujano-Velásquez, 1995). El Neógeno comprende un tiempo geológico de 23 a 2.6 millones de años.

### Rocas del Cuaternario

Los depósitos del Pleistoceno están constituidos por tobas riolíticas producto del vulcanismo félsico de la Sierra Madre del Sur (Qpt RT) y areniscas y conglomerados polimícticos (Qpt Cgp) que se depositaron en un ambiente continental en pequeñas depresiones (SGM, 1997a, 1997b, 1997c). El Cuaternario comprende un tiempo geológico que va de 2.6 a 0.01 millones de años.

Los depósitos del Holoceno, que representa un tiempo geológico que va de 10,000 años antes del presente hasta nuestros días, están integrados por aluviones (Qho al) producto de la desintegración por intemperismo de rocas preexistentes (Olea-Olea, 2015, p.33), los cuales son transportados principalmente por ríos y arroyos, depositándose en los lechos de los mismos, y en las zonas bajas y planas (el ambiente de depósito de esta unidad es sedimentario continental) (SGM, 1997a, 1997b, 1997c).

Este capítulo presenta los fundamentos técnicos del poco estudiado ambiente kárstico en el que se encuentra la cuenca RGC-LM, y que se derivan de las investigaciones en las cuales participó muy prolíficamente el Dr. Escolero<sup>†</sup>, a quien está dedicado este atlas. Conocer la geología de la cuenca es fundamental para identificar los procesos hidrogeoquímicos que tienen lugar en ella, y, por el enfoque de este atlas, las posibles afectaciones al socioecosistema del Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello. En términos de hidrogeología, por ejemplo, es relevante conocer las características de la composición de la roca, los suelos y las secuencias sedimentarias que explican los flujos subterráneos y el posible acarreo de contaminantes vía subterránea, así como la velocidad a la que podrían ocurrir estos procesos. En el caso de los materiales arcillosos y arenos arcillosos del acuífero en cuestión, el flujo de agua es lento, lo que permite modelar cómo se podría dispersar un contaminante y qué zonas podrían tener más riesgos. Además, conocer los aspectos geológicos del medio nos permite conocer, por ejemplo, que las aguas sulfatadas que se pueden encontrar en algunas partes del acuífero se deben al medio geológico en sí, y no a la posible contaminación por fertilizantes con alto contenido en sulfato.



Mapa 12. Geología de la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas.

## Referencias

- Durán-Calderón, I. (2013). Análisis geomorfológico del Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chiapas. [Tesis Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. <http://132.248.9.195/ptd2013/noviembre/0704681/Index.html>
- Durán-Calderón, I., Escolero Fuentes, O., Muñoz Salinas, E., Castillo Rodríguez, M. y Silva Romo, G. (2014). Cartografía geomorfológica a escala 1:50,000 del Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chiapas (México). *Boletín la Sociedad Geológica Mexicana*, 66(2), 263–277.
- Ferrusquía-Villafranca, I. (1996). Contribución al conocimiento geológico de Chiapas: El Área Ixtapa-Soyaló: Boletín 109. Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, 130.
- Guzmán-Speziale, M. y Meneses-Rocha, J. J. (2000). The North America–Caribbean plate boundary west of the Motagua–Poloichic fault system: a fault jog in southeastern Mexico. *Journal of South American Earth Science*, 13(4-5), 459–468. [https://doi.org/10.1016/S0895-9811\(00\)00036-5](https://doi.org/10.1016/S0895-9811(00)00036-5)
- Mandujano-Velásquez, J., (1995). Cuatro megasecuencias de evolución litoestratigráfica en la Sierra de Chiapas. Boletín la Asoc. Mex. Geólogos Pet. XLV, 46–60.
- Muñetón, J. M. Q. (1987). El Cretácico Medio - Superior, y el Límite Cretácico Superior - Terciario Inferior en la Sierra de Chiapas. Boletín de la Asociación Geológica Mexicana, 39(1), 3–98.
- Olea-Olea, S. (2015). Análisis del impacto de la actividad agrícola en el agua subterránea en la zona de La Trinitaria, Chiapas. [Tesis Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México].
- Ortega-Gutiérrez, F., Mitre, S. L., Roldán, Q. J., Aranda, G. J. J., Morán, Z. D., Alaniz, A. S. y Nieto, S. A. (1992). [Carta Geológica de la República Mexicana, 1:2,000,000]. Washington, Williams y Heintz. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, México.
- Padilla-Sánchez, R. J. (2007). Evolución geológica del sureste mexicano desde el Mesozoico al presente en el contexto regional del Golfo de México. *Boletín la Sociedad Geológica Mexicana*, 59, 19–42.
- Sánchez-Montes de Oca., R. (1969). Proyecto Mesozoico de Chiapas. Informe Geológico No. 536, Petróleos Mexicanos, Zona Sur. México.
- Servicio Geológico Mexicano (SGM). (1997a). Carta Geológico-Minera 1:250,000 Tuxtla Gutiérrez E15-11. [https://mapserver.sgm.gob.mx/Cartas\\_Online/geologia/107\\_E15-11\\_GM.pdf](https://mapserver.sgm.gob.mx/Cartas_Online/geologia/107_E15-11_GM.pdf)
- Servicio Geológico Mexicano (SGM). (1997b). Carta Geológico-Minera 1:50,000 La Trinitaria E15-D83. [https://mapserver.sgm.gob.mx/Cartas\\_Online/geologia/2135\\_E15-D83\\_GM.pdf](https://mapserver.sgm.gob.mx/Cartas_Online/geologia/2135_E15-D83_GM.pdf)
- Servicio Geológico Mexicano (SGM). (1997c). Carta Geológico-Minera 1:250,000 Las Margaritas E15-12 D15-3. [https://mapserver.sgm.gob.mx/Cartas\\_Online/geologia/114\\_E15-12-D15-3\\_GM.pdf](https://mapserver.sgm.gob.mx/Cartas_Online/geologia/114_E15-12-D15-3_GM.pdf)





Lucy Mora Palomino y Blanca Prado Pano

El suelo se define como la porción superficial de la tierra y sus propiedades obedecen a la relación entre los factores que le dan lugar (litología, clima, organismos y relieve), que se modifican a través del tiempo (Cotler et al., 2007). Las propiedades del suelo definen su potencial para prestar servicios ecológicos, mientras que los factores formadores del suelo explican la gran variabilidad espacial del recurso. Por tal motivo, es importante conocer las unidades de suelo y su distribución, ya que representan una herramienta para el manejo y uso sostenible de los recursos de la cuenca.

## Metodología

Se elaboró un mapa de distribución de suelos en la cuenca a partir de las unidades geomorfológicas (Mora et al., 2016) y el mapa edafológico de INEGI a escala 1:25,000. Para la información obtenida de la evaluación edafo-ecológica de 25 perfiles (Siebe et al., 2009) y la clasificación de los suelos se tomó como base la Base Referencial Mundial (WRB, 2016).

## Resultados

En la cuenca se identifican siete grupos de suelo según la WRB (2016), cuya distribución se muestra en el Mapa 13. A continuación, se señalan las características generales:

**Leptosol:** suelos someros y pedregosos que pueden tener roca continua en la superficie o muy cerca de ella. En la cuenca, estos suelos tienen un horizonte superficial muy rico en materia orgánica.

**Feozem:** suelos de mediana profundidad; presentan una marcada acumulación de materia orgánica, además de ser muy ricos en bases (nutrientes) en todo el perfil.

**Vertisoles:** suelos usualmente negros o muy oscuros dado su alto contenido de materia orgánica. Además, tienen un alto contenido de arcillas que en época de sequía se contraen y generan grietas, en tanto que en tiempo de lluvias se expanden.

**Luvisoles:** suelos que se forman a partir de una gran variedad de materiales no consolidados, material aluvial y coluvial. Se identifican por la acumulación de arcilla en los horizontes subsuperficiales; en ellos se denota un claro enrojecimiento debido a que acumulan óxidos de hierro. Son suelos profundos y pueden ser fértiles con gran potencial agrícola.

**Chernozem:** suelos negros ricos en humus (del 3 - 13%) y en otros nutrientes. El horizonte A puede tener hasta un metro, o más, de espesor. Es uno de los más fértiles para la agricultura.

---

13 La información contenida en este capítulo es una síntesis del trabajo de licenciatura de Martínez Ángeles, M. (2015). *Caracterización de los suelos de la cuenca del río Grande, como soporte para entender la dinámica de contaminantes que llegan al sistema lagar de Montebello, Chiapas, UNAM*, y los resultados del proyecto Efectos del cambio global y climático sobre la limnología y biodiversidad acuática, Proyecto IV200122.



**Planosol:** suelos con horizonte superficial de color claro y textura gruesa, que muestran signos de estancamiento periódico del agua y se superponen abruptamente a un subsuelo denso y poco permeable.

**Gleysol:** suelos generalmente encharcados o bajo la influencia del agua freática cerca de la superficie.

A continuación, se realiza la descripción de los suelos de la cuenca con base en la distribución de las grandes unidades geomorfológicas (montaña, lomeríos y planicies) que propone Mora et al. (2016), identificando sus principales potenciales o vulnerabilidades (Martínez, 2015).

### Suelos en la montaña

Al norte de la cuenca sobre la zona de montaña se identifican la unidad de las terrazas estructurales y flancos de plegamiento pronunciado donde predominan los Leptosoles. Los procesos erosivos limitan el desarrollo de suelo; sin embargo, en condiciones conservadas tienen alto potencial de captura de carbono (Figura 21).



a – Terrazas estructurales y perfil de suelo en la localidad de San Miguel Tinajab.



b – Relieve mesiforme y perfil de suelo Cambisol háptico en la localidad de Venustiano Carranza.



c – Elevaciones bajas con karst de dolinas y poljes inundados. Perfil Luvisol stágnico, localidad Ojo de agua.

Figura 21. Perfiles de suelo identificados en geoformas de Montaña en la cuenca. Fotografías: Lucy Mora Palomino y Roberto Bonifaz.

Existe un contraste en las características entre la zona sur y norte de la cuenca. Al sur, la zona de montaña recibe más precipitación (aprox. 2000 mm/año). Estas condiciones favorecen el modelado por procesos de disolución kárstica, dando lugar al relieve mesiforme y karst verticales. En estas condiciones, los suelos son más desarrollados o profundos, tales como Cambisol y Luvisol (Figura 21).

En la unidad de montaña hay elevaciones bajas con karst de dolinas y poljes inundados. En ellas se desarrollan Luvisoles, que, además de ser suelos profundos, son ácidos o ligeramente ácidos, y que tienen potencial de captura de carbono y almacenaje de agua.

### Suelos en los lomeríos

En los lomeríos se identifican los mogotes, los lomeríos bajos con pendiente denudatoria y restos de piedemonte con depósitos antiguos disectados. Sobre los mogotes se describieron Leptosoles y Feozems. Si bien son suelos un poco más profundos que en otras unidades, son muy vulnerables al cambio de uso de suelo, ya que se desarrollan en laderas que favorecen la erosión (Figura 22). En los lomeríos con pendiente denudatoria se identificaron Planosol, Cambisol y Feozem, cuyas diferencias están relacionadas con la posición en el terreno. Estos suelos son poco profundos y de desarrollo incipiente, que fomentan la infiltración.

### Suelos en las zonas de planicies

En la antigua planicie kárstica se identificaron dos tipos de suelo: Luvisol y Feozem. Los Luvisoles tienen mayor contenido de arcillas, lo que representa una limitante física, ya que disminuye la infiltración y en algunos casos favorece el escurrimiento superficial que favorece la pérdida (el movimiento) de suelo por erosión.

En la planicie acumulativa de origen lacustre residual se identificaron Feozem y Vertisol. Los Vertisoles son suelos muy profundos, con alto contenido de arcillas, lo que provoca condiciones de drenaje deficiente y la consecuente baja capacidad de aireación, características que comprometen el desarrollo de las plantas, lo cual debe ser considerado en el manejo agrícola. Sin embargo, este tipo de suelos tienen buenas aptitudes para el uso agrícola, ya que tienen propiedades químicas favorables para el crecimiento de las plantas.

En la planicie kárstica se pueden encontrar suelos Feozem y Luvisoles. Estos últimos presentan mayores evidencias de acumulación de agua dentro del perfil. En las zonas más bajas, con presencia del nivel freático somero a lo largo del año, se identifican los suelos Gleysol, en los que se observa la acumulación de arcilla y limos a lo largo del todo el perfil; los conjuntos de estas características favorecen las condiciones reductomorfas.



a – Suelos en lomeríos sobre Mogotes relicticos, perfil de suelo Feozem en la localidad de Juznajab.



b – Pendiente continua denudatoria, perfil de suelo Planosol háplico en la localidad de Santa Rita el Lavadero.

Figura 22.. Perfiles de suelo identificados en geoformas de Lomerío en la cuenca. Fotografías: Lucy Mora y Roberto Bonifaz.

En el valle fluvial se identificaron suelos de tipo Feozem, Vertisol y Fluvisol. Los dos primeros grupos predominan en la parte alta del río. Se caracterizan por acumular altos contenidos de materia orgánica en el horizonte superficial, y muchas veces se encuentran perturbados por la labranza u otras actividades agrícolas. Los Fluvisoles son suelos recientes con propiedades granulométricas contrastantes entre horizontes, lo que tiene correspondencia con las propiedades físicas de los depósitos de los materiales en la ribera del río (Figura 23).



a – Antigua planicie kárstica, perfil de suelo Luvisol stágnico en la localidad de Los Riegos.



b – Planicies de acumulación lacustre, perfil de suelo Vertisol stágnico en la localidad El Triunfo I.

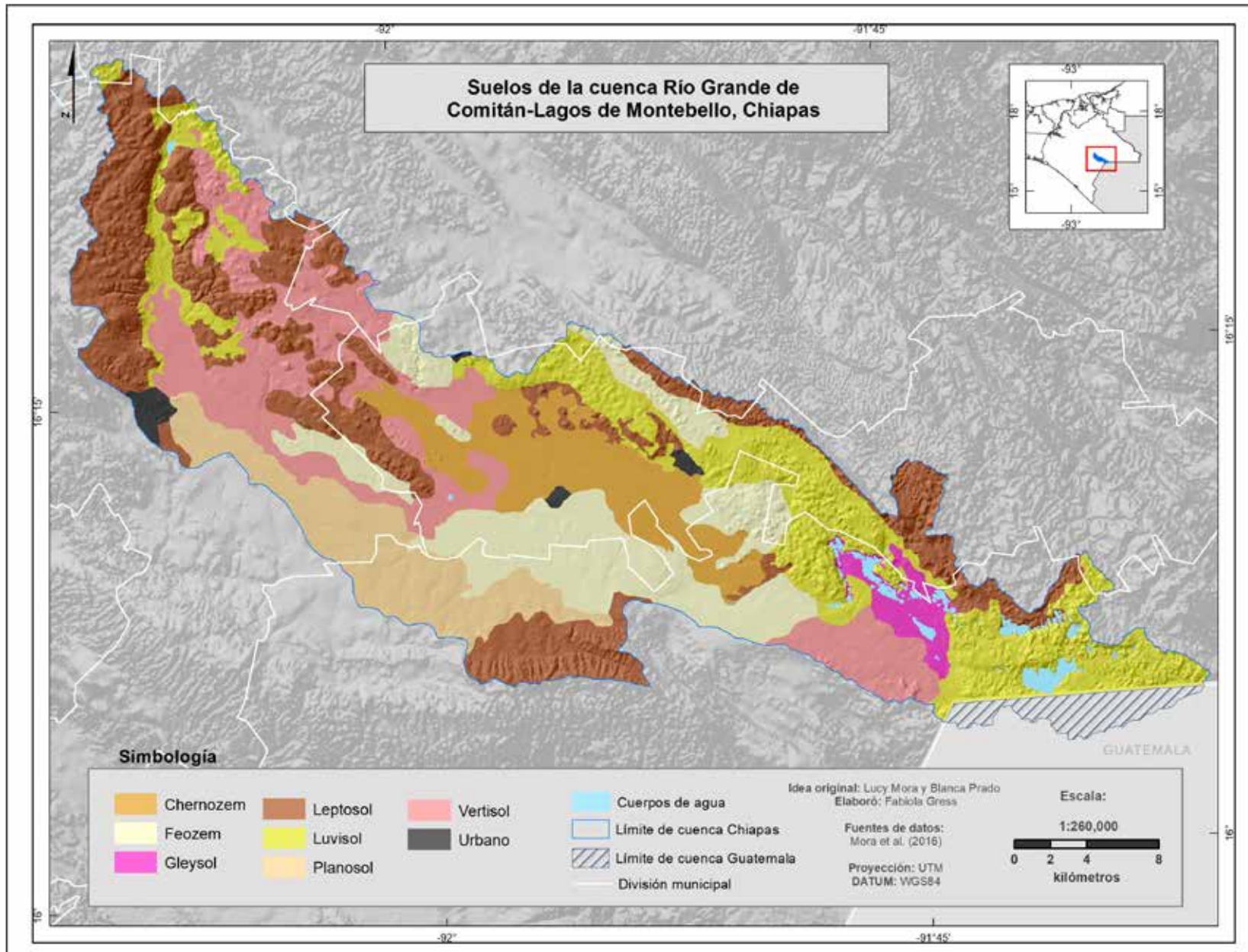


c – Valle fluvial, perfil de suelo Fluvisol stágnico en la localidad El Carrizal.

Figura 23. Perfiles de suelo identificados en geoformas de Valle en la cuenca. Fotografías Lucy Mora y Roberto Bonifaz.

## Conclusiones

El mapa de distribución de suelos de la cuenca constituye una herramienta para el manejo y uso sostenible de los suelos. En la parte alta de la cuenca y en la zona de montaña se encuentra una gran extensión de suelos Leptosol. Estos suelos cumplen funciones importantes de recarga de los acuíferos y captura de carbono; sin embargo, son vulnerables a la erosión, lo que resulta en un aporte de sedimentos hacia la parte baja. En la zona media hay un predominio de Vertisol y Feozem, cuya riqueza en materia orgánica está asociada con un alto potencial agrícola. Cabe resaltar que los suelos Feozem pueden perder su capa orgánica y degradarse debido a un inapropiado manejo y a un uso agrícola intensivo, lo que lleva a la pérdida de su potencial de producción agrícola, capacidad de almacenamiento de carbono, capacidad de filtro y almacenamiento de agua. Por último, en la parte baja de la cuenca hay Luvisoles, cuya principal característica es un alto contenido de materia orgánica superficial y arcilla en los horizontes subsuperficiales. Estas características le permiten cumplir funciones importantes, como la captura de carbono o su desempeño como filtro y amortiguador.



Mapa 13. Mapa de suelos de la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas.

## Referencias

- Cotler, H., Sotelo, E., Domínguez, J., Zorrilla, M., Cortina, S. y Quiñones, L. (2007). La conservación de suelos: un asunto de interés público. *Gaceta Ecológica* (En línea), (83) 5-71. <https://www.redalyc.org/articulos>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2007). Datos Abiertos de México - Conjunto de datos vectoriales. [Carta Edafológica. 1:250,000]. Serie I. Chiapas - Conjunto de datos vectoriales de la carta Edafológica E15-12 (Las Margaritas).
- Martínez, M. A. (2015). Caracterización de los suelos de la cuenca del río Grande, como soporte para entender la dinámica de contaminantes que llegan al sistema lagunar de Montebello, Chiapas. [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México].
- Mora P., L., Bonifaz, R. y López-Martínez, R. (2016). Unidades geomorfológicas de la cuenca del Río Grande de Comitán, Lagos de Montebello, Chiapas-México. *Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana*, 68(3), 377–394. <https://doi.org/10.18268/bsgm2016v68n3a1>
- Siebe C., Reinhold, J. y Stahr, K. (1996). Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en campo (2nd ed.). Publicación Especial 4. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo México.
- World Reference Base for Soil Resources (WRB), (2016). Base referencial mundial del recurso suelo 2014, Actualización 2015. *In Base referencial mundial del recurso suelo. Actualización 2015*. <http://www.fao.org>





# GEOMORFOLOGÍA<sup>14</sup>

Lucy Mora Palomino y Roberto Bonifaz Alfonso

La geomorfología trata del estudio de las formas del relieve, y se enfoca en describir y entender la génesis y el comportamiento actual de las mismas. Es de vital importancia para describir *a priori* los paisajes de una región dada y los fenómenos que en ella ocurren, principalmente los procesos facilitadores de la formación –o no– de suelos. Se refiere a los terrenos kársticos de aquellas regiones en donde el material geológico son rocas solubles tales como calizas y dolomitas, cuya característica principal es la disolución por efecto del agua, dando como resultado formas superficiales y subterráneas con características y evolución muy particulares.

## Método

El mapa se obtuvo mediante el uso de SIG y con base en el Modelo Digital de Elevación (INEGI, 2013), que permitió delimitar las grandes unidades geomorfológicas, usando criterios morfométricos basados en los parámetros de altitud, pendientes, rupturas de pendientes y tipo de relieve, las cuales se discriminaron utilizando criterios de pendiente, altitud y rugosidad por cada unidad geomorfológica, asociando procesos de génesis y evolución geomorfológica (Mora et al., 2016, p. 377).  
Resultados

Las unidades descritas a detalle por Mora et al. (2016) (Mapa 14) integran trece unidades dentro de las geoformas: Montañas, Lomeríos y Planicies.

**1. Geoformas asociadas a la Unidad de Montaña** (Mora et al., 2016, pp. 383-388). En este grupo se identifican siete unidades geomorfológicas desarrolladas sobre rocas caliza y dolomía. Se localizan en las zonas con alturas entre 1,522.8 y 1,946.8 msnm y pendientes entre 5.2 y 11.6°, al sur y norte de la cuenca, constituyendo el parteaguas de la cuenca. Su morfología se relaciona con procesos de disolución, tectonismo o ambos.

**I. Elevaciones bajas con karst de dolinas y poljes inundados.** Rodean los "lagos de montaña" (Durán et al., 2014), ya que están a mayor altura con relación a los otros lagos. Cubren un área de 60.8 km<sup>2</sup> y se deben a un intenso desarrollo kárstico, unido a la existencia de un nivel de base cercano a las dolinas y otras formas kársticas como poljes irregulares con paredes escarpadas de gran tamaño.

**II. Plegamientos con Estructura Mesiforme.** Se localizan al norte de los lagos, formando una meseta irregular. Son conocidos como "lagos de planicie" y cubren un área de 60.4 km<sup>2</sup>. Su génesis se relaciona con la dinámica de las fallas tectónicas regionales.

**III. Plegamientos estructurales Mesiformes.** Ocupan un área de 22.9 km<sup>2</sup> en la parte norte-centro de la cuenca. Este relieve parece estar controlado por elevaciones aisladas que favorecen la erosión en dirección de los escurrimientos, pero poca disolución kárstica.

---

14 Este capítulo se deriva del artículo Mora P., L., Bonifaz, R., & López-Martínez, R. (2016). Unidades geomorfológicas de la cuenca del Río Grande de Comitán, Lagos de Montebello, Chiapas-México. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 68(3), 377–394. <https://doi.org/10.18268/bsgm2016v68n3a1>.



*IV. Relieve Mesiforme de Plegamiento con Depresiones Kársticas.* Se localiza en la zona norte y cubre un área de 67.94 km<sup>2</sup>. Se distingue por un relieve bajo, alternando depresiones kársticas y colinas residuales que favorecen procesos de erosión leves.

*V. Terrazas Estructurales.* Se localizan al noreste de la cuenca y ocupan un área de 70.64 km<sup>2</sup>. Son los sitios más altos (1946.8 msnm). Las formas reflejan un fuerte control estructural; por lo tanto, constituyen una red de drenaje con cauces rectos.

*VI. Flancos de Plegamiento.* Se ubican en el borde centro-sur de la cuenca y ocupan un área de 21.57 km<sup>2</sup>. Poseen una alta densidad de la red de drenaje que se asocia con dominio de los procesos de erosión.

*VII. Mogotes Relícticos o Karst Relíctico.* Corresponden a estructuras redondeadas aisladas que sobresalen a una llanura aluvial-fluvial. Estas formas evidencian una fuerte y continuada karstificación.

**2. Geoformas Asociadas a la Unidad de Lomeríos** (Mora et al, 2016, pp. 388-389). En estas geoformas se identifican dos unidades con litología diferente, caliza-dolomita y conglomerados polimícticos, que generan formas diferentes de paisaje, localizadas alrededor de 1,550 msnm y pendientes entre 1.5 y 1.8°.

*VIII. Lomerío Bajo de Pendiente Continua y Denudatoria.* Se localiza al suroeste de la cuenca y ocupa un área de 90.44 km<sup>2</sup>. Por su litología en conglomerados presenta fuertes evidencias erosivas, expresadas a través de cárcavas profundas y fuertemente disectadas.

*IX. Restos de Piedemonte con Depósitos Antiguos Disectados.* Se localizan en la parte sur-centro de la cuenca y ocupan un área de 34.12 km<sup>2</sup>. Resultan de la remodelación de crestas pronunciadas y el aporte de sedimentos.

**3. Geoformas asociadas a la Unidad de Planicie** (Mora et al, 2016, pp. 389-390). En estas geoformas se identifican dos unidades con litología diferente, caliza-dolomita y conglomerados. Corresponden a la mayor superficie de la cuenca, a altura entre 1,505 y 1,622 msnm y pendientes menor a 4.1°, desarrolladas sobre caliza-dolomía y aluvión.

*X. Planicie Kárstica Antigua Cubierta con Material Residual.* Se localiza al noroeste de la cuenca, y se rodea de la unidad de mogotes relícticos. La presencia de estas llanuras rellenas de material residual es la expresión de largos y continuos procesos de disolución que han alcanzado el nivel de base regional.

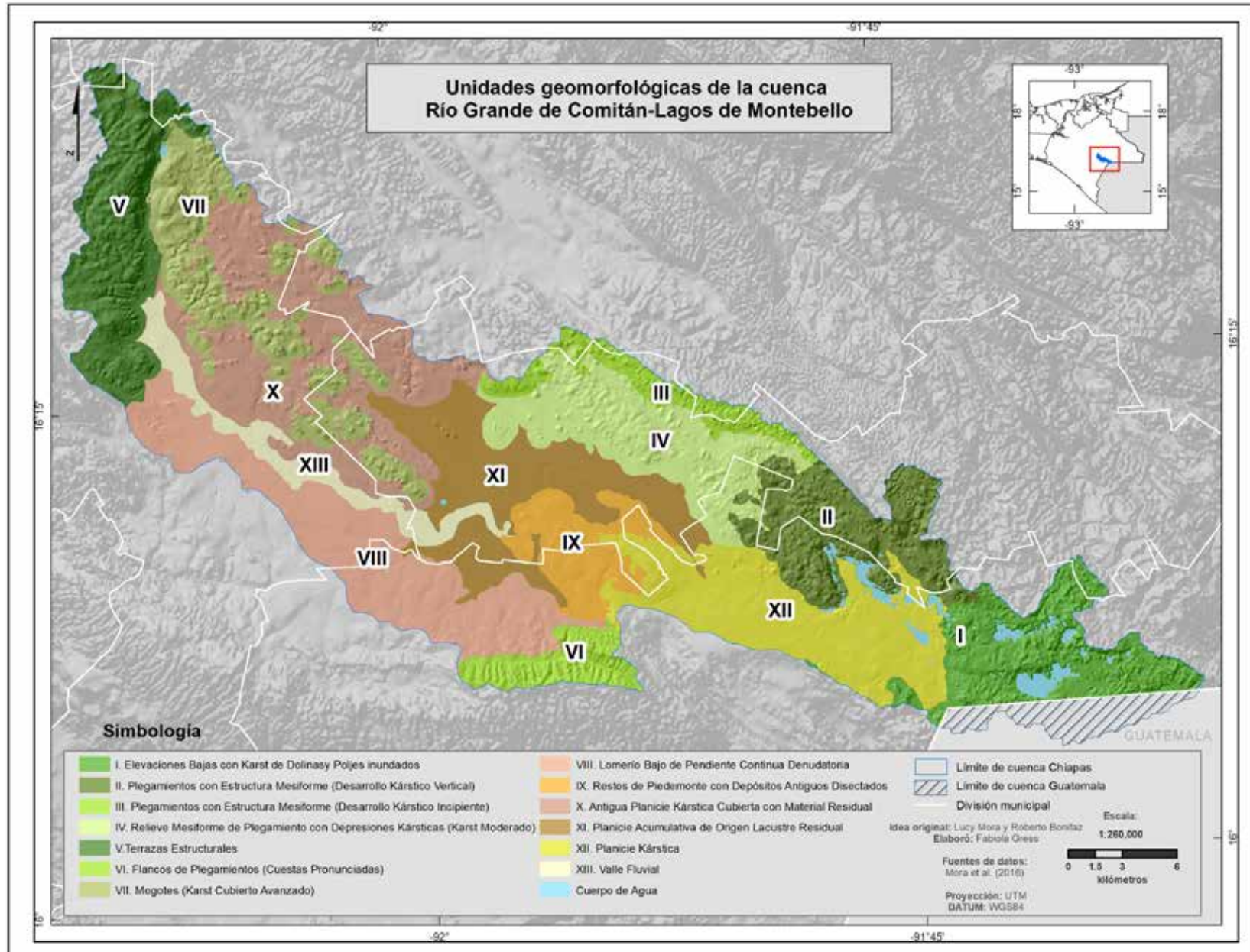
*XI. Planicie Acumulativa de Origen Lacustre Residual.* Se localiza en la parte central de la cuenca y abarca un área de 76.31 km<sup>2</sup>. Es la parte más plana y baja de la cuenca. Su génesis está relacionada con la presencia de un antiguo lago que fue desecado por el cambio de nivel freático de la zona.

*XII. Planicie Kárstica.* Abarca el área de los "lagos de planicie" hasta casi el centro de la cuenca, lo que representa un área de 85.7 km<sup>2</sup>. Su forma obedece a la disolución reciente de las rocas, el control tectónico y el relleno del material residual.

*XIII. Valle Fluvial.* Posee una morfología alargada a lo largo del río y es el resultado de la dinámica fluvial del río.

## Conclusiones

La cuenca RGC-LM que enmarca el Parque Nacional Lagunas de Montebello (PNLM) es producto de procesos de karst de montaña. Los principales rasgos que resultan evidentes son las formas redondeadas que han resultado de un proceso extenso de evolución que se manifiesta en forma de mogotes (lomeríos), dolinas (depresiones) y poljes (cavidades).



Mapa 14. Delimitación de trece unidades geomorfológicas de la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas.

## Referencias

Durán, C. L., Escolero, O. F., Muñoz, E. F. M., Castillo, M. C. S. y Rodríguez, G. S. R. (2014). Cartografía geomorfológica a escala 1:50,000 del Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chiapas (México): *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 66 (2), 263-277.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), (2013). Continuo de elevaciones continentales 3.0, disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionemex/> Consultado el 30 de junio 2015.

Mora L., Bonifaz, R. y López-Martínez, R. (2016). Unidades geomorfológicas de la cuenca del Río Grande de Comitán, lagos de Montebello, Chiapas-México. *Boletín de la Sociedad Geológica mexicana*, 68(3), 377-394.

## CLIMATOLOGÍA<sup>15</sup>

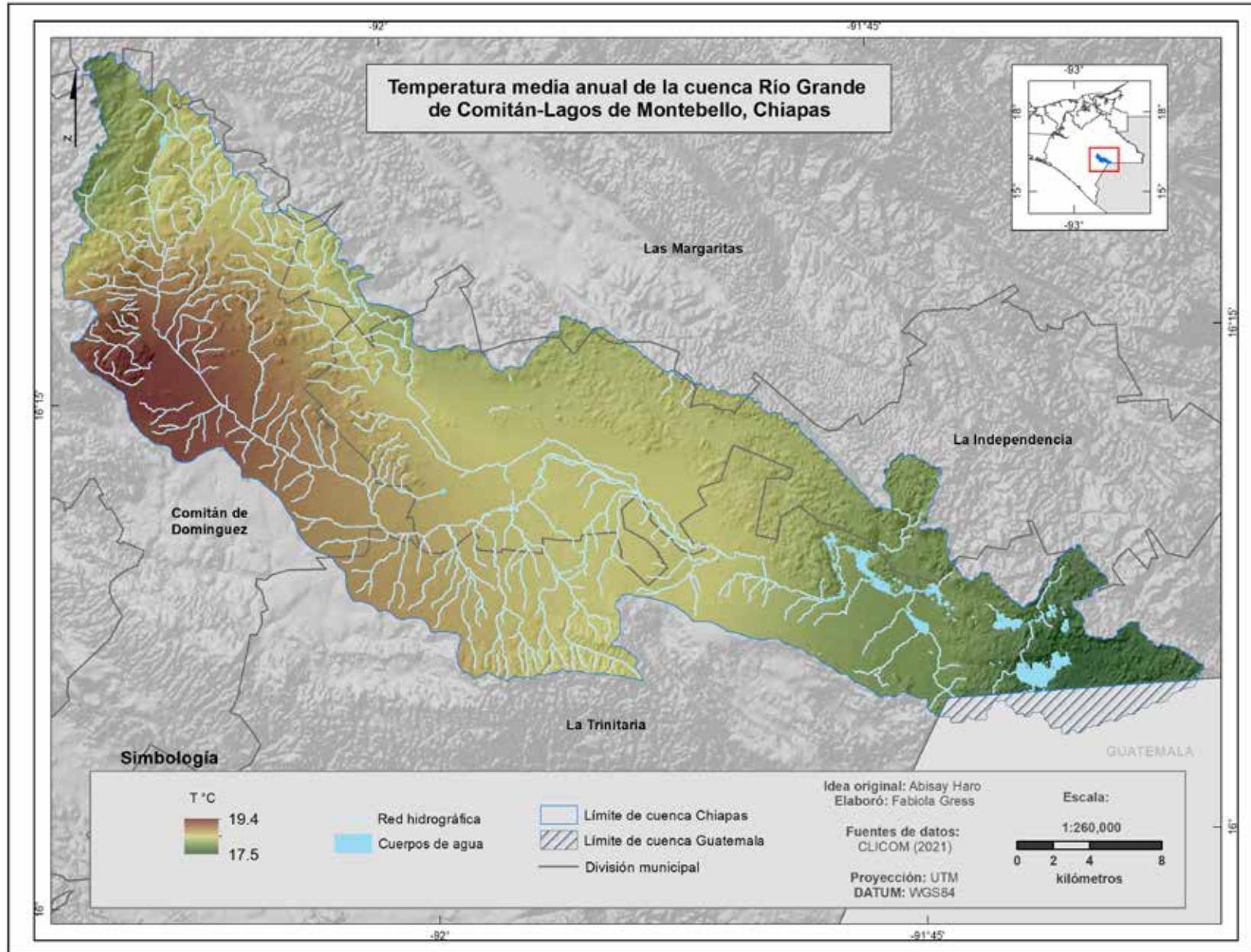
*Abisay Haro*

En la cuenca RGC-LM, el tipo de clima predominante corresponde a templado subhúmedo con lluvias en verano C (w1), desde la parte central de la cuenca y extendiéndose hacia el noreste y sureste de la misma. Hacia la parte este, correspondiente al Parque Nacional Lagunas de Montebello (PNLM), se presenta un clima templado húmedo con lluvias todo el año C (m) (f). La temperatura media anual de la cuenca es de 18°C (Mapa 15), con una temperatura mínima de 12.4°C y una máxima de 24°C (Mapa 16 y 17). La precipitación media anual de la cuenca es de 1,369 mm anuales. Las precipitaciones mínimas se registran hacia la parte suroeste de la cuenca, en el municipio de La Trinitaria, con una media de 890 mm/año. Las mayores precipitaciones se registran dentro del Parque Nacional –particularmente hacia la zona de lagos de montaña–, con un promedio de 2,467 mm/año, seguidas por 1,398 mm/año en las partes más altas de la cuenca, ubicadas en la parte noreste (Mapa 18).

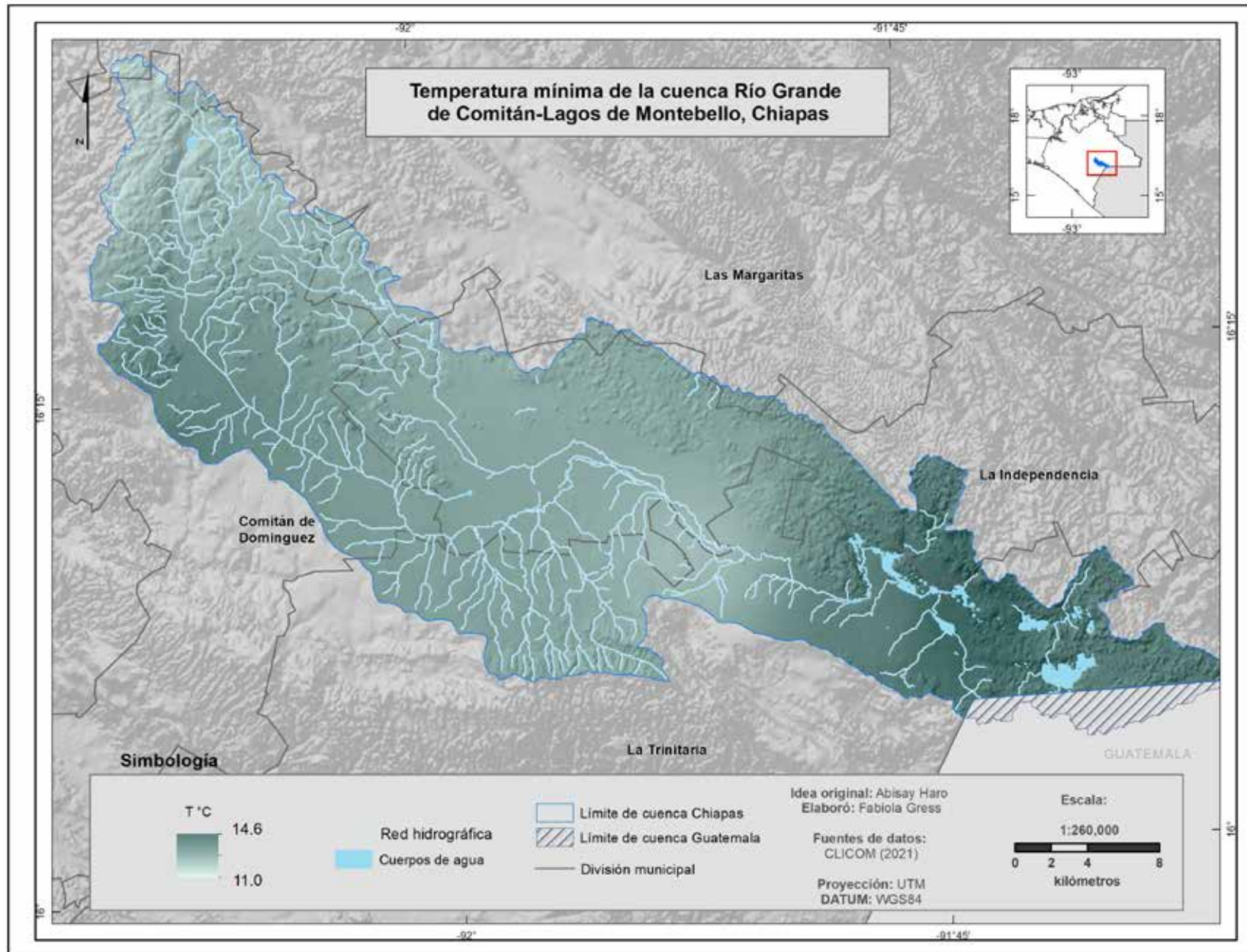
En los últimos 50 años, la temperatura promedio anual de la ciudad de Comitán de Domínguez siempre ha sido mayor en comparación con otras localidades cercanas a la ciudad. Esto se debe a ciertas características de las zonas urbanas, como la remoción de vegetación y la infraestructura predominante de concreto y asfalto, lo cual tiene un efecto sobre el clima local, provocado por un fenómeno denominado isla de calor (Lo y Quattrochi, 2003; Peng et al., 2011; Zhou et al., 2017).

---

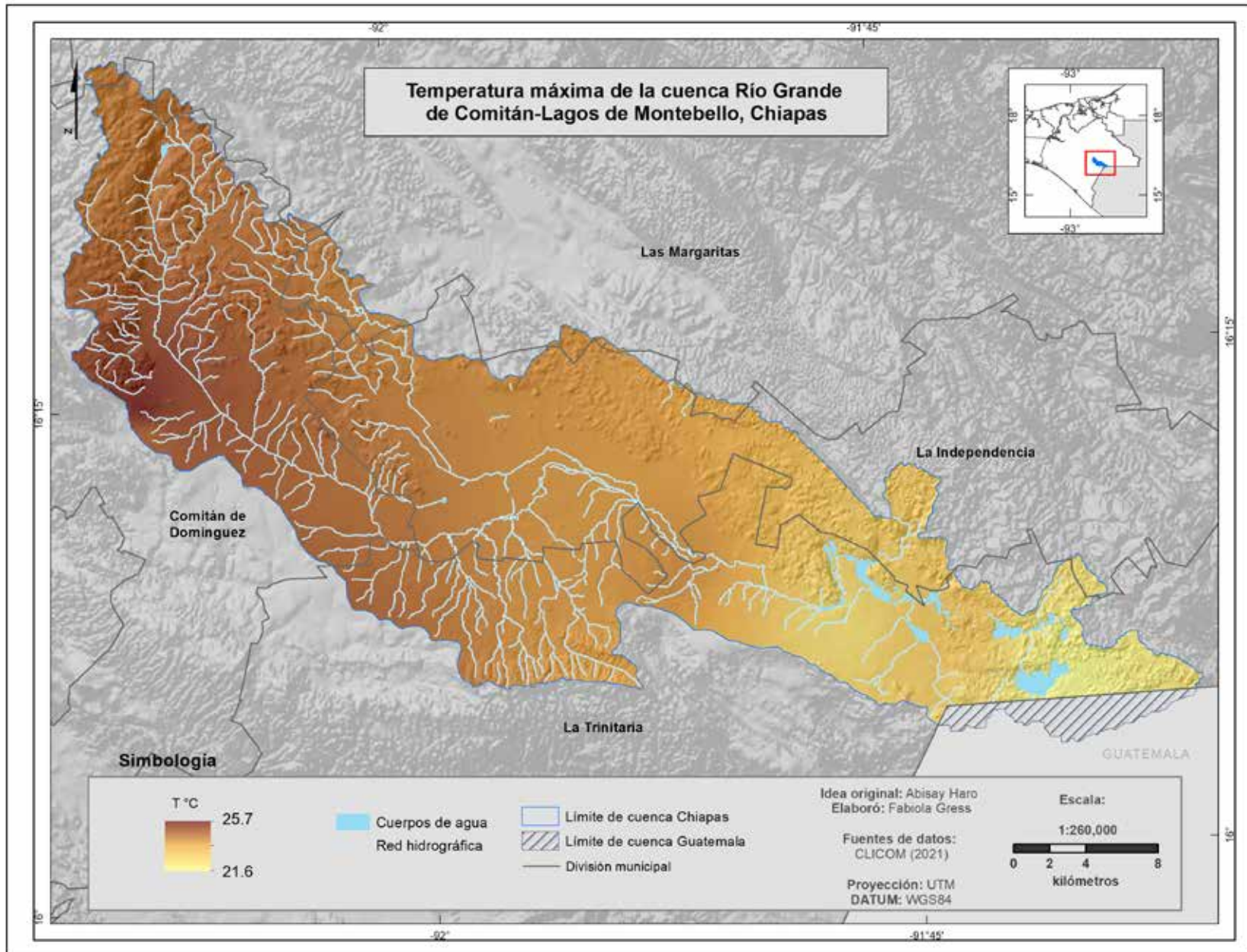
15 Para el análisis climático de la cuenca se utilizaron los datos climatológicos diarios de CLICOM del Servicio Meteorológico Nacional a través de su plataforma web del CICESE (<http://clicom-mex.cicese.mx>).



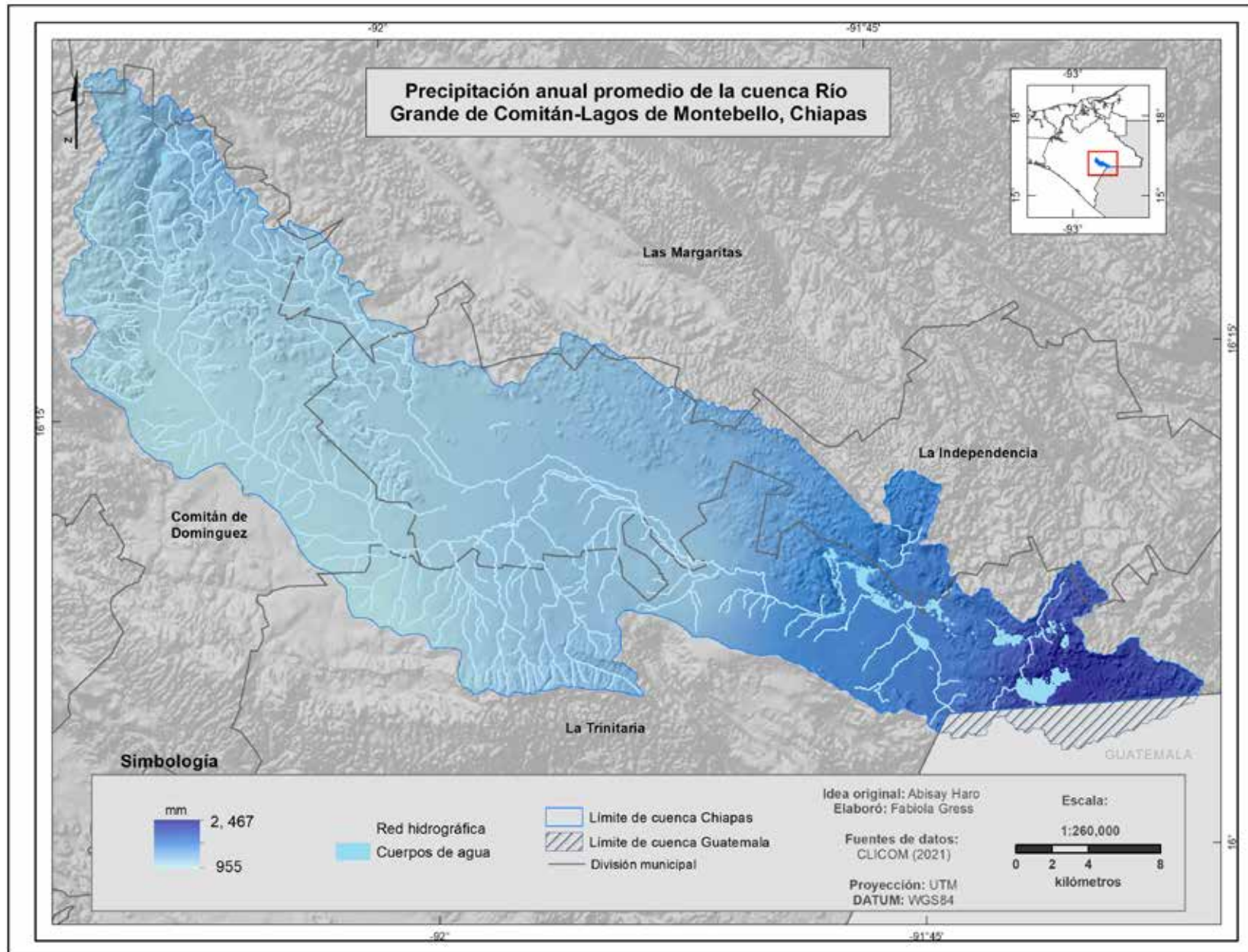
Mapa 15. Temperatura media anual de la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas



Mapa 16. Temperatura mínima de la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas.



Mapa 17. Temperatura máxima de la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas.



Mapa 18. Precipitación anual promedio de la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas.



## Referencias

CLICOM. (2021, junio). CLlimate COMputing project. Servicio Meteorológico Nacional. <http://clicom-mex.cicese.mGEx/>

Comisión Nacional del Agua. (2009). Plan de Gestión de la cuenca del Río Grande-Lagunas de Montebello, Chiapas-México. Disponible en: [https://transparencia.comitan.gob.mx/ART74/I/ECOLOGIA/plan\\_de\\_Gestion\\_de\\_la\\_Cuenca\\_Rio\\_Grande\\_Lagunas\\_de\\_Montebello.pdf](https://transparencia.comitan.gob.mx/ART74/I/ECOLOGIA/plan_de_Gestion_de_la_Cuenca_Rio_Grande_Lagunas_de_Montebello.pdf)

Zhou, B., Rybski, D., & Kropp, J. P. (2017). The role of city size and urban form in the surface urban heat island. *Scientific reports*, 7, 1-9





*Jannice Alvarado Velázquez y Roberto Bonifaz Alfonzo*

La cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello (RGC-LM) se encuentra dentro de la cuenca Río Lacantún, que forma parte de la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta (INEGI, 2010) (Mapa 19). A su vez, la cuenca RGC-LM fue subdividida en diez subcuencas con el fin de obtener una representación hidrológica para diversos análisis a través del programa SWAT (Soil and Water Assessment Tool), con base en puntos de confluencia del flujo de la corriente principal (Alvarado, 2017; Alvarado et al., 2022). Al carecer de flujo superficial, la zona lacustre fue delimitada bajo criterios geomorfológicos (Mora et al., 2016). Cada subcuenca fue nombrada usando los nombres de las localidades más representativas (Mapa 20).

El cauce principal de la cuenca es conocido como río Grande de Comitán. Nace en la zona noroeste de la cuenca, gracias al afloramiento de agua que se generan en el parteaguas de las montañas y cuyos flujos dan origen al lago Juznajab. El río Grande fluye de noroeste a sureste, y converge con un flujo intermitente y drenes agrícolas provenientes de la subcuenca La Independencia hasta las subcuencas La Esperanza y El Triunfo. A partir de ahí surgen diversas corrientes intermitentes y perennes que desembocan en un conjunto lagunar denominado Sistema Lacustre de Planicie de poca profundidad, que colinda con la zona arqueológica de Chinkultic. Este sistema ha sido uno de los más impactados ambientalmente debido a la presencia de canales que conectan superficialmente con el sistema de lagos (Alvarado et al., 2022). A partir de allí, las corrientes superficiales desaparecen, y

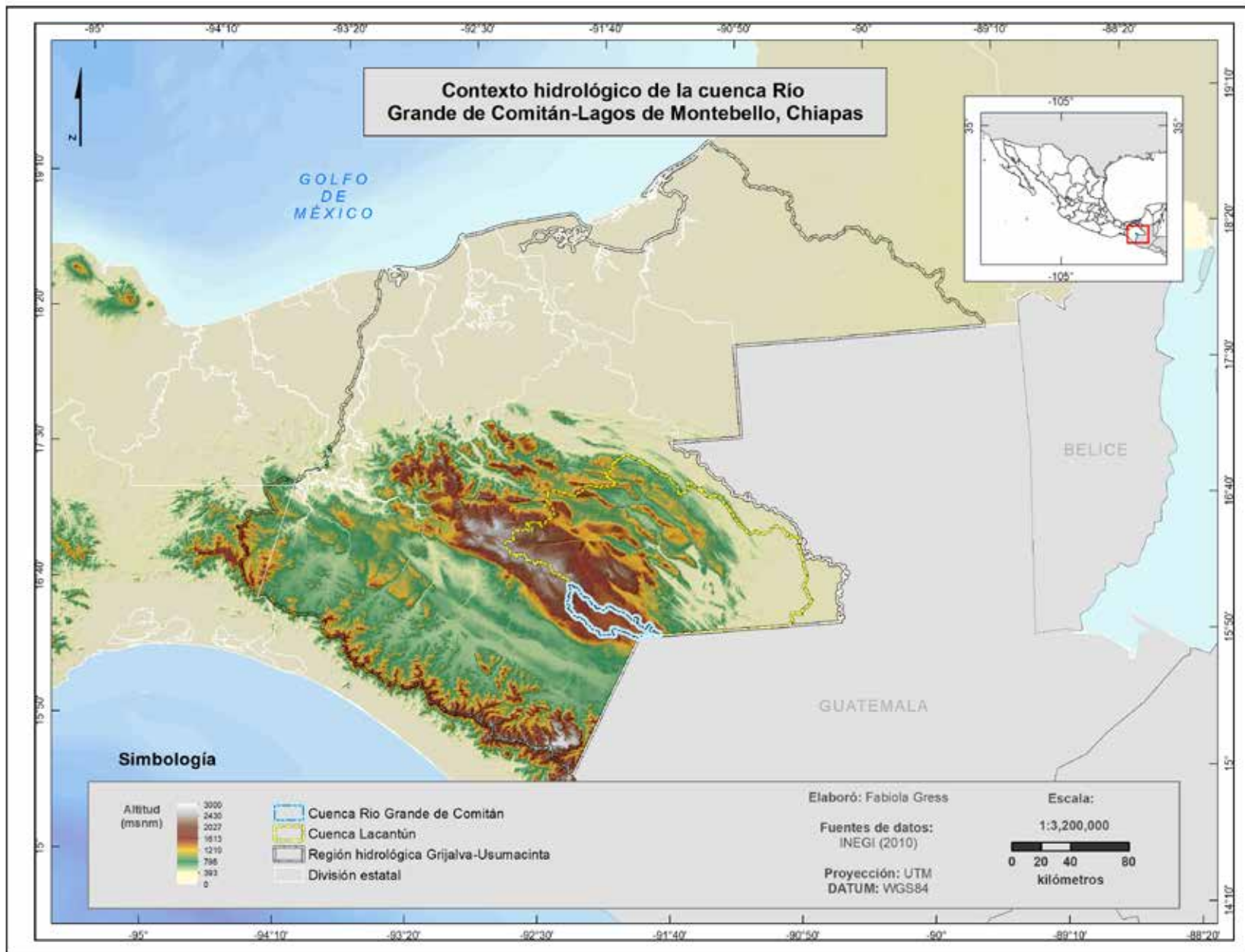
se forma lo que llamamos Sistema Lacustre de Montaña: un complejo de lagos de origen kárstico que se alimentan principalmente de agua subterránea, característicos por sus aguas transparentes de colores azules y verdes (Mapa 20).

Dentro del Sistema Lacustre de Montaña se encuentra el Parque Nacional "Lagunas de Montebello", que corresponde al nombre oficial del Área Natural Protegida decretada el 26 de noviembre de 1959. Sin embargo, desde el punto de vista limnológico, laguna es un término utilizado para referirse a cuerpos de agua poco profundos, asociados a aguas marinas usualmente paralelas a la costa, separadas del mar por una barrera, pero conectadas, al menos intermitentemente, por una o más bocas (Phleger, 1969). En cambio, un lago puede definirse como un cuerpo de agua (generalmente de agua dulce) que está íntimamente acoplado con la tierra y sin acceso directo al mar (Wetzel 2001). En este atlas se utilizará el término "lago" para referirnos a los cuerpos de agua que se localizan dentro del sistema lagunar de Montebello.

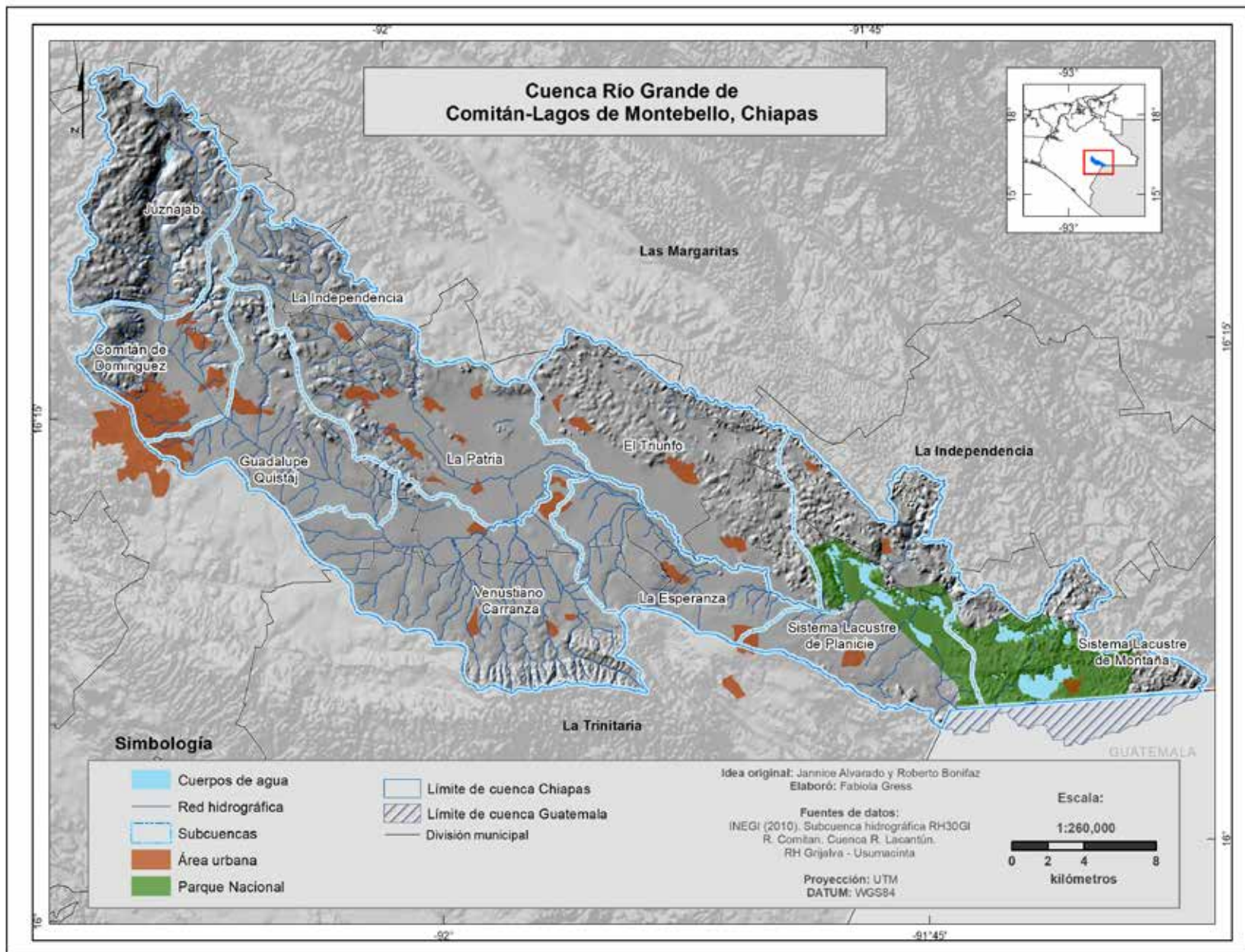
Debido a las características de los ambientes kársticos de la zona, los lagos ubicados en el Sistema Lacustre de Montaña tienen influencia del flujo de agua subterránea. Sin embargo, aún se desconoce el grado de conexión entre ellos, lo que podría tener serias implicaciones asociadas con la dispersión de los contaminantes. Por ello, el estudio y manejo de esta cuenca, y de otras en ambientes similares, resulta de gran importancia para la prevención de la degradación ambiental.

---

16 Este capítulo es una adaptación de los resultados la tesis de maestría de Alvarado, J. (2017), *Evaluación del transporte de sedimentos y la calidad del agua, utilizando SWAT, en el Río Grande de Comitán, Chiapas*.



Mapa 19. Ubicación de la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello dentro de la Región Hidrológica Grijalva-Usumacinta.



Mapa 20. Cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello y sus subcuencas, Chiapas, México.

## Referencias

- Alvarado, J., García-Meneses, P. M., Esse, C., Saavedra, P., Morales, R., Bonifaz, R. y Mazari-Hiriart, M. (2022). Spatially explicit vulnerability analysis of contaminant sources in a karstic watershed in southeastern Mexico. *Applied Geography*, 138, 102606. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2021.102606>
- Alvarado, J. (2017). *Evaluación del transporte de sedimentos y la calidad del agua, utilizando SWAT*, en el Río Grande de Comitán, Chiapas. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. Disponible en: <http://132.248.9.195/ptd2017/noviembre/0767999/Index.html>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). Red hidrográfica. Escala 1:50,000. Edición 2.0. Subcuenca hidrográfica RH30Gl R. Comitán. Cuenca R. Lacantún. RH Grijalva-Usumacinta.
- Mora, L., Bonifaz, R. y López-Martínez, R. (2016). Unidades geomorfológicas de la cuenca del Río Grande de Comitán, Lagos de Montebello, Chiapas-México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 68(3), 377–394. <https://doi.org/10.18268/BSGM2016v68n3a1>
- Phleger, F.B. (1969). Some general features of coastal lagoons. En: Ayala-Castañeres (Ed.), *Lagunas Costeras, un Simposio.*, Universidad Nacional Autónoma de México, México, DF. (1969), pp. 5-26.
- Wetzel, R.G. (2001). *Limnology Lake and Reservoir Ecosystems*. Academic Press, San Diego.

# LIMNOLOGÍA

Javier Alcocer, Mariana Vargas, Erika M. Rivera, Luis A. Oseguera, Rocío Fernández y Martín Merino Ibarra

Los lagos de Montebello se formaron a través de la disolución de rocas calizas (caliza-dolomía y caliza-lutita) procedentes de la época Cretácica, esto es, hace poco menos de 145 millones de años. Estos lagos de disolución son similares a los cenotes de la Península de Yucatán. La disolución de la roca que originó los lagos se dio a lo largo de la zona de fracturamiento principal, la cual presenta una alineación NW-SE, por lo que los lagos se distribuyen a lo largo de esta misma orientación. Los lagos de la porción NW se desarrollaron sobre la planicie, mientras que los de la porción SE se originaron en la zona de montaña (Alcocer et al., 2018). Los lagos de planicie (NW) se encuentran impactados por diversas actividades humanas (deforestación, agricultura, crecimiento urbano, aguas residuales negras y agrícolas, fertilizantes, plaguicidas). Los lagos de montaña (SE), al estar alejados de las actividades humanas, han permanecido, al momento, prístinos (Alcocer et al., 2018). Los lagos poseen diferentes características y dimensiones (Tabla 8); sus formas van de la más simple, denominada dolina, parecida a un cilindro o a un cono truncado invertido, a las más complejas, conocidas como poljes y uvalas, ambas formadas por la fusión de varias dolinas (Alcocer et al., 2016)

Tabla 8. Parámetros morfométricos de los Lagos de Montebello. (Lmax = longitud máxima, bmax = ancho máximo, A = superficie, P = perímetro, V = volumen, Zmax = profundidad máxima, Zmed = profundidad media). Los lagos están ordenados por su ubicación del NW al SE (Alcocer et al., 2016).

Lago	Código	Lmax (m)	bmax (m)	A (km <sup>2</sup> )	P (km)	V (km <sup>3</sup> )	Zmax (m)	Zmed (m)
Balamtetik	Bal	814	232	0.136	2.33	0.0002	3.1	1.7
Chaj Chaj	Ch	448	308	0.092	1.33	0.0005	12.1	5.3
Liquidámbar	Liq	949	703	0.405	5.68	0.0045	23.7	11.2
San Lorenzo	SL	3,091	1290	1.813	15.01	0.0215	67	11.8
San José	SJ	1,761	661	0.606	4.54	0.0062	30	10.3
Bosque Azul	BA	1,322	822	0.525	5.81	0.0105	57.9	20
La Encantada	LE	385	306	0.082	1.28	0.0024	88.8	29.4
Esmeralda	Esm	140	113	0.011	0.42	0.0000	6.9	3.6
Ensueño	Ens	220	191	0.027	0.66	0.0006	35.2	21.6
Agua Tinta	AT	210	196	0.030	0.65	0.0004	24.4	14.7
Montebello	Mon	1,687	1142	0.962	7.84	0.0119	44.5	12.3
Cinco Lagos	CL	817	595	0.237	3.78	0.0101	161.8	42.5
Pojoj	Poj	1,057	736	0.437	3.61	0.0154	198.2	35.2
Kichail	Kic	582	445	0.125	2.38	0.0012	22.1	9.5
Tzisco	Tzs	3,201	1481	3.066	13.22	0.0885	86.2	28.9
Patianú	Pat	262	184	0.034	0.73	0.0004	26	10.8
Yalalush	Yal	539	333	0.115	1.87	0.0011	23	9.9
Dos Lagos	DL	336	234	0.052	0.99	0.0013	42.4	25.2



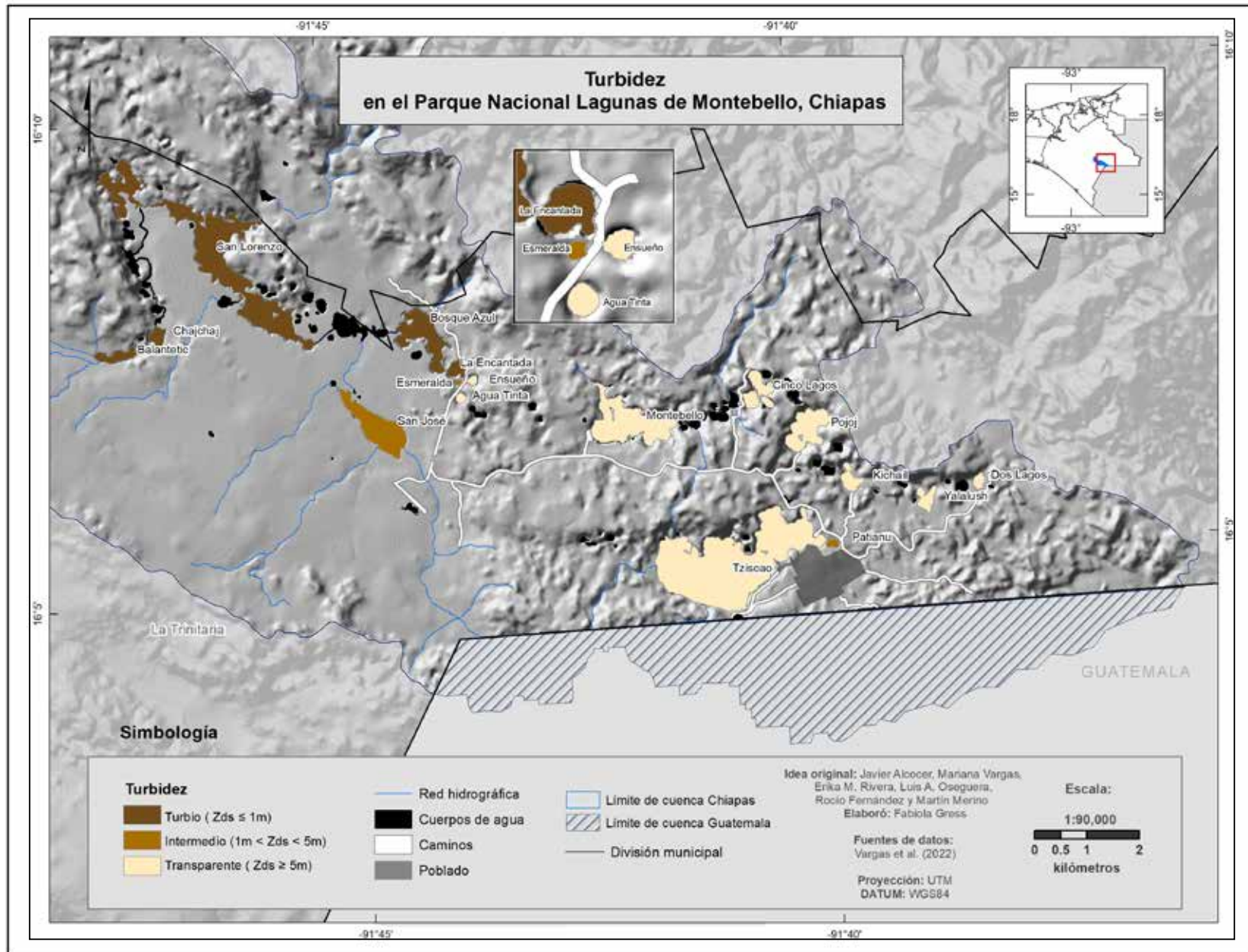
Los sedimentos de los lagos están compuestos principalmente por limos. Sin embargo, los lagos de montaña tienen sedimentos más gruesos y con mayor concentración de carbono orgánico recalcitrante en comparación con los de planicie (Alcocer et al., 2018; 2021). Los tipos térmicos (p. ej., periodos de mezcla y estratificación térmica) que presentan los lagos son monomixis y polimixis. Los lagos profundos son monomícticos cálidos, circulan en el invierno (época fría de secas) y se estratifican el resto del año (época cálida de lluvias). Los lagos someros son polimícticos cálidos, es decir, circulan con frecuencia a lo largo del año y alternan periodos de circulación con periodos de estratificación térmica. Balamtetik, Chaj Chaj, Esmeralda y Yalalush son polimícticos cálidos; el resto de los lagos son monomícticos cálidos. La mayoría de los lagos son holomícticos: cuando circulan, toda la columna de agua se mezcla. Sin embargo, Dos Lagos es meromíctico, ya que la capa de agua profunda no se mezcla con el resto del lago, aunque esté en circulación (Alcocer, 2017).

La columna de agua de los lagos tiene características fisicoquímicas contrastantes. La transparencia del agua de los lagos que han sido impactados antrópicamente es reducida (Alcocer et al., 2018; Sosa-Aranda y Zambrano, 2019; Vargas-Sánchez et al., 2022) (zona eufótica,  $Z_{EU} = 2.6-6.3$  m), mientras que los que no han sido impactados son transparentes ( $Z_{EU} = 10.1-33.4$  m). La temperatura promedio de la columna de agua de los lagos va de  $18.2 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$  a  $20.9 \pm 1.6^{\circ}\text{C}$ . La concentración promedio de oxígeno disuelto va de  $4.1 \pm 3.4$  mg  $\text{L}^{-1}$  a  $6.4 \pm 0.7$  mg  $\text{L}^{-1}$  en la capa de mezcla. Durante la estratificación, los lagos desarrollan hipolimnia anóxicos. El pH promedio va de  $8.2 \pm 0.1$  a  $7.5 \pm 0.3$ ; y la conductividad eléctrica va de  $454 \pm 21$   $\mu\text{S cm}^{-1}$  a  $432 \pm 56$   $\mu\text{S cm}^{-1}$ , que aumenta hacia el fondo de los lagos, lo cual evidencia el aporte de agua subterránea con mayor cantidad de sales disueltas. La composición iónica básica del agua de los Lagos de Montebello es dominada por los aniones  $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-}$  y los cationes  $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$  (Alcocer et al., 2018).

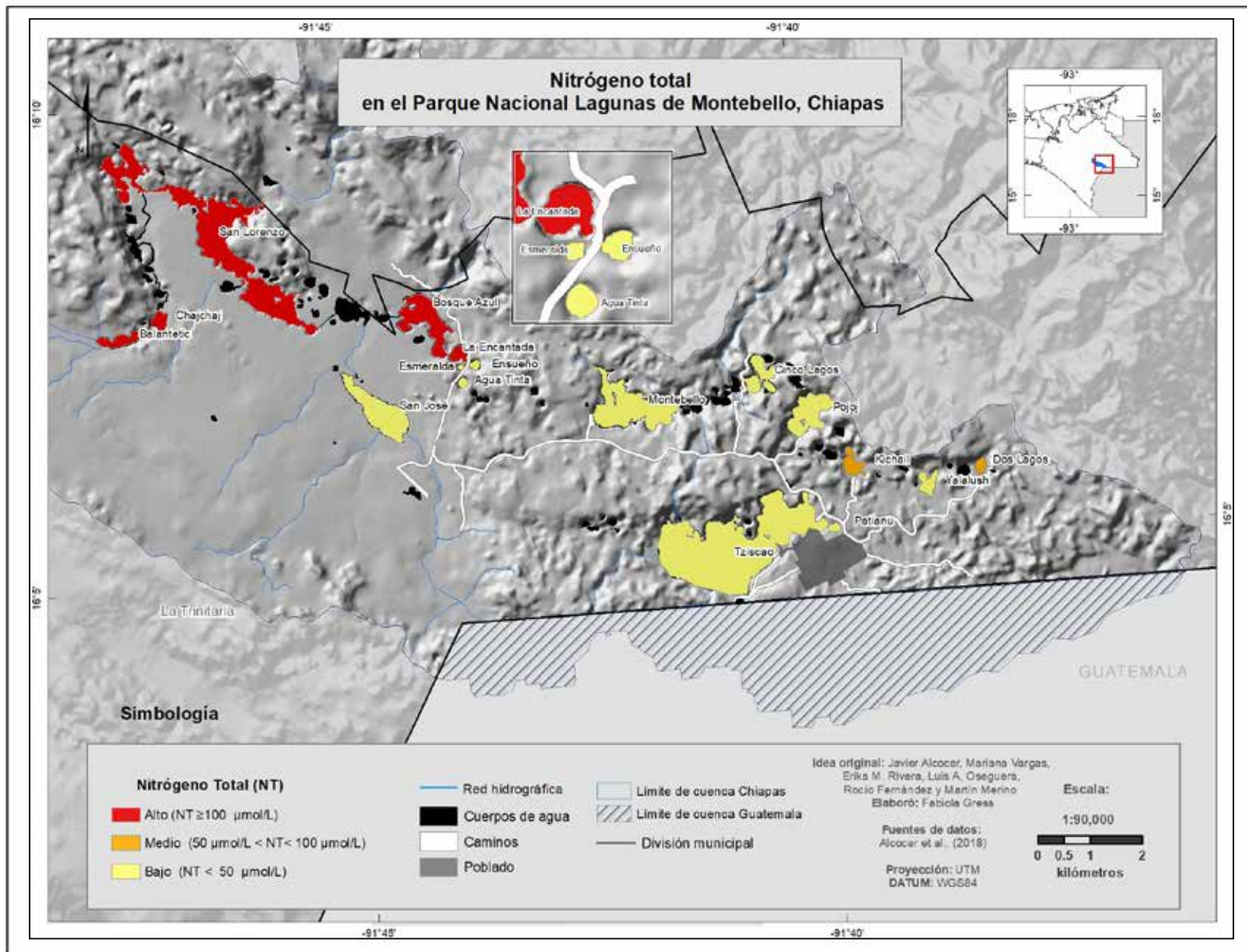
Con relación a la biota acuática, dentro del fitoplancton de los Lagos de Montebello se han registrado 78 taxones dominados por cianofitas y clorofitas (p. ej., *Cyclotella meneghiniana* y *Synechocystis aquatilis*). En los lagos eutróficos se presentan florecimientos de la cianofita *Planktothrix*, productora de cianotoxinas (Fernández et al., 2021). En cuanto al zooplancton, se han reconocido 59 taxones de rotíferos (p. ej., *Keratella americana*), cladóceros (p. ej., *Ceriodaphnia dubia*) y copépodos (p. ej. *Mastigodiatomus maya*), siendo dominantes estos últimos (Fernández et al., 2020a; 2020b; 2022). Finalmente, se han reconocido 49 taxones de macroinvertebrados bentónicos (Cortés-Guzmán et al., 2019; 2021, Palacios-Vargas et al., 2018) dominados por quironómidos (p. ej., *Tanytarsus*), oligoquetos (p. ej., *Naidadae*) y anfípodos (p. ej., *Hyaellidae*). Mientras que los anfípodos dominan los macroinvertebrados bentónicos de la zona litoral de los lagos transparentes, los quironómidos lo hacen en los turbios (Sosa-Aranda y Zambrano, 2019). Los lagos muestran una elevada riqueza taxonómica regional (Cortés-Guzmán y Alcocer, 2022), pero al mismo tiempo un gran nivel de singularidad en cada lago (Tabla 9). Por lo anterior, las actividades humanas afectan y reducen la biodiversidad regional, lo cual refleja la gran fragilidad de estos ecosistemas.

Tabla 9. Riqueza taxonómica (S) de zooplancton pelágico y macroinvertebrados bentónicos (MIB) de la zona profunda de los Lagos de Montebello (Cortés-Guzmán et al., 2019, 2021; Fernández et al., 2020a, 2020b, 2022; Palacios-Vargas et al., 2018).

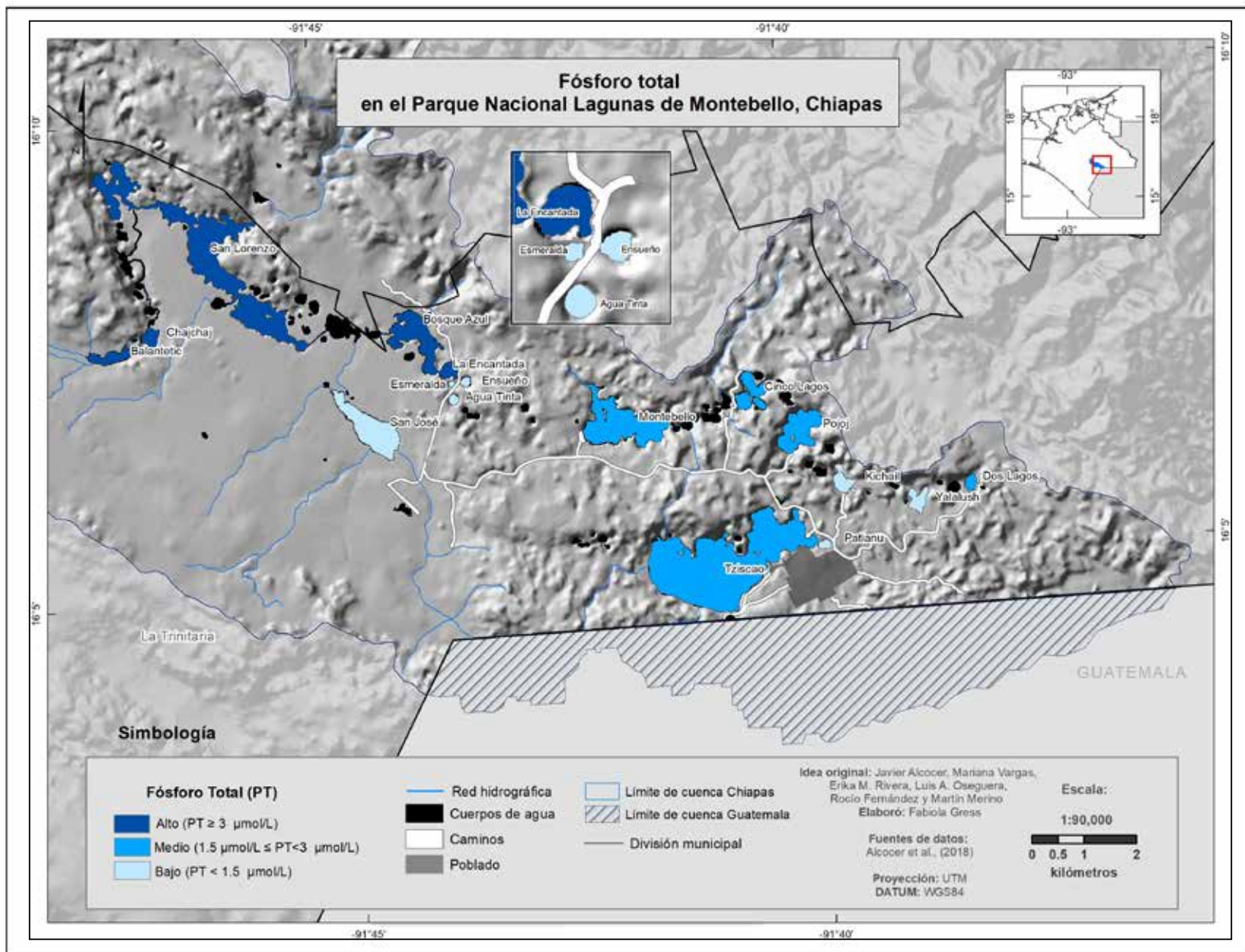
Lago	Código	Zooplancton				MIB
		Copépodos	Cladóceros	Rotíferos	Total	
Balamtetik	Bal	2	0	6	8	5
Chaj Chaj	Ch	7	4	12	23	1
Liquidámbar	Liq	1	0	11	12	1
San Lorenzo	SL	8	3	10	21	1
San José	SJ	3	4	0	7	3
Bosque Azul	BA	9	6	8	23	3
La Encantada	LE	3	5	4	12	4
Esmeralda	Esm	2	1	1	4	10
Ensueño	Ens	4	1	0	5	13
Agua Tinta	AT	3	3	2	8	2
Montebello	Mon	2	2	2	6	0
Cinco Lagos	CL	2	2	3	7	7
Pojoj	Poj	2	2	0	4	3
Kichail	Kic	3	4	2	9	3
Tzisco	Tzs	7	5	1	13	19
Patianú	Pat	3	4	0	7	13
Yalalush	Yal	7	2	0	9	0
Dos Lagos	DL	2	4	1	7	10



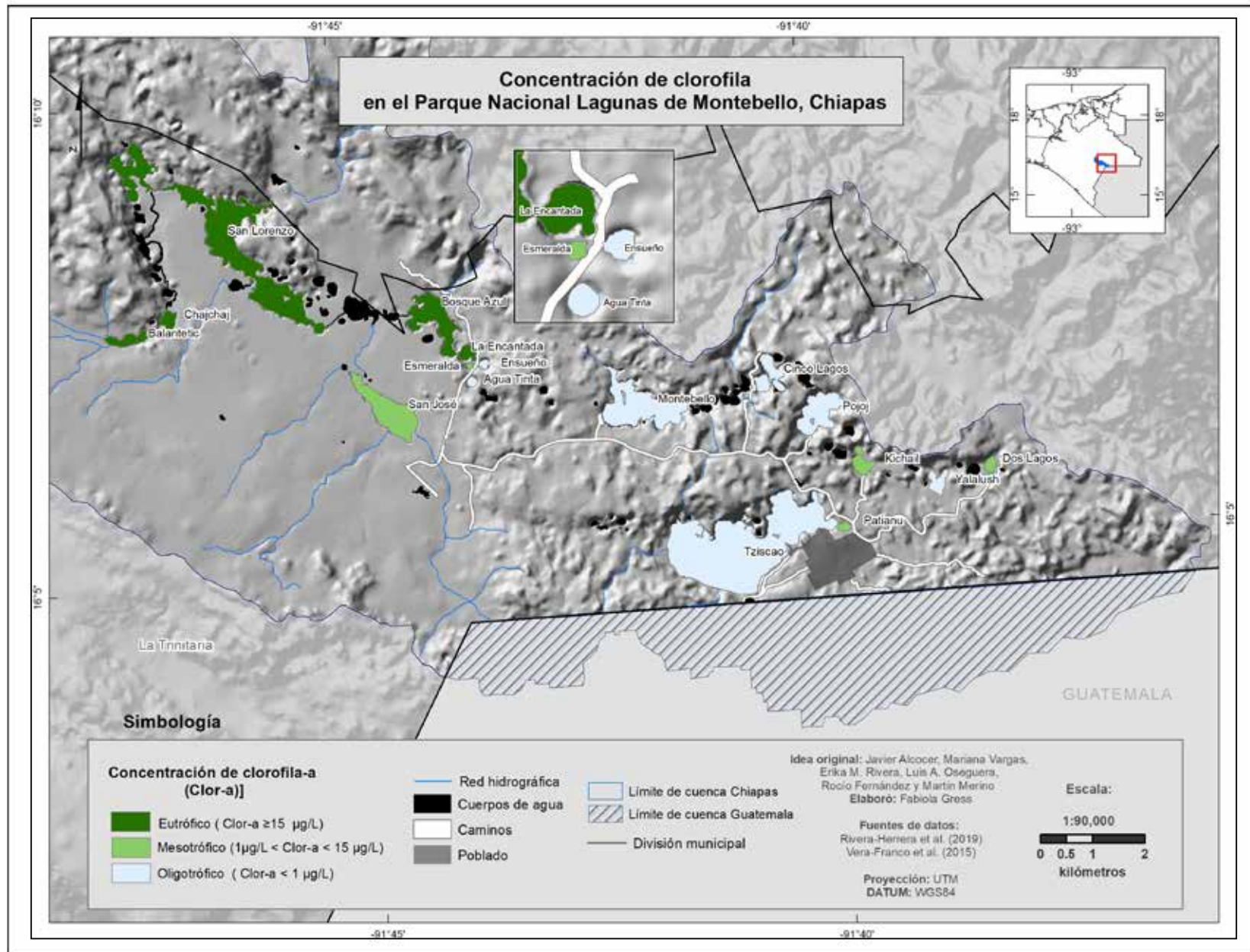
Mapa 21. Transparencia (profundidad del disco de Secchi, Zds) de las aguas de los Lagos de Montebello.



Mapa 22. Concentración de nitrógeno total (NT) en los Lagos de Montebello, Chiapas.



Mapa 23. Concentración de fósforo total (PT) en los Lagos de Montebello, Chiapas.



Mapa 24. Estado trófico (con base en la concentración de clorofila a) de los Lagos de Montebello.

## Referencias

- Alcocer J., Oseguera L. A., Sánchez G., González C. G., Martínez J. R. y González R. (2016). Bathymetric and morphometric surveys of the Montebello lakes, Chiapas. *Journal of Limnology*, 75,56-65. <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2016.1343>
- Alcocer, J. (2017). Mexican meromictic lakes: What we know so far? pp. 353-375. In: R. Gulati, A. Degermendzhy & E. Zadereev (eds.). *Ecology of Meromictic Lakes*. Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-49143-1\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-319-49143-1_12)
- Alcocer J., Oseguera, L.A., Ardiles, V., Mora, L. y Prado, B. (2018). Sediment characteristics of 18 tropical, karst lakes in Chiapas, Mexico. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34(1), 77-82. <https://doi.org/10.20937/2018.34.M6ISSM>
- Alcocer, J., Merino-Ibarra, M., Oseguera, L. A. y Escolero, O. (2018). Anthropogenic impacts on tropical karst lakes: "Lagunas de Montebello", Chiapas. *Ecohydrology*, 11(8), e2029. <https://doi.org/10.1002/eco.2029>
- Alcocer, J., Prado, B., Mora, L. Oseguera, L. A. y Caballero, M. (2021). Sediment characteristics of tropical, karst lakes and their relationship with watershed topography, lake morphometry, and human activities. *Journal of Paleolimnology*, 66(1), 333-353. <https://doi.org/10.1007/s10933-021-00210-z>
- Cortés-Guzmán, D., Alcocer, J. y Oseguera, L. A. (2019). Benthic macroinvertebrate community diversity of Montebello Lakes, Chiapas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 90(1), e902769. <http://dx.doi.org/10.22201/ib.20078706e.2019.90.279>
- Cortés-Guzmán, D. y Alcocer, J. (2022). Turnover drives high benthic macroinvertebrates' beta diversity in a tropical karstic lake district. *Diversity*, 14(1), 259. <https://doi.org/10.3390/d14040259>
- Cortés-Guzmán, D., Alcocer, J. y Oseguera, L.A. (2021). Benthic macroinvertebrate communities of three tropical, warm monomictic lakes. *Limnologica*, 89, 125888. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2021.125888>

- Fernández, R., Oseguera, L. A. y Alcocer, J. (2020a). Zooplankton biodiversity in tropical karst lakes of southeast Mexico, Chiapas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 91. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2020.91.3184>
- Fernández, R., Alcocer, J. y Oseguera, L.A. (2020b). Regional pelagic rotifer biodiversity in a tropical karst lake district. *Diversity*, 12, 454. <https://doi.org/10.3390/d12120454>
- Fernández, R., Alcocer J. y Oseguera L. A. (2021). Mycrocystins presence threatens the ecosystem health of a tropical National Park: Lagunas de Montebello, Chiapas. *Brazilian Journal of Botany*, 44, 207-212. <https://doi.org/10.1007/s40415-020-00686-5>
- Fernández, R., Alcocer, J y Oseguera, L.A. (2022). Microcrustacean (Cladocera and Copepoda) assemblages of a tropical karst lake district. *Diversity*, 14, 564. <https://doi.org/10.3390/d14070564>
- Palacios-Vargas, J.G., Cortés-Guzmán, D. y Alcocer, J. (2018). Springtails (Collembola, Hexapoda) from Montebello Lakes, Chiapas. *Inland Waters*, 8(3), 264-272. <https://doi.org/10.1080/20442041.2018.1439863>
- Sosa-Aranda, I. y Zambrano, L. (2019). Relationship between turbidity and the benthic community in the preserved Montebello Lakes in Chiapas, Mexico. *Marine and Freshwater Research*, 71(7), 824-831. <https://doi.org/10.1071/MF19090>
- Vargas-Sánchez, M., Alcocer, J. y Oseguera, L.A. (2022). Seston and eutrophication on a tropical karst lake district: Lagunas de Montebello, Chiapas, Mexico. *Limnetica*, 41(2), 269-279. <https://doi.org/10.23818/limn.41.16>.



## AGUA SUBTERRÁNEA<sup>17</sup>

*Selene Olea Olea*

El agua constituye el líquido más abundante en la Tierra. Aproximadamente el 97% del agua del planeta es salada y se encuentra en los océanos y mares, y solo el 3% es agua dulce, de la cual la mayoría se encuentra en los glaciares (1.8%) y no está disponible para su uso, mientras que el agua subterránea (0.8%) es una fuente disponible que podemos aprovechar (Gleick, 1993). El agua subterránea es la segunda fuente de abastecimiento más importante de nuestro país (Arreguín, 2011).

En el ciclo hidrológico, el agua subterránea es un elemento muy importante, ya que se origina por la infiltración de la precipitación y el escurrimiento superficial en el subsuelo que llega a los materiales rocosos y fluye debido a la gravedad en un sistema de flujo en el cual existe conectividad hidrológica entre el agua subterránea y superficial por medio de la interacción con ríos, lagos y océanos (Winter et al., 1998). La cuenca RGC-LM pertenece al sistema de flujo Comalcalco (Escolero, 2018), en el cual el agua se infiltra en materiales como yesos, calizas y dolomías que tienden a presentar ensanchamiento de sus poros y fisuras, lo que produce disolución y genera un sistema kárstico (Custodio y Llamas, 1983). Esta zona se encuentra en un karst tropical en donde la disolución es mayor por ser una región cálida y húmeda. El agua subterránea se desplaza a velocidades variables, las cuales aumentan con la disolución de los materiales rocosos. Un ejemplo de los efectos del flujo subterráneo en estos materiales son las cavernas que se forman debido a la disolución de las rocas.

El mapa 25 muestra la elevación del nivel estático de la zona, que es un importante indicador del flujo de agua, pues permite conocer, según la elevación media del nivel del mar, la dirección del movimiento de agua subterránea.

El agua subterránea en la cuenca se extrae para su uso por medio de pozos y norias que presentan profundidades del nivel del agua entre 12 y 60 m en los pozos y entre el nivel terreno, y 9 m en las norias (2014) (Olea-Olea y Escolero, 2018; Mota-Covarrubias, 2019). Las variaciones en la profundidad están relacionadas con la recarga producida en tiempos de lluvias y secas. Los municipios de La Independencia y Comitán se abastecen predominantemente de agua subterránea, mientras que Las Margaritas y La Trinitaria de agua superficial. El 73.6% del agua se usa en las actividades agrícolas, el 26% en el abastecimiento humano y el 0.04% en la industria (CONAGUA, 2019).

El agua subterránea fluye en el subsuelo desde el suroeste hacia el noreste. Circula en la mayor parte de la cuenca en materiales carbonatados, aluviales y yesos con una velocidad de flujo mayor, mientras que en la zona donde inician los Lagos de Montebello, al SE, circula en materiales aluviales arcillosos con una velocidad de flujo lenta (Olea-Olea y Escolero, 2018; Mota-Covarrubias, 2019). El agua subterránea descarga en los cuerpos de agua superficial y aporta agua en tiempos de secas al río Grande de Comitán, lo que le permite mantener el caudal ambiental necesario para preservar el hábitat (Salguero-Olvera,

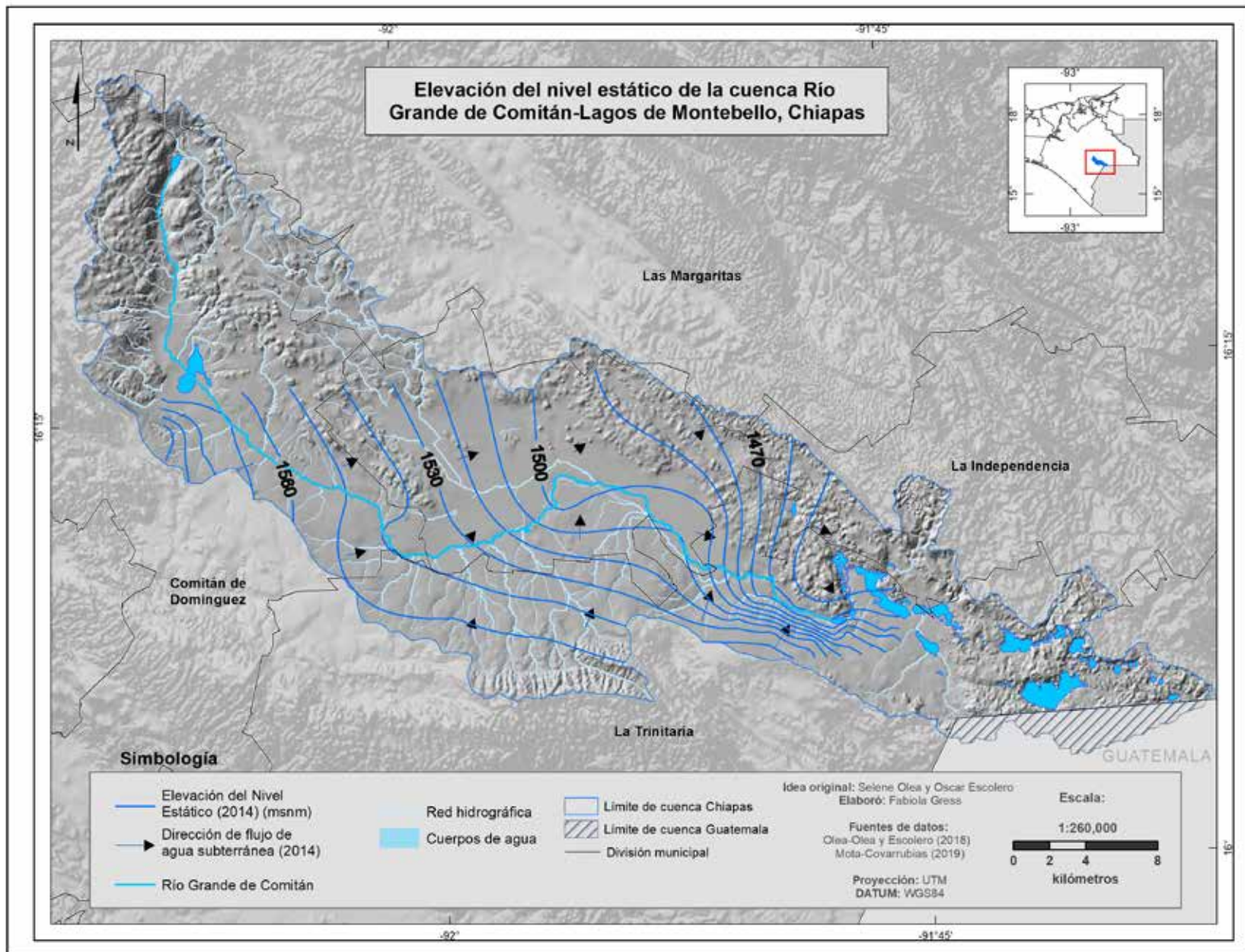
---

17 En colaboración con el Dr. Oscar Escolero. Los datos de este estudio provienen de Olea-Olea, S., Escolero, O., (2018). Nutrients load estimation to a lake system through the local groundwater flow: Los Lagos de Montebello, México. J. South Am. Earth Sci. 84. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2018.03.016>.

2018) y amortiguar la disminución de niveles de agua (Olea-Olea y Escolero, 2018).

La presencia del sistema de flujo en un medio kárstico tropical favoreció la disponibilidad de agua subterránea para el desarrollo de actividades económicas, como la agricultura, que hace uso de fertilizantes ricos en nitrógeno para incrementar la productividad. En la cuenca se han encontrado concentraciones mayores de 10 mg/L N-NO<sup>3</sup> (límite permisible NOM-127-SSA1-1994) en norias y pozos, lo que indica una contaminación puntual producto del uso de estos compuestos (Olea-Olea y Escolero, 2018; Mota-Covarrubias, 2019). Los nitratos encontrados en el agua subterránea ponen en riesgo la salud de quienes la ingieren, ya que inhiben el transporte de oxígeno en la sangre o forman compuestos cancerígenos (Fornicola, 1989; Larios-Ortiz, 2008; Temkin et al., 2019).

La presencia del agua subterránea en la cuenca RGC-LM permite el sustento de ecosistemas que dependen de ella, como son los ecosistemas de flujo y cuevas (Richardson et al., 2011). Estos hábitats son únicos para organismos vivos en sistemas de flujo en medios kársticos y en zonas hiporreicas de ríos (zona de transición debajo del cauce del río donde interactúan el agua superficial y subterránea), donde se genera una diversidad ecológica gracias a la combinación de variables geológicas, fisicoquímicas y a la presencia de oxígeno, carbono y nutrientes.



Mapa 25. Elevación del nivel estático de la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas.

## Referencias

- Arreguín, F., (2011). Disponibilidad de agua subterránea en México. <https://agua.org.mx/biblioteca/el-agua-subterranea-en-mexico/>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2019). Registro Público de Derechos de Agua (REPDA). <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=usosAgua&ver=mapa&o=0&n=nacional>
- Custodio, E. y Llamas, M. R. (1983). *Hidrología Subterránea.*, Ed. Omega, Barcelona, España.
- Escolero, O. (2018). Sistemas regionales de flujo de agua subterránea en México, 1st ed. Jiutepec, Morelos. IMTA-UNAM. 466
- Fernicola, N. A. G. G. (1989). Metahemoglobinemia infantil causada por nitratos. *Boletín de la Oficina Sanitaria Panamericana*, 106(1), 32–39.
- Gleick, P. H. (1993). *Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources*. New York Oxford University Press.
- Larios-Ortiz, L. (2008). Contaminación del agua por nitratos: significación sanitaria. *Revista. Archivo Médico Camagüey*, 13(2), 0-0.
- Mota-Covarrubias, S. (2019). Análisis hidrogeoquímico del agua subterránea en la Cuenca del Río Grande de Comitán, Chiapas. [Tesis Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. <http://132.248.9.195/ptd2019/julio/0790914/Index.html>
- Olea-Olea, S. y Escolero, O. (2018). Nutrients load estimation to a lake system through the local groundwater flow: Los Lagos de Montebello, México. *Journal of South American Earth Science*, 84, 201-207. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2018.03.016>
- Richardson, S., Irvine, E., Froend, R., Boon, P., Barber, S. y Bonneville, B. (2011). Australian groundwater dependent ecosystems toolbox part 1: assessment framework. Waterlines report, National Water Commission, Canberra. [http://www.bom.gov.au/water/groundwater/gde/GDEToolbox\\_PartOne\\_Assessment-Framework.pdf](http://www.bom.gov.au/water/groundwater/gde/GDEToolbox_PartOne_Assessment-Framework.pdf)
- Salguero-Olvera, C. A. (2018). Análisis del impacto del agua subterránea en el régimen de caudal ambiental en el Río Grande de Comitán, Chiapas. [Tesis Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. <http://132.248.9.195/ptd2018/octubre/0781394/Index.html>
- Temkin, A., Evans, S., Manidis, T., Campbell, C. y Naidenko, O. V. (2019). Exposure-based assessment and economic valuation of adverse birth outcomes and cancer risk due to nitrate in United States drinking water. *Environmental research*, 176, 108442. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.04.009>
- Winter, T. C., Harvey, J. W., Franke, O. L., Alley, W. M. (1998). Groundwater and Surface water: a single resource. *United States Geological Survey Circular*, 1, 79. <https://doi.org/https://doi.org/10.3133/cir1139>

# SERVICIOS ECOSISTÉMICOS HIDROLÓGICOS<sup>18</sup>

*Daniela Ávila García*

Los servicios ecosistémicos hidrológicos (SEH) están relacionados con los ecosistemas acuáticos y sus zonas de transición con otros ecosistemas terrestres como bosques, cultivos agrícolas, vegetación riparia y humedales (Grizzetti et al., 2016). Los SEH relacionados con la cantidad y calidad del agua son fundamentales en el bienestar humano y el manejo integral de los recursos hídricos (Seifert-Dähnn et al., 2015). No obstante, los cambios de uso de suelo y vegetación han modificado la capacidad de los ecosistemas para la provisión de SEH a nivel global (IPBES, 2019), incluyendo la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello (RGC-LM), Chiapas.

Aunque se ha demostrado que la presencia de los bosques tiene un efecto positivo en el funcionamiento hidrológico (Laino-Guanes et al., 2016), todas las características biofísicas de un ecosistema (i.e. clima, suelo, pendiente, tipo de vegetación, altitud) pueden afectar la provisión de los SEH (Brauman et al., 2007). La modelación de escenarios es una herramienta útil para identificar pérdidas y ganancias de SEH debido a los efectos acumulativos de los cambios de uso de suelo, así como para predecir impactos potenciales de la implementación de soluciones basadas en los bosques, incluyendo sus limitaciones y beneficios a diferentes escalas (Gao et al., 2017). Considerando lo anterior, el objetivo de este trabajo fue identificar la distribución espacial de dos SEH fundamentales para el funcionamiento socio-ecológico

de la cuenca RGC-LM (cantidad y calidad de agua) y evaluar los impactos potenciales bajo escenarios de cambio uso de suelo a escala de cuenca y subcuenca.

## Métodos

La modelación hidrológica para estimar los SEH relacionados con la cantidad y calidad del agua (Tabla 10) se evaluó con base en los parámetros calculados por la herramienta de modelación WaterWorld (escala= 1 ha) (Mulligan, 2013; Policy Support, 2020).

---

18 El contenido de este capítulo es una síntesis del trabajo doctoral de Ávila-García, D. (2020) y del artículo de divulgación ¿Los bosques pueden mejorar los servicios ecosistémicos hidrológicos?, disponible en: <https://www.unescosost.org/post/los-bosques-pueden-mejorar-los-servicios-ecosist%C3%A9micos-hidrol%C3%B3gicos>.

Tabla 10. Parámetros hidrológicos considerados para la evaluación de los SEH en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas (Mulligan 2013, 2020).

Parámetro	Definición	Unidad
Cantidad de agua Rendimiento hídrico	<p>WaterWorld estima la cantidad de agua disponible como recurso en la superficie terrestre <math>Y(x)</math> con base en la ecuación de balance hídrico calculado anualmente para cada píxel <math>x</math>:</p> $Yx = (Px + Nx) - RETx$ <p><math>Px</math> = Precipitación</p> <p><math>Nx</math> = Intercepción de niebla por la vegetación</p> <p><math>RETx</math> = Evapotranspiración real desde la vegetación, el suelo y cuerpos de agua</p>	mm/año
Calidad de agua % contaminación	<p>El porcentaje de contaminación o índice de huella humana sobre la calidad del agua se calcula con base en el porcentaje de escorrentía que transcurre sobre fuentes potenciales de contaminación (i.e. asentamientos poblacionales, cultivos agrícolas, carreteras). El índice varía de 0% (bajo nivel de presencia de actividades humanas sobre la calidad del agua) a 100% (alto nivel de presiones humanas).</p>	%

Posteriormente, se analizaron estadísticamente los impactos potenciales de cuatro escenarios de cambio uso de suelo. Dos escenarios incluyeron la implementación de estrategias de reforestación y soluciones basadas en los bosques. Por el contrario, en los otros dos escenarios se incrementaron las tasas de deforestación y las actividades agrícolas (Tabla 11).

Tabla 11. Descripción de escenarios de modelación proyectados con base en el aumento o disminución de la cobertura forestal en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas.

Escenarios	Descripción
1) BS20	Recuperación y protección de franjas de vegetación de 20 m de ancho e incremento de la cobertura forestal (20% de cada píxel) en áreas aledañas a zonas deforestadas (pérdida de cobertura forestal del 2002-2012) (Hansen et al., 2013)
2) R15	Recuperación de la cobertura forestal (15% de cada píxel) sobre suelos desnudos o coberturas herbáceas.
3) D15	Deforestación del 15% de cada píxel con cobertura forestal.
4) D20	Degradación de la vegetación riparia (20 m de ancho a lo largo del río) e incremento de la deforestación en áreas aledañas a regiones deforestadas (Hansen et al., 2013).

## Resultados

Con la aplicación de WaterWorld se estimó un índice de contaminación promedio de 2.47% (Mapa 26) y un rendimiento hídrico promedio de 1324.18 mm/año (Mapa 27). Los resultados demostraron una relación positiva entre la cobertura forestal y la calidad del agua. A escala de cuenca, la cantidad de agua disponible también incrementó significativamente los valores promedio en los escenarios de reforestación, mientras que los escenarios de deforestación proyectaron lo contrario. No obstante, solo algunas subcuencas mostraron diferencias significativas en términos de cantidad y calidad de agua para cada uno de los cuatro escenarios (aumento o disminución de la cobertura forestal). Estas diferencias están principalmente relacionadas con las tipologías forestales, el clima y las condiciones del terreno (Figura 24).

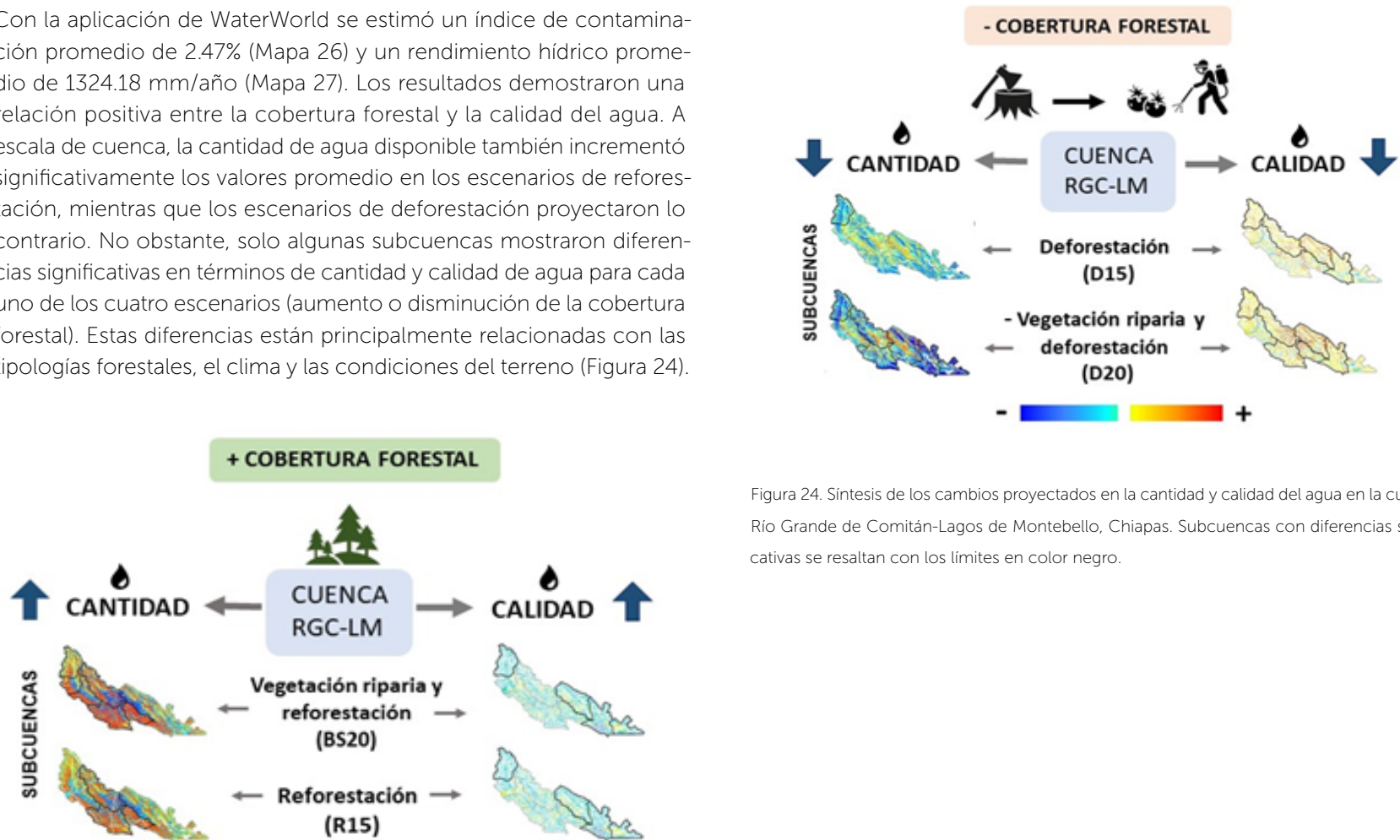


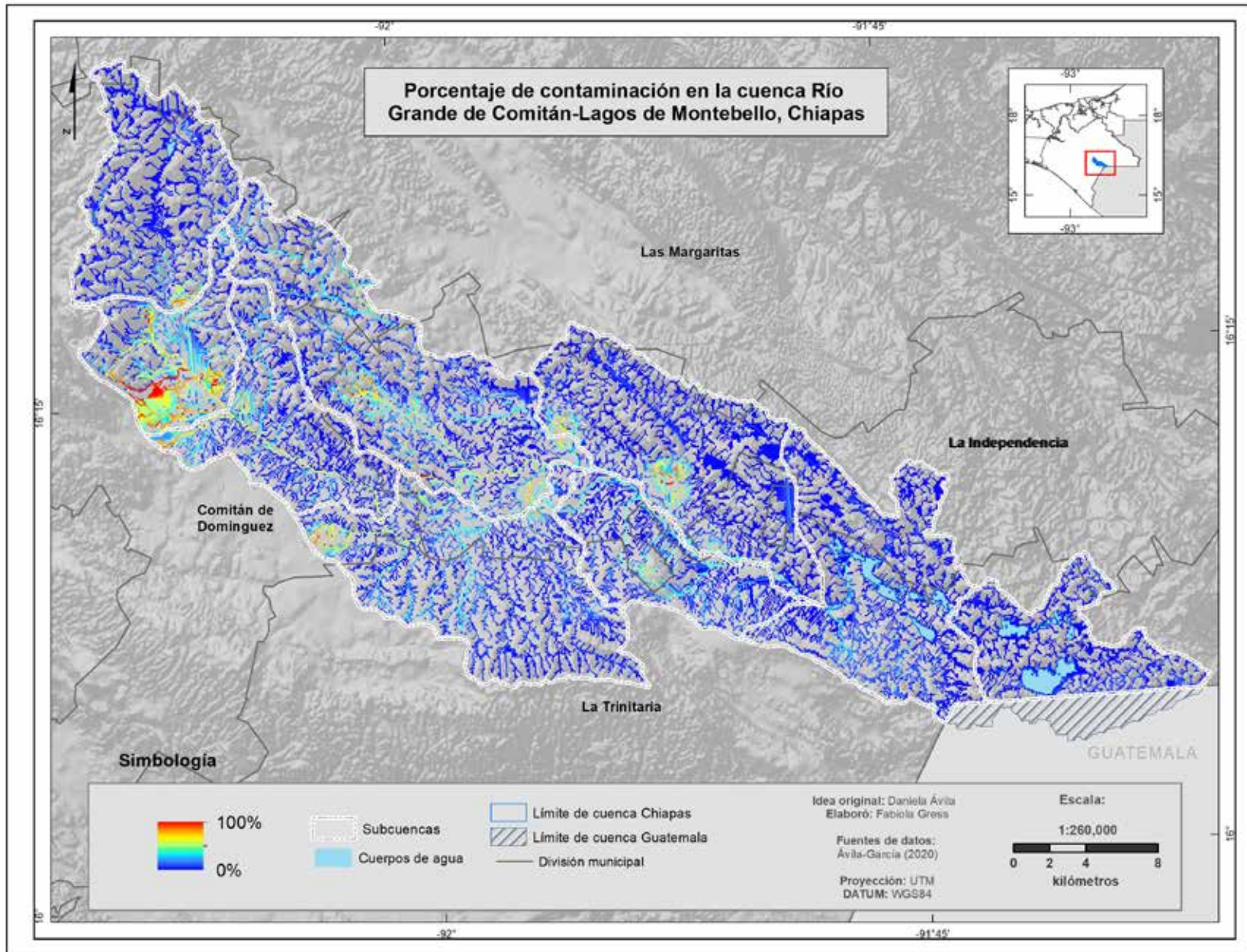
Figura 24. Síntesis de los cambios proyectados en la cantidad y calidad del agua en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas. Subcuencas con diferencias significativas se resaltan con los límites en color negro.

## Conclusiones

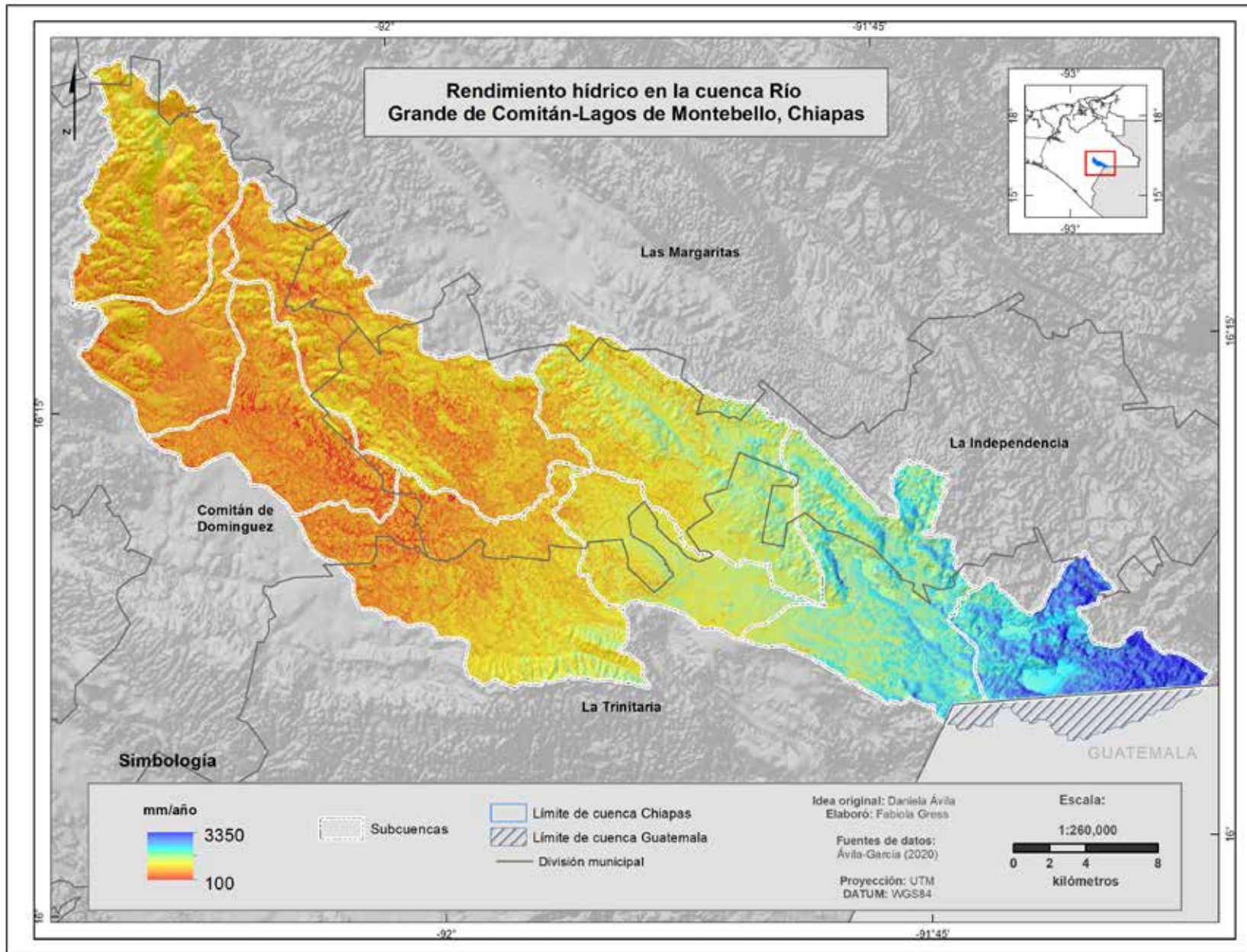
Este estudio proporciona un panorama general del manejo de los recursos hídricos en la cuenca RGC-LM y contribuye al análisis de los posibles impactos hidrológicos como consecuencia de los cambios de uso de suelo a diferentes escalas. Este enfoque también permitió identificar áreas prioritarias para la conservación o restauración de ecosistemas forestales y áreas montañosas. No obstante, el mejoramiento en la provisión y regulación de los SEH a largo plazo requerirá políticas de manejo que consideren soluciones basadas en bosques en conjunto con prácticas productivas sostenibles, acuerdos locales equitativos, incentivos (por ejemplo, programas de pagos por servicios ambientales) y redes de distribución de agua eficiente. Finalmente, es importante reconocer que la restauración de ecosistemas degradados es una tarea compleja que requiere de un diseño adecuado, conocimientos, habilidades, esfuerzos y recursos asociados a una buena planificación e implementación que promueva la participación comunitaria, considerando el contexto y riesgos sociales para un monitoreo y manejo adaptativo a corto y largo plazo.

Aunque se ha hecho énfasis en el mantenimiento de la cobertura forestal –ya sea a través de evitar el cambio de uso de suelo o mediante actividades de reforestación–, vale la pena hacer énfasis en que los servicios ecosistémicos hidrológicos en otras zonas de la cuenca, como la parte media, que es predominantemente agrícola, dependerán en gran medida de la adopción de prácticas de manejo más sostenibles que las actuales. Por ejemplo, la implementación de prácticas agroecológicas que promuevan el control de la erosión, una adecuada infiltración y la recarga de acuíferos serán fundamentales para el mantenimiento del socioecosistema.





Mapa 26. Porcentaje de contaminación proyectado por WaterWorld en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas.



Mapa 27. Rendimiento hídrico (mm/año) en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas.

## Referencias

- Ávila-García, D. (2020). Assessment of water ecosystem services and alternative scenarios to climate change and human impact in neotropical mountains. Doctoral thesis. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/349430857\\_Assessment\\_of\\_water\\_ecosystem\\_services\\_and\\_alternative\\_scenarios\\_to\\_climate\\_change\\_and\\_human\\_impact\\_in\\_neotropical\\_mountains](https://www.researchgate.net/publication/349430857_Assessment_of_water_ecosystem_services_and_alternative_scenarios_to_climate_change_and_human_impact_in_neotropical_mountains)
- Brauman, K. A., Daily, G. C., Duarte, T. K. E. y Mooney, H. A. (2007). The Nature and Value of Ecosystem Services: An Overview Highlighting Hydrologic Services. *Annual Review of Environment and Resources*, 32(1), 67–98.
- Gao, J., Feng L., Gao, H., Zhou, C. y Zhang, X. (2017). The Impact of Land-Use Change on Water-Related Ecosystem Services: A Study of the Guishui River Basin, Beijing, China. *Journal of Cleaner Production*, 163, S148–55.
- Grizzetti, B., Lanzaova, D., Liqueste, C., Reynaud, A. y CardosoA, A. C. (2016). Assessing Water Ecosystem Services for Water Resource Management. *Environmental Science and Policy*, 61, 194–203.
- Hansen, M. C., Potapov, P.V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S.A., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S.V., Goetz, S. J., Loveland, T.R., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Justice, C. O. y Townshend, J. R. G. (2013). High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science*, 342(6160), 850-853.
- Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas (IPBES). (2019). *Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. Bonn, Alemania.
- Laino-Guanes, R., González-Espinosa, M., Ramírez-Marcial, N., Bello-Mendoza, R., Jiménez, F., Casanoves, F. y Musálem-Castillejos, K. (2016). Human Pressure on Water Quality and Water Yield in the Upper Grijalva River Basin in the Mexico-Guatemala Border. *Ecohydrology and Hydrobiology*, 16(3), 149–59.
- Mulligan, M. (2013). WaterWorld: A Self-Parameterising, Physically Based Model for Application in Data-Poor but Problem-Rich Environments Globally. *Hydrology Research*, 44(5), 748–69.
- Mulligan, M. (2020). User Guide for the AGUAANDES (WATERWORLD) Policy Support System [v2.92]. <https://goo.gl/gvTKq6>
- Policy Support (2020). Policy Support Systems. King's College London y AmbioTEK. Disponible en: <https://www.policysupport.org/contact-us>. Consultado en 2020.
- Seifert-Dähnn, I., Barkved, L. J. y Interwies, E. (2015). Implementation of the Ecosystem Service Concept in Water Management - Challenges and Ways Forward. *Sustainability of Water Quality and Ecology*, 5, 3–8.



# **PRESIONES SOCIOAMBIENTALES**

# IV. PRESIONES SOCIOAMBIENTALES

## EXPOSICIÓN A LA CONTAMINACIÓN HÍDRICA<sup>19</sup>

*Jannice Alvarado Velázquez y Paola Massyel García Meneses*

La contaminación de aguas superficiales y subterráneas ocurre principalmente en áreas agrícolas, industriales o densamente urbanizadas (Giri y Singh, 2015). El cambio de uso del suelo y la urbanización en México varían según la región (Gómez-Aíza et al., 2017). En particular, el sureste mexicano es una de las regiones más biodiversas del país y con una alta disponibilidad hídrica superficial. Sin embargo, es también una de las regiones más explotadas y contaminadas por las actividades agrícolas (Landa et al., 1997).

En las últimas tres décadas, la cuenca RGC-LM ha sufrido múltiples presiones socioambientales (CONAGUA, 2009). Específicamente, a partir del año 2003, algunos de los lagos han presentado procesos de degradación, pasando de aguas claras y transparentes a condiciones eutróficas por enriquecimiento de nutrientes, que derivan en la mortalidad de peces y en la generación de olores fétidos (Alcocer et al., 2018). Algunas de las presiones más evidentes son la expansión

urbana, el crecimiento de las áreas agrícolas y la falta de un sistema adecuado de tratamiento de aguas residuales (Alcocer et al., 2018; Alvarado, 2017; CONAGUA, 2009; Mora et al., 2017). Estas actividades han aumentado la presencia de una serie de fuentes contaminantes puntuales y difusas con efectos nocivos para el sistema.

Dependiendo de cómo ingresen los contaminantes al medio acuático, se pueden identificar dos tipos de fuentes potenciales de contaminación (FPC): puntuales y difusas. Las fuentes puntuales son aquellas que descargan directamente sustancias o desechos a un sistema acuático. En cambio, las fuentes difusas no son fáciles de identificar porque generalmente se asocian con cambios de uso del suelo, donde la vegetación natural ha sido removida para dar paso a áreas agrícolas o urbanas, lo que promueve la entrada de contaminantes a través de escorrentía o infiltración (Brusseau, 2019).

---

<sup>19</sup> Este capítulo es una adaptación de los resultados de la tesis de licenciatura de Alvarado, 2015, *Evaluación espacial de la contaminación potencial puntual y difusa en la cuenca del Río Grande de Comitán, Chiapas, UNAM*, y del artículo de Alvarado et al., 2022, *Spatially explicit vulnerability analysis of contaminant sources in a karstic watershed in southeastern Mexico, Applied Geography*, 138.

Las fuentes de contaminación difusa representan un alto riesgo de contaminación en cuencas hidrográficas con características geológicas kársticas, especialmente en regiones con alta precipitación, pendientes pronunciadas y sistemas agrícolas intensivos (Hanson & Trout, 2001; Ongley et al., 2010). En conjunto, estos factores pueden acelerar procesos de degradación de los sistemas acuáticos como la eutrofización, afectando las funciones ecológicas que pueden repercutir tanto ambiental como socialmente. Se ha reconocido que la contaminación de fuentes difusas es la principal causa de la degradación de la calidad del agua superficial y subterránea (FAO, 2017; Sasakova et al., 2018). Ante este escenario, se propuso identificar subcuencas con mayor exposición a la contaminación hídrica a través de un análisis espacial y multicriterio de las fuentes potenciales de contaminación puntual y difusa dentro de la cuenca RGC-LM.

## Métodos

Con el fin de obtener una representación hidrológica de la cuenca RGC-LM, se delimitaron subcuencas utilizando el software Soil and Water Assessment Tool (SWAT), con base en la red hidrológica 1:50,000 (INEGI, 2010). Se consideraron como fuentes difusas a las zonas agrícolas de temporal y riego, los pastizales y las áreas urbanas del mapa de uso del suelo y vegetación 1:250,000 (INEGI, 2013). Para las FPC puntuales, se consideraron sitios de descarga de aguas residuales, pozos de extracción de agua subterránea, industrias, hospitales, gasolineras, sitios de construcción, cementerios y bancos de material. Este listado de fuentes difusas se construyó a través de observaciones de campo a lo largo de la cuenca entre los años 2013 y 2016.

Para calcular la exposición a la contaminación hídrica en cada subcuenca se realizó una ponderación de las FPC utilizando el software Expert Choice (versión 11), que es una herramienta de apoyo para la toma de decisiones multiobjetivo basada en el método

del Proceso Analítico Jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés) (Saaty, 2008). Los resultados del AHP obtenidos de ocho expertos se promediaron aritméticamente y se incorporaron como capas ráster individuales por FPC mediante la herramienta de suma ponderada en ArcGIS de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$E = \sum_i^n W_i X_i$$

Donde: E representa el valor de exposición,  $w_i$  es el peso asignado a cada FPC con AHP y  $x_i$  es el peso de los FPC presentes en cada subcuenca, el cual se calculó de acuerdo con la frecuencia o porcentaje de cada FPC mediante una normalización lineal, en la cual se asignaron valores clasificados del uno al cinco a cada subcuenca en función de la relación de la variable con su valor máximo. Los valores de exposición se clasificaron en cinco categorías mediante el método de *natural breaks* a través de ArcGIS.

## Resultados

De los resultados del AHP (Tabla 12) se desprende que las FPC con mayor peso son la agricultura de riego, la agricultura de temporal (ver Mapa 3) y las descargas de agua residual de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Comitán de Domínguez. Con base en estos resultados se obtuvo un mapa de exposición a la contaminación (Mapa 28), el cual muestra la ubicación de las FPC y el nivel de exposición en cada subcuenca en cinco categorías: muy alta, alta, media, baja y muy baja. El mayor nivel de exposición fue asignado a dos subcuencas, Comitán y La Patria, donde la mayoría de las FPC se asociaron con el área urbana más grande, la ciudad de Comitán. Posteriormente, un nivel alto de exposición se asignó a la subcuenca de Venustiano

Carranza, ya que cuenta con áreas agrícolas y pastizales extensos. Cinco subcuencas fueron asignadas con un nivel medio de exposición. Juznajab fue categorizada con un nivel bajo de exposición al contar con áreas boscosas, pero con presencia de agricultura de temporal. Solo una subcuenca, el Sistema Lacustre de Montaña, mostró una exposición muy baja a la contaminación, el cual se localiza dentro del ANP, y por lo tanto las actividades productivas están más controladas.

Tabla 12. Ponderación de fuentes potenciales de contaminación a través del Proceso Analítico Jerárquico (AHP, por sus siglas en inglés).

Fuentes Potenciales de contaminación	Peso
Agricultura de riego	0.170
Agricultura de temporal	0.152
Descargas de agua residual	0.103
Área urbana	0.076
Ganadería	0.073
Pozos de extracción de agua	0.050
Industria	0.046
Gasolineras	0.035
Sitios de construcción	0.026
Hospitales	0.025
Bancos de arena	0.022
Cementerio	0.022

## Discusión y conclusiones

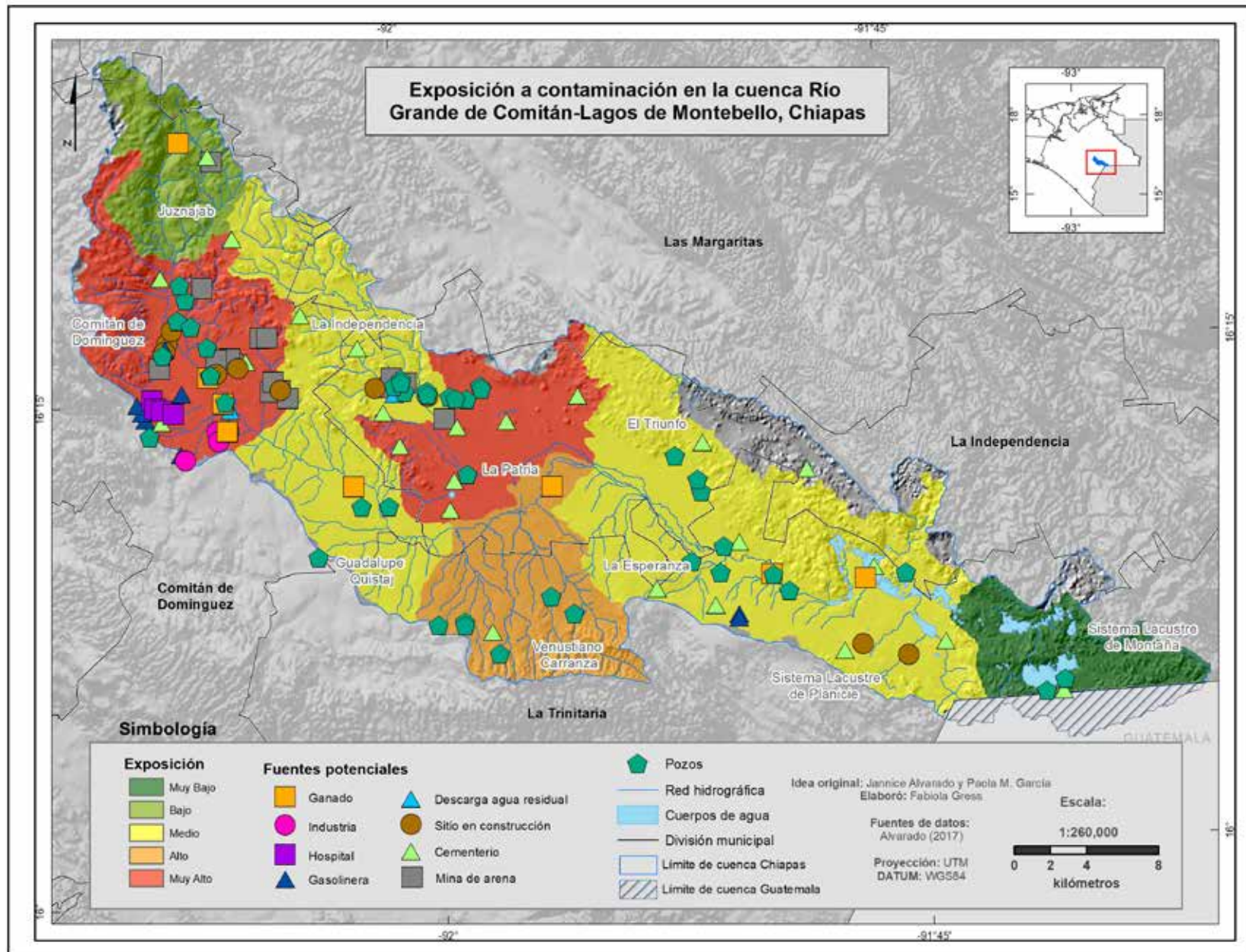
Este estudio se centró en la perspectiva de la protección de la calidad del agua a través de una evaluación de la exposición a la contaminación hídrica a escala de cuenca. Actualmente, la presencia de FPC en la cuenca RGC-LM es heterogénea, lo que deriva en diferentes niveles de exposición a contaminantes, hecho muy relacionado con las zonas urbanas y las zonas de agricultura intensiva. El paisaje de la cuenca ha sido altamente modificado, particularmente durante los últimos 30 años (Alcocer et al., 2018; Mora et al., 2017), debido al cambio de uso del suelo por deforestación, aumento de área agrícola y crecimiento de población, lo que ha derivado en afectaciones a la calidad del agua. Además, las aguas residuales se descargan sin un tratamiento adecuado y desde diferentes fuentes puntuales de contaminación que no son monitoreadas ni controladas.

También es fundamental considerar las fuentes difusas de contaminación y los efectos del cambio de uso de suelo en la afectación de la calidad del agua a nivel de cuenca. El cambio de uso de suelo forestal a agrícola que se ha observado en la cuenca se correlaciona con la alteración de la calidad del agua debido a un aumento en la concentración de materia orgánica que altera la disponibilidad oxígeno y los ciclos fotosintéticos. Asimismo, la pérdida de cobertura vegetal, principalmente por conversión de tierras forestales a agrícolas, deriva en procesos erosivos del suelo: lo hace más vulnerable a lluvias intensas y la ausencia de cobertura vegetal dificulta los procesos de infiltración. Además, debido a la reducción significativa de la infiltración, distintas sales y nutrientes aplicados excesivamente en las labores agrícolas son trasladados por el río Grande a las zonas bajas de la cuenca, lo que ha detonado, y podría seguir detonando, procesos de eutrofización, que a su vez disminuyen la calidad de agua para uso y consumo.

En consecuencia, esta combinación de fuentes difusas y puntuales representa una condición desfavorable para el socioecosistema, el

cual alberga diversas comunidades biológicas y humanas, de las cuales aproximadamente 147 mil personas reciben agua tanto de fuentes superficiales como subterráneas (INEGI, 2020). Aunado a esto, debido al origen kárstico de la cuenca, existe una alta conectividad hidráulica, lo cual implica una alta dispersión de contaminantes que fácilmente pueden llegar a diferentes cuerpos de agua. Por tal motivo, el control y monitoreo de FPC es indispensable para el manejo y toma de decisiones a escala cuenca y subcuenca, siendo aquellas con crecimiento demográfico y agrícola las de atención prioritaria. Este trabajo forma parte del estudio de vulnerabilidad hídrica (Alvarado et al., 2022) que representa el primer paso para análisis futuros donde se incluya la participación de diversos actores de la sociedad civil, instituciones y gobierno a diferentes niveles, de modo que se pueda contar con resultados más realistas y con propuestas de solución para esta importante región.





Mapa 28. Exposición a la contaminación hídrica en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas.

## Referencias

- Alcocer, J., Merino-Ibarra, M., Oseguera, L. A. y Escolero, O. (2018). Anthropogenic impacts on tropical karst lakes: "Lagunas de Montebello," Chiapas. *Ecohydrology*, 11(8), e2029. <https://doi.org/10.1002/eco.2029>
- Alvarado, J., García-Meneses, P. M., Esse, C., Saavedra, P., Morales, R., Bonifaz, R. y Mazari-Hiriart, M. (2022). Spatially explicit vulnerability analysis of contaminant sources in a karstic watershed in southeastern Mexico. *Applied Geography*, 138, 102606. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2021.102606>
- Alvarado, J. (2017). *Evaluación del transporte de sedimentos y la calidad del agua, utilizando SWAT, en el Río Grande de Comitán, Chiapas*. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. <http://132.248.9.195/ptd2015/enero/0724819/0724819.pdf>
- Brusseau, M. L. (2019). Subsurface Pollution. *Environmental and Pollution Science*, 237–259. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814719-1.00015-X>
- Comisión Nacional de Agua (CONAGUA). (2009). *Plan de Gestión de la Cuenca del río Grande-Lagunas de Montebello, Chiapas, México*. [http://transparencia.comitan.gob.mx/ART74/I/DESARROLLO\\_RURAL/plan\\_de\\_gestion\\_cuencas.pdf](http://transparencia.comitan.gob.mx/ART74/I/DESARROLLO_RURAL/plan_de_gestion_cuencas.pdf)
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2017). *Water Pollution from Agriculture: a global review*. Roma. <http://www.fao.org/3/a-i7754e.pdf>
- Giri, S. y Singh, A. K. (2015). Human health risk assessment via drinking water pathway due to metal contamination in the groundwater of Subarnarekha River Basin, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187, 63 <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4265-4>
- Gómez-Aíza, L., Martínez-Ballesté, A., Álvarez-Balderas, L., Lombardero-Goldaracena, A., García-Meneses, P. M., Caso-Chávez, M. y Conde-Álvarez, C. (2017). Can wildlife management units reduce land use/land cover change and climate change vulnerability? Conditions to encourage this capacity in Mexican municipalities. *Land Use Policy*, 64, 317–326. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.03.004>

- Hanson, B. y Trout, T. (2001). Irrigated Agriculture and water Quality Impacts (pp. 342). In W. Ritter & A. Shirmohammadi (Eds.), *Agricultural Nonpoint Source Pollution*. Lewis Publishers.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). Red hidrográfica. Escala 1:50,000. Edición 2.0. *Subcuenca hidrográfica RH30GI R. Comitán. Cuenca R. Lacantún. RH Grijalva - Usumacinta*.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2013). *Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación escala 1:250,000 serie V Conjunto Nacional*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- Landa, R., Meave, J. y Carabias, J. (1997). Environmental Deterioration in Rural Mexico: An Examination of the Concept. *Ecological Applications*, 7(1), 316. <https://doi.org/10.2307/2269426>
- Mora, L., García, L. A., Ramos, Y. R., Bonifaz, R. y Escolero, O. (2017). Description of Chemical Changes in a Large Karstic System: Montebello, Mexico. *Procedia Earth and Planetary Science*, 17, 829–832. <https://doi.org/10.1016/j.proeps.2017.01.053>
- Ongley, E. D., Xiaolan, Z. y Tao, Y. (2010). Current status of agricultural and rural non-point source Pollution assessment in China. *Environmental Pollution*, 158(5), 1159–1168. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2009.10.047>
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83. <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>
- Sasakova, N., Gregova, G., Takacova, D., Mojziso,va, J., Papajova, I., Venglovsky, J., Szaboova, T., Kovacova, S. (2018). Pollution of Surface and Ground Water by Sources Related to Agricultural Activities. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2, 42. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00042>





# ALTERACIONES FISICOQUÍMICAS DE LA CALIDAD DEL AGUA<sup>20</sup>

Adrián Fernández Reyes, Jannice Alvarado Velázquez y Haydeé Vega Sánchez

*Tsa mi nisila nandá ki kia tínchrobáli kjoabiyaa fatsji*

*Si no le haces caso al agua, ni se te ocurra buscarla cuando ya estés en el último suspiro*

Dicho mazateco de Eloxochitlán de Flores Magón, Oaxaca

El deterioro de la calidad del agua es uno de los problemas más importantes a escala global, cuyo efecto se manifiesta en daños a la salud, en la disminución de la producción de alimentos y en alteraciones al funcionamiento de los ecosistemas (Damania et al., 2019). La intensificación de las actividades antrópicas incrementa las presiones en la cantidad y la calidad del agua, que es afectada por el exceso de sólidos disueltos, por las modificaciones de temperatura y pH, así como por la presencia de metales pesados, plaguicidas, compuestos orgánicos, agentes patógenos y organismos productores de toxinas (Carr y Neary, 2008). Debido a esta influencia humana, los estudios de la calidad del agua con un enfoque de cuenca son pertinentes, ya que una cuenca no solo es un espacio donde se lleva a cabo el ciclo hidrológico, sino que encarna un conjunto de aspectos ecológicos, económicos y sociales que son dinámicos, multidimensionales e interdependientes.

En este capítulo abordamos algunos resultados generales sobre los parámetros fisicoquímicos en la cuenca RGC-LM, cuyos datos fueron recabados en ocho distintas campañas de monitoreo que consideraron la temporalidad según los periodos de lluvias y de secas: abril y septiembre de 2013, mayo y agosto de 2014, abril y octubre de 2015, agosto de 2018 y marzo de 2020. Los parámetros fisicoquímicos fueron medidos (por triplicado) *in situ*, con una sonda multiparamétrica YSI EXO2. Para cada una de las campañas se obtuvieron los valores de pH, sólidos disueltos totales (SDT), oxígeno disuelto (OD), turbidez, temperatura y conductividad eléctrica (CE). En este capítulo se presenta un panorama de los resultados correspondientes a los primeros cuatro parámetros.

Se consideraron treinta sitios a lo largo de la cuenca RGLM (aunque no fue posible monitorear todos ellos sistemáticamente durante las ocho campañas). Los sitios de muestreo fueron determinados según su ubicación, el uso de suelo y la posible presencia de fuentes cercanas de contaminación, tanto puntuales como difusas. El enfoque de cuenca con el que se dirigió este trabajo permite abordar la interconexión e interdependencia con las fuentes y usos del agua en el área de estudio. Además, debido a que los parámetros fisicoquímicos del agua están interrelacionados, la descripción de las condiciones y

---

20 Este estudio forma parte del artículo Mazari-Hiriart, 2024. Water quality analysis in a tropical karstic watershed, en proceso. Con financiamiento de CONAGUA-CONACYT 0167603 (2012-2017) y Dirección General de Asuntos del Personal Académico, UNAM, PAPIIT IT200618 (2018-2020).

los efectos de los parámetros fisicoquímicos en este capítulo busca hacerse de manera integral.

En términos generales, las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos cercanos o concentraciones por arriba de los límites máximos permisibles fueron observados en los sitios de muestreo cercanos a las áreas con mayor población –sobre todo por la inoperatividad de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Comitán– o en las áreas de actividad agrícola, donde se presenta un uso más intensivo de agroquímicos. En términos generales, los cultivos más frecuentes en la cuenca son el maíz y el frijol, pero en la zona media de la cuenca existe una producción agrícola más tecnificada, donde es frecuente encontrar cultivos de jitomate –cuya demanda de recursos hídricos y de nutrientes es mayor que otros cultivos–.

En la zona baja de la cuenca, donde se ubica el Parque Nacional Lagunas de Montebello, la categorización de los cuerpos de agua lénticos en lagos de planicie y de montaña (Alvarado, 2017) es útil para comprender los procesos diferenciados que ocurren en los dos complejos lacustres. El primero de ellos es el Sistema Tepancoapan, que comprende a los lagos de planicie y se alimenta tanto por vía subterránea como superficial (vía descarga del río Grande); el segundo es el sistema Candelaria, que incluye a los lagos de montaña, conectados vía subterránea. Los lagos de montaña mantienen una buena calidad de agua, que se refleja en bajos niveles de turbidez, sólidos disueltos totales y de conductividad eléctrica. Sin embargo, los puntos de muestreo que corresponden a lagos de planicie evidencian un mayor impacto que los lagos de montaña.

El pH es una de las variables que se manifiesta transversalmente en los análisis de la calidad del agua, dada su capacidad de mediar e influenciar diversas reacciones químicas. El valor promedio de pH de 8.0 (Mapa 29) se debe a la disolución de rocas calizas por efecto de la presencia de dióxido de carbono y agua que, después de reaccionar para producir

ácido carbónico, disuelven la roca para liberar bicarbonatos y carbonatos al agua, lo que eleva el pH. En muestras de agua con  $\text{pH} < 8.3$ , la alcalinidad se debe a la presencia de bicarbonatos, en tanto que aguas con un  $\text{pH} > 8.3$  deben su pH a la presencia mayoritaria de carbonatos. Hay una interdependencia entre el pH, el dióxido de carbono, el bicarbonato y el carbonato, que, a su vez, tiene implicaciones en los procesos fotosintéticos. En el caso de la cuenca, el pH se mantiene relativamente constante gracias a que la presencia mayoritaria de bicarbonato actúa como un *buffer* que no permite cambios considerables en el pH.

La presencia de sólidos disueltos en el agua se debe tanto a procesos naturales como antropogénicos. La concentración de SDT está definida por los procesos de disolución de minerales y la suspensión de partículas minerales y orgánicas del suelo, así como de otras formaciones geológicas, además de microorganismos acuáticos y materia en descomposición (Mapa 30). Las áreas con depósitos de roca caliza o suelos calcáreos, como en la zona de estudio, tienen una concentración aproximada de 200-400 mg/L (Boyd, 2014). Idealmente, el agua para consumo humano no debe superar los 500 mg/L, y suele considerarse que el agua dulce no sobrepasa los 1,000 mg/L de SDT, que es, en México, el límite máximo permisible estipulado en la NOM-127, tanto en la NOM vigente en el momento del muestreo (DOF, 2000) como en la actual (2022), pues una alta concentración de SDT es inadecuada para riego y uso doméstico. Las fuentes antropogénicas que acarrearán una fuente de minerales que se convierten en sólidos disueltos se deben principalmente a escorrentías agrícolas y a descargas de agua residual urbana e industrial sin tratamiento. De ahí que en la cuenca se observen valores más altos de SDT en la zona agrícola de la cuenca, en los sitios de muestreo correspondientes a la PTAR y en los sitios donde desemboca el río Grande en los lagos de planicie, pues acarrea las sales disueltas a lo largo de su recorrido. El grado de mineralización del agua en cada región es variable: depende de la solubilidad de los minerales, el tiempo y las condiciones en las que el agua permanece en contacto con los minerales que se

disuelven en ella. Por tal motivo, contar con valores de referencia es útil para conocer, grosso modo, las posibles alteraciones de la calidad del agua. En la cuenca RGC-LM, los lagos de montaña pueden servir como línea base para contar con mediciones de las condiciones no impactadas del agua superficial.

Las partículas que no están disueltas, sino en suspensión temporal (o permanente), se conocen precisamente como partículas suspendidas. La presencia de estas partículas puede interferir con la transmisión de la luz en el agua y hacerla menos transparente. La turbidez frena o restringe la penetración lumínica, lo que limita el crecimiento de las especies acuáticas y afecta la salud del ecosistema y actividades económicas como la pesca o el turismo, ya que un agua turbia se vuelve indeseable y con ello pierde su valor estético para la recreación (Mapa 31). Además, un cuerpo de agua con turbidez más alta presenta mayor temperatura, dado que las partículas suspendidas absorben calor. Este efecto tiene influencia en el crecimiento de especies que podrían ser indeseables (algas con potencial tóxico, por ejemplo). Las fuentes naturales de las partículas en suspensión son la erosión de suelo, la caída de hojas y otro material externo, la presencia de plancton y bacterias, así como los restos de organismos acuáticos muertos (detritus). Las fuentes antropogénicas son sedimentos acarreados de tierras agrícolas erosionadas y residuos domésticos e industriales que permanecen sin disolver en el agua; de ahí sus altos valores en los cuerpos de agua cercanos a la PTAR y a las zonas agrícolas donde hay mayor uso de agroquímicos.

El oxígeno disuelto (OD) es uno de los parámetros fisicoquímicos más importantes en términos de salud de un ecosistema (Mapa 32). Es fundamental para llevar a cabo el metabolismo aeróbico y es esencial en los equilibrios de óxido-reducción que puedan ocurrir en el sistema: si hay una baja concentración de OD, la descomposición de materia orgánica por organismos anaeróbicos libera nitritos, amonio, sulfuro de hidrógeno y otros compuestos que, en combinación con la

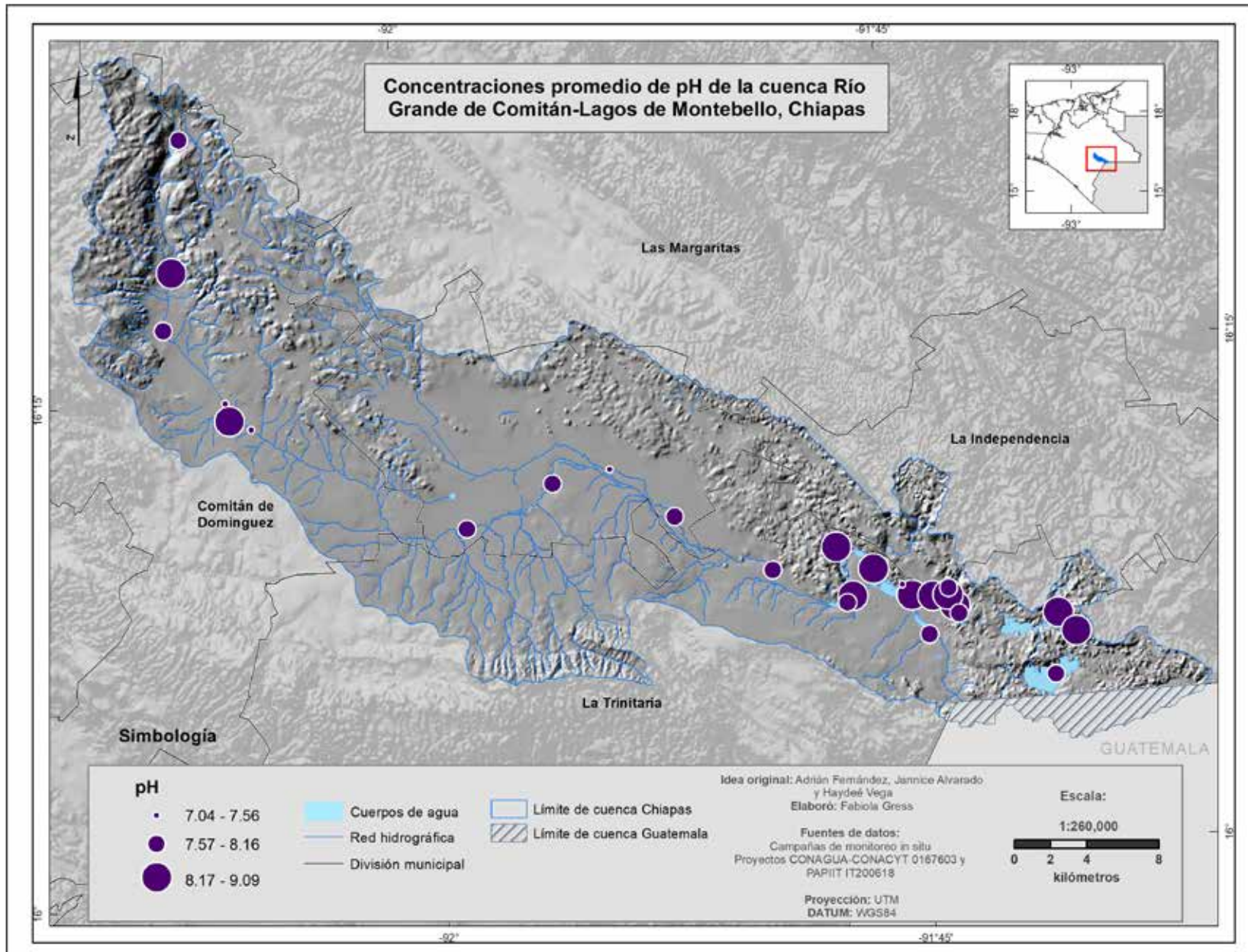
ausencia de oxígeno, pueden generar efectos graves en la estructura y función de los ecosistemas acuáticos. La disponibilidad de oxígeno es un aspecto de gran importancia en los ecosistemas acuáticos, dado que el volumen del gas existente en agua y en aire es muy distinto (casi 30 veces más abundante en aire). De los datos sobre OD que se han recabado, Haro (2017) abordó la alteración de la calidad del agua en la comunidad tanto de invertebrados acuáticos como peces, y en algunos sitios de la zona media de la cuenca no se detectaron especies en los muestreos (revisar capítulo Ictiofauna). Esto está correlacionado con las afectaciones al OD derivadas de la alteración antropogénica de la calidad del agua. Como "regla", se dice que los organismos acuáticos sobreviven mientras la concentración de OD no se encuentre por debajo de un 50% de saturación (Boyd y Tucker, 2014). Usualmente, los estándares indican que la concentración de OD debe ser mayor a 4 mg/L, incluida el agua que se emplea para irrigación. En estas condiciones de OD sobreviven especies que pueden soportar "alta contaminación" o, al menos, alteraciones de la calidad del agua que disminuyen notablemente la disponibilidad de oxígeno. El resultado es que en los ecosistemas se reduce la biodiversidad y se vuelven inestables tanto para la reproducción de la vida como para el uso y consumo humano.



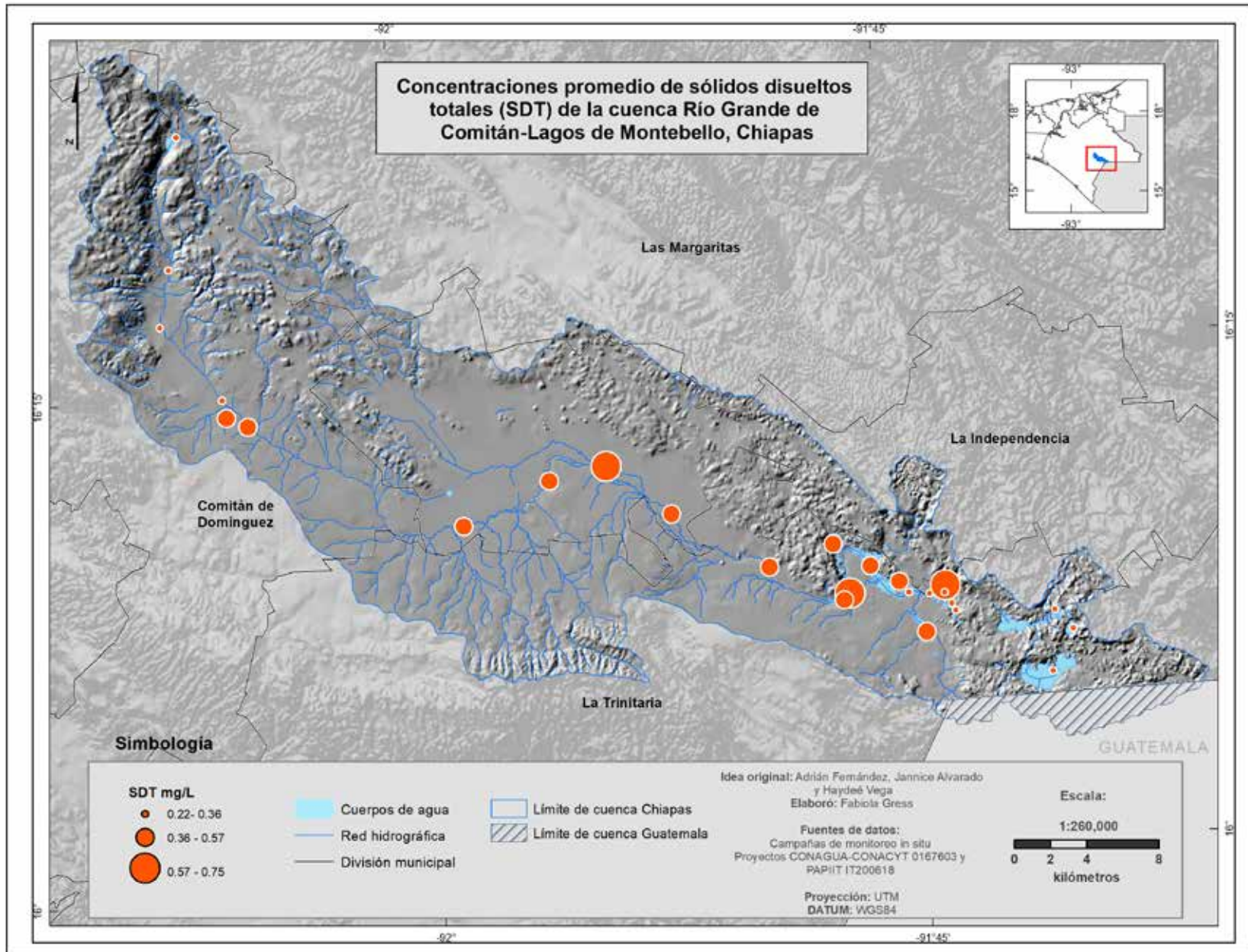
## Conclusión

El análisis de la calidad del agua de esta región permite concluir que las presiones más fuertes sobre los recursos hídricos de la cuenca – para uso y consumo humano, así como para riego– se derivan de los aportes de aguas residuales sin tratamiento, provenientes de Comitán y de las localidades aledañas que no cuentan con drenaje, así como de los efectos derivados de la acelerada tasa de cambio de uso de suelo de forestal a agrícola. Las consecuencias de esta dinámica se perciben con mayor fuerza en la zona baja de la cuenca cercana al PNLM. En particular, las dinámicas de alteración a la calidad del agua en la zona alta y media de la cuenca afectan primordialmente a los lagos de planicie, donde se observan las mayores alteraciones de la calidad del agua. Por ello, es importante mantener una visión integral de la forma en que se relacionan y vinculan entre sí los parámetros fisicoquímicos con las actividades socioeconómicas que se llevan a cabo en la región.

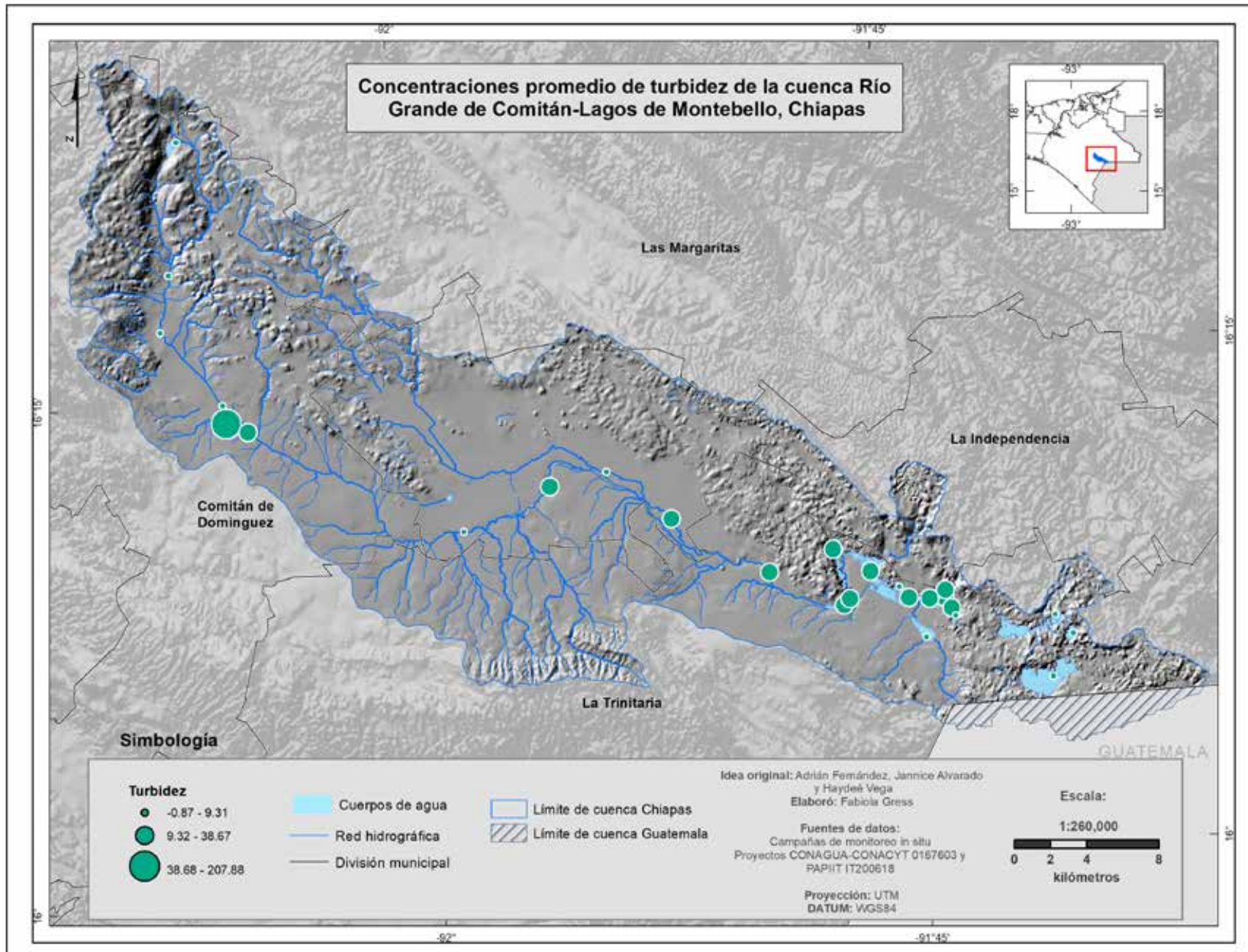
Los análisis de la calidad del agua responden tanto a una aspiración como a una exigencia espaciotemporal: satisfacer las necesidades de actuales y futuras generaciones sin el deterioro de los sistemas y procesos que permiten la vida. En este sentido, es fundamental mantener un monitoreo constante de los parámetros fisicoquímicos de la calidad del agua a largo plazo y complementarlos con estudios de la concentración de nutrientes (N y P) y de bioindicadores que permitan conocer con mayor precisión el estado de la calidad del agua y sus implicaciones a nivel de cuenca. Por supuesto, la participación de diversos actores, a nivel local y regional, es fundamental para evitar un mayor deterioro de la calidad del agua de la región.



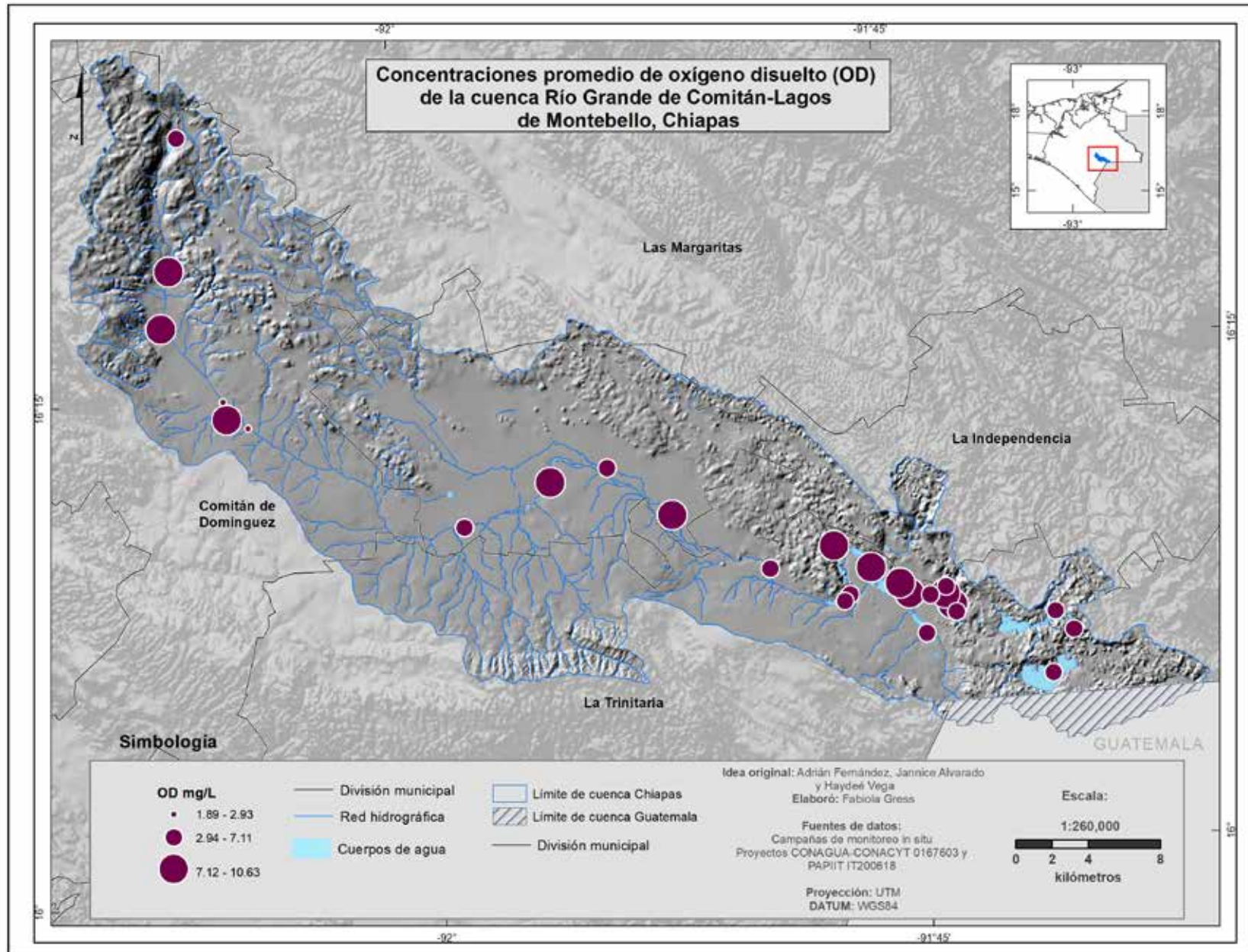
Mapa 29. Valores promedio de pH durante 2013 a 2020 en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas.



Mapa 30. Concentraciones promedio de sólidos disueltos totales (SDT) durante 2013 a 2020 en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas



Mapa 31. Concentraciones promedio de turbidez durante 2013 a 2020 en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas.



Mapa 32. Concentraciones promedio de oxígeno disuelto durante 2013 a 2020 en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas.

## Referencias

- Alcocer, J., Merino-Ibarra, M., Oseguera, L. y Escolero, O. (2018). Anthropogenic impacts on tropical karst lakes: "Lagunas de Montebello", Chiapas. *Ecohydrology*, 11(8), e2029.
- American Public Health Association (APHA). (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23 ed. American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington, D.C.
- Alvarado, J. (2017). *Evaluación del transporte de sedimentos y la calidad del agua, utilizando SWAT, en el Río Grande de Comitán, Chiapas*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México].
- Boyd, C. E. y Tucker, C. S. (2014). Handbook for aquaculture water quality. Craftmaster Printers, Auburn. Alabama, USA:
- Carr, G. M. y Neary, J. P. (2008). Water Quality for Ecosystem and Human Health. UNEP/Earthprint.
- Comisión Federal de Electricidad (CFE). (2012). *Estudio para conocer la calidad de agua de las Lagunas de Montebello, Chiapas. Primera etapa: diagnóstico*. GEIC, Ingeniería Civil y Ciencias de la Tierra. Informe técnico. México.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2009). *Plan de gestión de la cuenca del Río Grande-Lagunas de Montebello, Chiapas, México*. Informe técnico, México. [https://transparencia.comitan.gob.mx/ART74/I/DESARROLLO\\_RURAL/plan\\_de\\_gestion\\_cuen-cas.pdf](https://transparencia.comitan.gob.mx/ART74/I/DESARROLLO_RURAL/plan_de_gestion_cuen-cas.pdf)
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). (2011). *Parque Nacional Lagunas de Montebello: monitoreo de parámetros de la calidad del agua*. Programa de monitoreo de la calidad del agua. Informe técnico. Comitán, Chiapas, México. [https://iefectividad.conanp.gob.mx/i-efectividad/FSlyPS/PN%20Lagunas%20de%20Montebello/Contexto/Inves\\_Mon/Estudio\\_Parametros\\_del\\_Agua\\_Montebello.pdf](https://iefectividad.conanp.gob.mx/i-efectividad/FSlyPS/PN%20Lagunas%20de%20Montebello/Contexto/Inves_Mon/Estudio_Parametros_del_Agua_Montebello.pdf)
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (CONANP-SEMARNAT). (2007). *Programa de Conservación y Manejo del Parque Nacional Lagunas de Montebello*. 1ª edición. Ciudad de México: CONANP-SEMARNAT. [https://simec.conanp.gob.mx/pdf\\_libro\\_pm/167\\_libro\\_pm.pdf](https://simec.conanp.gob.mx/pdf_libro_pm/167_libro_pm.pdf)
- Cotler, H. y Pineda, R. (2009). Manejo integral de cuencas en México: ¿hacia dónde vamos? *Boletín del Archivo Histórico del Agua*, 16-21.
- Damania, R., Desbureaux, S., Rodella, A. S., Russ, J., Zaveri, E. (2019). *Quality Unknown: The Invisible Water Crisis*. Washington, D.C.: World Bank. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1459-4>
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2000). Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua. Publicación 20 de junio de 2000. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=2063863&fecha=31/12/1969#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=2063863&fecha=31/12/1969#gsc.tab=0)
- Durán, L. y Escolero, O. (2014). Cartografía geomorfológica a escala 1:50,000 del Parque Nacional Lagunas de Montebello. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 66(2), 263-277.

Estrada, H., Jiménez, J. y Álvarez, O. (2019). El karst de Yucatán: su origen, morfología y biología. *Acta Universitaria*, 29.

Grey, D. y Sadoff, W., (2007). Sink or Swim? Water Security for Growth and Development. *Water Policy*. 9(6). 545–571548.







# ALTERACIONES MICROBIOLÓGICAS DE CALIDAD DEL AGUA<sup>21</sup>

Ana Cecilia Espinosa García y Elisa Alejandra Hernández Magaña

En zonas como la cuenca Río Grande de Comitán-Lagunas de Montebello (RGC-LM), la presencia de material fecal en el socioecosistema está asociada a su funcionamiento, el cual incluye la recepción de aportes de humanos a través de la descarga de agua residual de sistemas formales e informales y fecalismo al aire libre (Alvarado, 2015), así como a las heces de animales domésticos (ganado y animales de traspatio) y de fauna silvestre.

Debido al interés en la condición en la que se encuentra la calidad microbiológica del agua en la cuenca RGC-LM, se diseñó y realizó un monitoreo bacteriológico en agua superficial y subterránea. Se realizaron mediciones de las cargas de bacterias coliformes fecales (CF) (Mapa 33 y 34) y enterococos fecales (EF) (Mapa 35 y 36) en muestras de agua colectadas en 21 puntos durante las temporadas de secas y de lluvias de 2015 (distribuidas como zona A, cuenca alta; zona B, cuenca media; zona C, lagos de planicie en la cuenca baja; zona D, lagos de montaña en la cuenca baja). Para la detección de bacterias se utilizó el método de filtración a través de membrana (APHA, 2012), para finalmente reportar los resultados en Unidades Formadoras de Colonia por 100 mL (UFC/100 mL).

Las referencias nacionales son las normas oficiales mexicanas: NOM-003-SEMARNAT-1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público (DOF, 1998) y la NOM-127-SSA1-2021, *Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua* (DOF, 2022). Las cargas bacterianas que establece como límite permisible la NOM-003-SEMARNAT-2021 son de 1,000 UFC/100 mL, mientras que la NOM-127-SSA1-2022 establece un límite permisible de 0 UFC/100 mL. En ambos casos, el límite es considerado para coliformes fecales o *Escherichia coli*. En este trabajo se analizó de forma complementaria la presencia de enterococos fecales.

La detección de bacterias fecales puede indicar la posible presencia de patógenos gastrointestinales cuya fuente puede ser contaminación fecal. Si bien las normas establecen una referencia microbiológica basada en bacterias fecales, es interesante considerar que las enfermedades gastrointestinales pueden ser causadas por una amplia diversidad de microorganismos patógenos (Hernández-Magaña, 2015; WHO, 2017), por lo que es recomendable la medición de indicadores que al menos exploren, adicionalmente a las bacterias, la presencia de virus y parásitos.

---

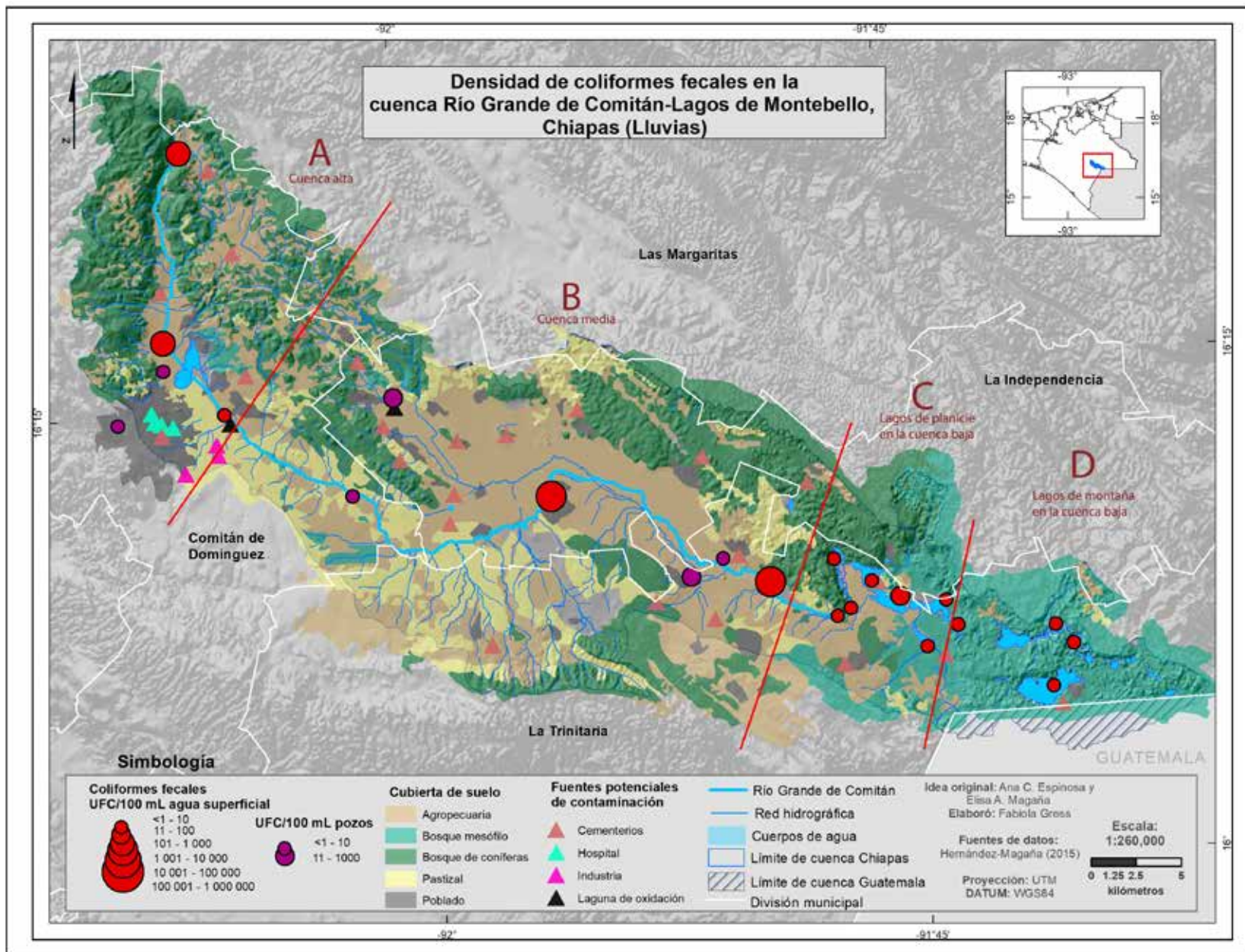
21 La información contenida en este capítulo proviene de la tesis de licenciatura de Hernández-Magaña A. E., 2015. Microorganismos en agua como indicadores del proceso de degradación de la cuenca del río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas, México. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.

En los mapas se muestran los hallazgos en cuanto a la presencia de indicadores microbiológicos de contaminación fecal, lo cual podría estar asociado con un riesgo de salud para la población expuesta al agua, como pueden ser las comunidades que se abastecen de agua, principalmente superficial, y que se aprovecha para uso doméstico. Como se observa en los mapas, la densidad de bacterias fecales fue más alta en la zona media de la cuenca (indicada como B en los mapas). Estas tendencias se mantienen durante la temporada de secas y lluvias, aunque las cantidades incrementaron para la temporada de lluvias, lo que puede estar asociado al arrastre y escurrimiento superficial (Leight y Hood, 2018). Cabe destacar que los sitios con cargas de bacterias fecales más altas se localizan en zonas de la cuenca con mayor cantidad de actividades antropogénicas. Asimismo, se resalta la diferencia de las cargas bacterianas en agua subterránea, las cuales fueron menores en general.

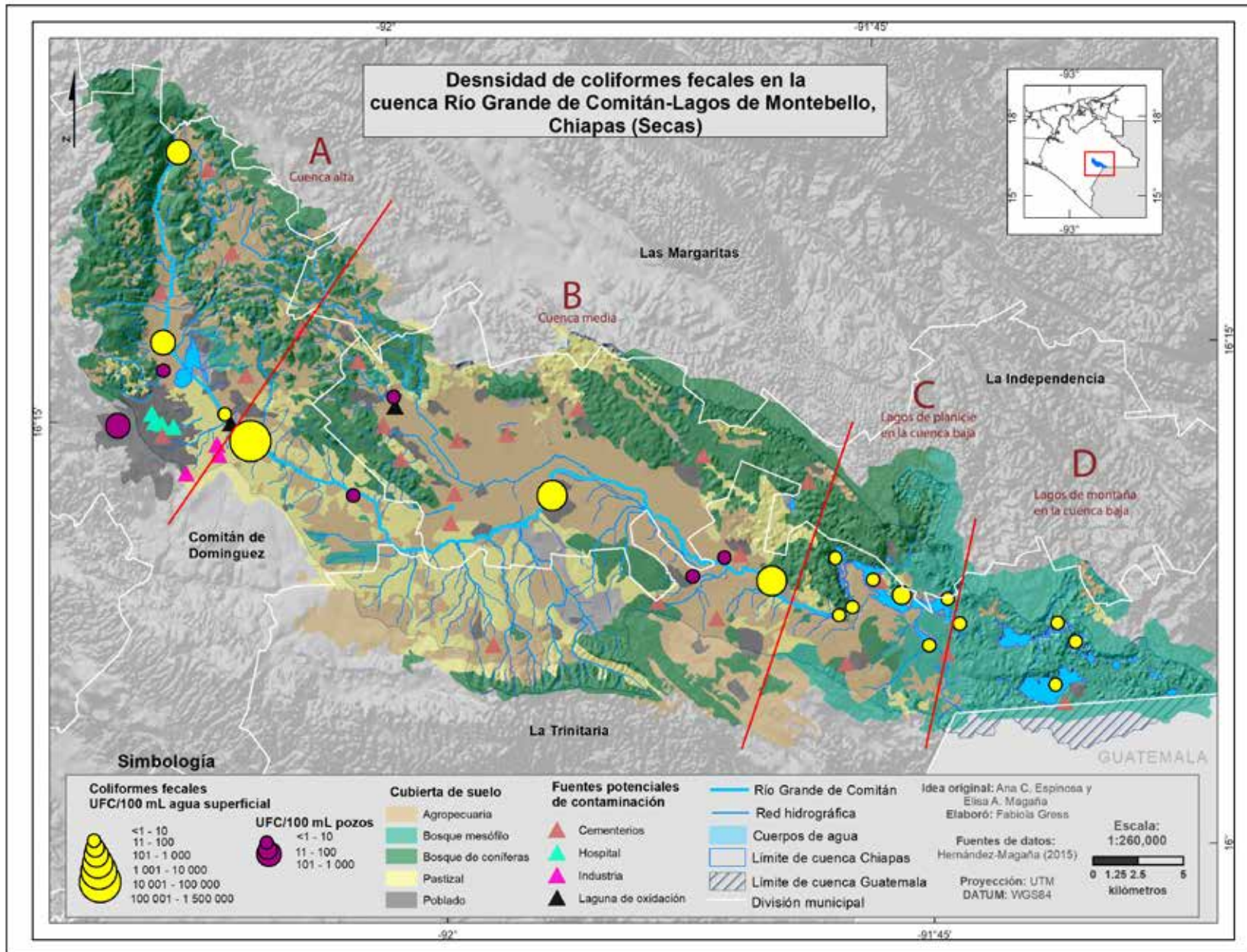
En particular, en la zona alta de la cuenca destacan las alteraciones a la calidad del agua por la inactividad e inoperatividad de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Comitán. En consecuencia, en el efluente que desemboca en el río Grande se observan no solamente valores muy altos de sólidos disueltos totales y muy bajas concentraciones de oxígeno disuelto, sino también una importante presencia de indicadores microbiológicos de contaminación fecal. Estos hallazgos nos llevan a enfatizar en la importancia tanto de reanudar las operaciones de la PTAR de Comitán como buscar, a futuro, la instalación de otras plantas de tratamiento de agua en distintos puntos de la región que pudieran beneficiarse de ello.

Considerando como referencia la normatividad vigente (NOM-127-SSA1-2021), en varios sitios de muestreo de agua superficial se rebasan por mucho los límites máximos permisibles de bacterias fecales (CF y EF), por lo que el agua superficial en esos sitios no es apta para consumo humano, a pesar de que fuera mejorada su calidad por medios como filtración y desinfección. Únicamente sería posible mejorar su calidad en los sitios donde el agua superficial tiene cargas bacterianas menores a 1,000 UFC/100 mL.

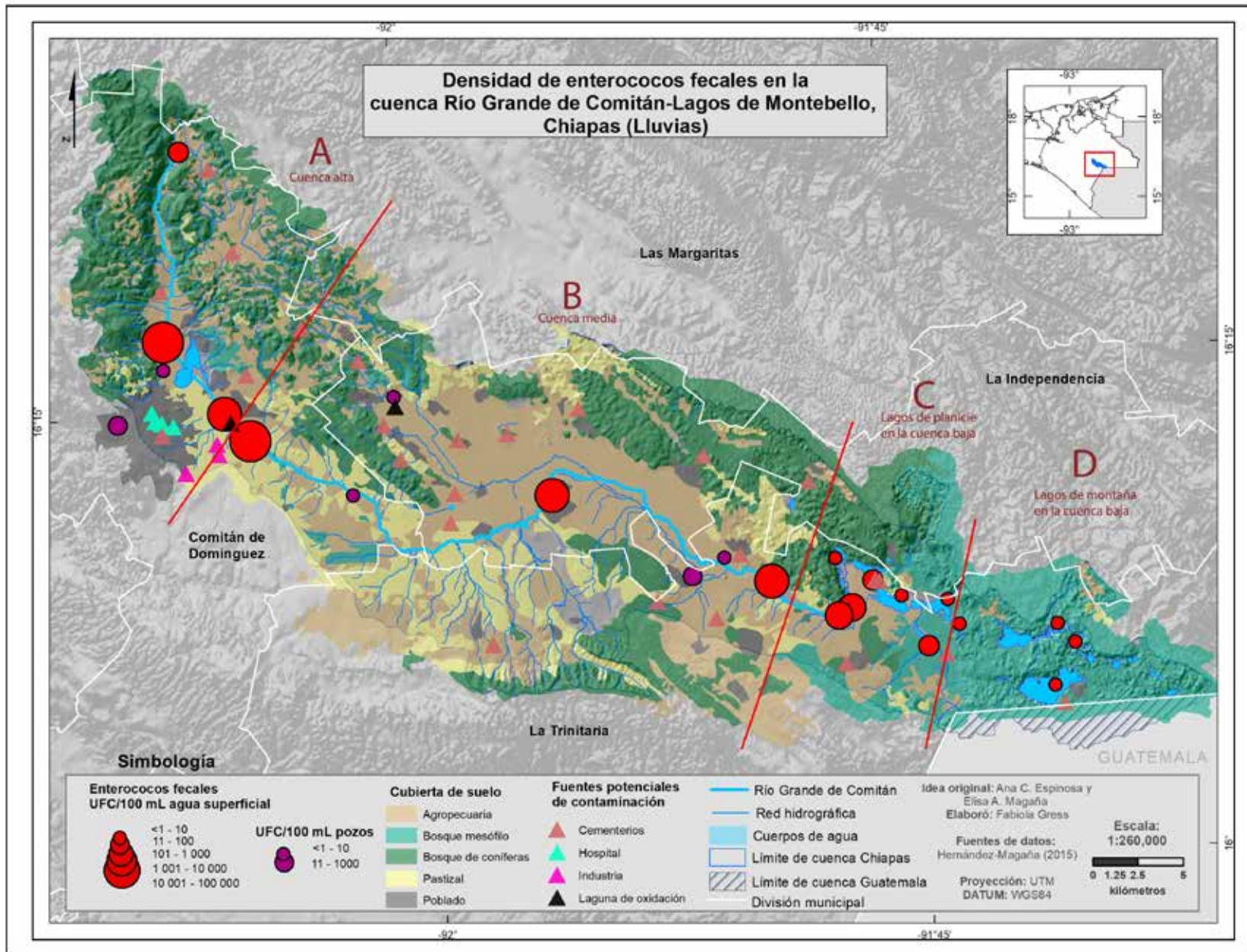
Con respecto a la normatividad para reúso de agua residual tratada (NOM-003-SEMARNAT-1997), en los sitios donde se registraron cargas bacterianas mayores a 1,000 UFC/100 mL, el agua no es apta para reúso; por ejemplo, para riego de productos agrícolas que se consumen crudos. Se puede concluir que es agua residual que no ha recibido tratamiento para ser reusada, lo cual constituye un manejo no sostenible del recurso.



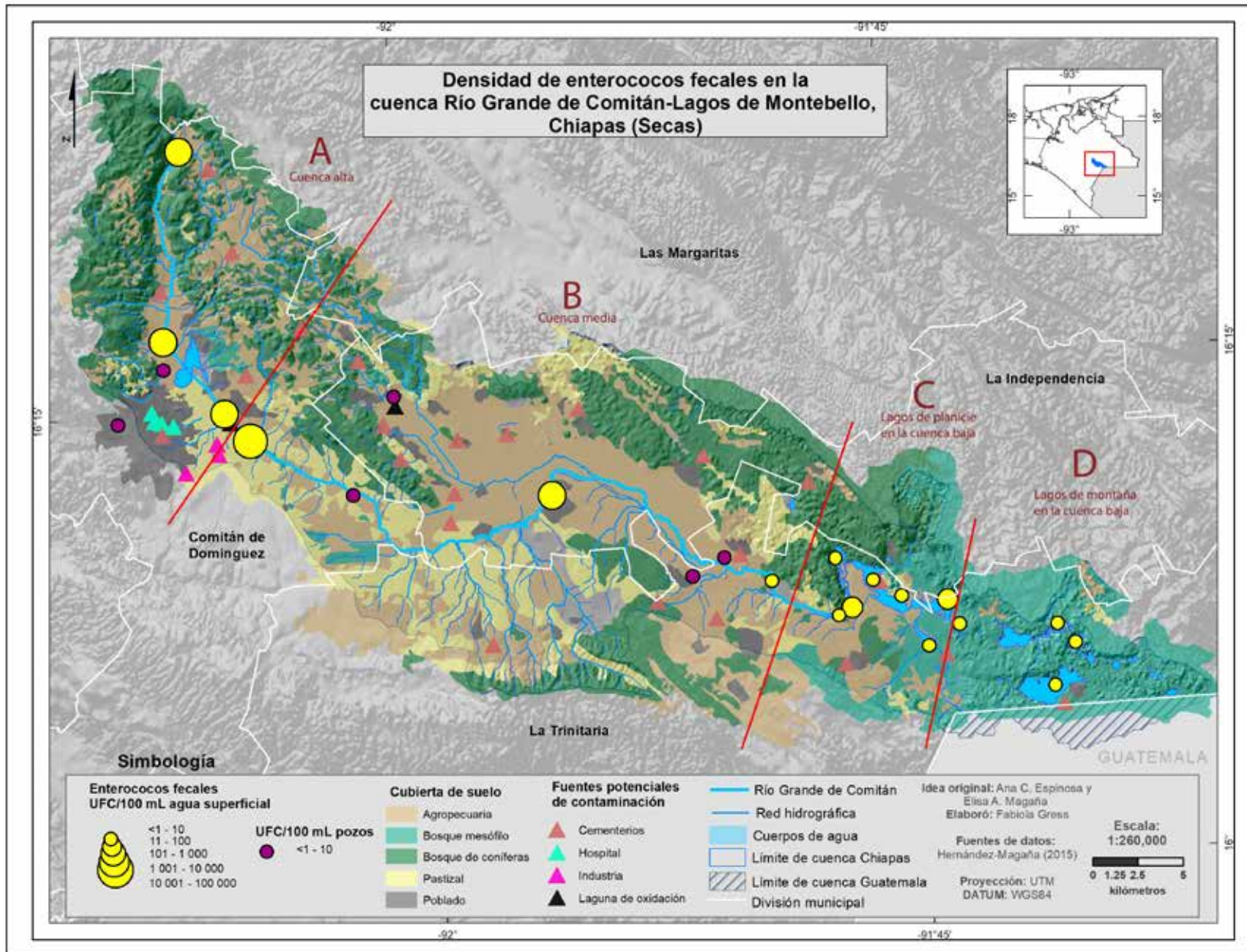
Mapa 33. Densidad de coliformes fecales en la temporada de lluvias en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas.



Mapa 34. Densidad de coliformes fecales en la temporada de secas en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas.



Mapa 35. Densidad de enterococos fecales en la temporada de lluvias en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas.



Mapa 36. Densidad de enterococos fecales en la temporada de secas en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas.

## Referencias

- Alvarado-Velázquez, J. (2015). Evaluación espacial de la contaminación potencial puntual y difusa en la cuenca del Río Grande de Comitán, Chiapas. Tesis Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México].
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (1998). Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997. Que Establece Los Límites Máximos Permisibles de Contaminantes Para Las Aguas Residuales Tratadas Que Se Reúsen En Servicios al Público; Diario Oficial de la Federación: Ciudad de México. 22 de abril de 1998.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2022). Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad del agua. 24 de agosto de 2021.
- Hernández-Magaña, A. E. (2015). Microorganismos en agua como indicadores del proceso de degradación de la cuenca del río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas, México. [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México].
- Leight, A. K., and Hood, R. R. (2018). Precipitation thresholds for fecal bacterial indicators in the Chesapeake Bay. *Water Research*, 139, 252–262.
- World Health Organization (WHO). (2017). Guidelines for Drinking-Water Quality; 4th Incorporating the First Addendum; World Health Organization: Geneva.



## PRESENCIA DE CIANOBACTERIAS<sup>22</sup>

Javier Carmona Jiménez, Angela Caro Borrero y Aida Sánchez Salas

Las cianobacterias son un componente común y abundante en diversos cuerpos de agua de todo el mundo y, en general, la proliferación de crecimientos masivos es una consecuencia del enriquecimiento de nutrientes en el agua, principalmente fósforo y nitrógeno. La mayor frecuencia en la formación de floraciones de cianobacterias a nivel mundial representa una amenaza importante tanto para el ambiente como para la salud pública, ya que son capaces de producir toxinas altamente nocivas para el ser humano. En este contexto, es fundamental el análisis de su diversidad y gestión de riesgos, así como el estudio de procesos de tratamiento de agua específicos. El presente capítulo pretende describir la diversidad de cianobacterias que potencialmente pueden producir toxinas en distintos cuerpos de agua de la cuenca RGC-LM.

En el mes de agosto de 2019 se visitaron y colectaron muestras de agua superficial en seis lagos, cuatro ríos y un estanque de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de la ciudad de Comitán (Mapa 37). Los sitios de colecta fueron seleccionados por su relación directa con alguna actividad turística o por la cercanía a alguna zona urbana o agrícola. En cada sitio se registraron los parámetros físico-químicos proxy de la calidad del agua (Tabla 13). La identificación taxonómica de las cianobacterias se realizó siguiendo los criterios de Anagnostidis y Komárek (1988) y Komárek y Anagnostidis (1999, 2013), y se cuantificó la abundancia relativa de cada taxón con una

cámara Neubauer. En los distintos cuerpos de agua se registró una temperatura relativamente homogénea de 23 a 25.7°C, pH de 7.2 a 9.0, conductividad específica de 273 a 1,476  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , saturación de oxígeno entre 3.4 y 10.3 mg/L, nitritos entre 0.79 a 90.1 mg/L<sup>-1</sup>, amonio entre 0.02 y 6.71 mg/L, y coliformes totales con un gradiente de valores muy amplio (3 a  $10 \times 10^6$  UFC).

Estos cambios estuvieron posiblemente relacionados con perturbaciones humanas que se desarrollan dentro de los cuerpos de agua y en zonas aledañas. Entre las perturbaciones más importantes que se registraron en los sitios de estudio se pueden enlistar las descargas de aguas residuales, una intensa actividad agrícola y el transporte de turistas a lo largo del sistema lacustre. En este gradiente de calidad tanto del agua como del ecosistema, que fue desde zonas muy impactadas como la PTAR de la ciudad de Comitán a zonas conservadas como los lagos de Bosque Azul y Ensueño, se reconocieron ocho taxa (Tabla 14).

La población más abundante y con mayor distribución en los lagos fue *Planktothrix* sp., seguida de *Microcystis* sp., *Cylindrospermopsis* sp. y *Limnothrix* sp. Los ríos también presentaron abundantes poblaciones de cianobacterias en sitios con elevada concentración de nutrientes: la primera, *Ancylothrix* sp., en el efluente de la planta de tratamiento de la ciudad de Comitán; y la segunda, *Phormidium* sp., en Balamtetik. El lago Ensueño fue el único sitio sin registro de

---

22 La información contenida en este capítulo es una síntesis del trabajo de tesis de licenciatura de Sánchez Salas, A.I. (2021). *Ecología y distribución de cianobacterias en los lagos del Parque Nacional Lagunas de Montebello, Chiapas, y su potencial riesgo toxicológico*, UNAM. Financiamiento proveniente del proyecto TalGenTox-Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo 2020-2022.

cianobacterias. Dicho lago tiene un control estricto de actividades humanas, ya que está destinado al suministro de agua de las comunidades vecinas. De acuerdo con el valor de la concentración de células por litro (Cantoral et al. 2017), se presentaron floraciones de cianobacterias en la PTAR de Comitán, Chimpotrero, San Lorenzo, Chaj Chaj y Balamtetik, integradas por poblaciones de *Planktothrix* sp., *Microcystis* sp. y *Cylindrospermopsis* sp.

Todas las poblaciones de cianobacterias registradas en este estudio han sido reportadas como potenciales productoras de cianotoxinas (Muñoz et al., 2020). Las poblaciones dominantes en los lagos pueden ser potencialmente productoras de microcistinas, que son toxinas que poseen una actividad primaria sobre el hígado de vertebrados, incluido el ser humano. En ríos, las poblaciones de *Phormidium* sp. son potencialmente productoras de anatoxinas y son potentes neurotóxicos. La Organización Mundial de la Salud calculó un valor guía para la ingesta diaria permisible de microcistinas en agua para consumo humano de 1 µg/L. Esta referencia muestra la importancia de incluir a las microcistinas dentro de la normativa de agua, ya que tienen un efecto directo sobre la salud pública si se consume agua que no haya pasado por un proceso de remoción previa de las células de cianobacterias. Sin embargo, las acciones preventivas siempre serán las más importantes para lograr la disminución de la descarga de nutrientes provocada por la agricultura y las aguas residuales presentes en los distintos ecosistemas acuáticos de la cuenca RGC-LM.

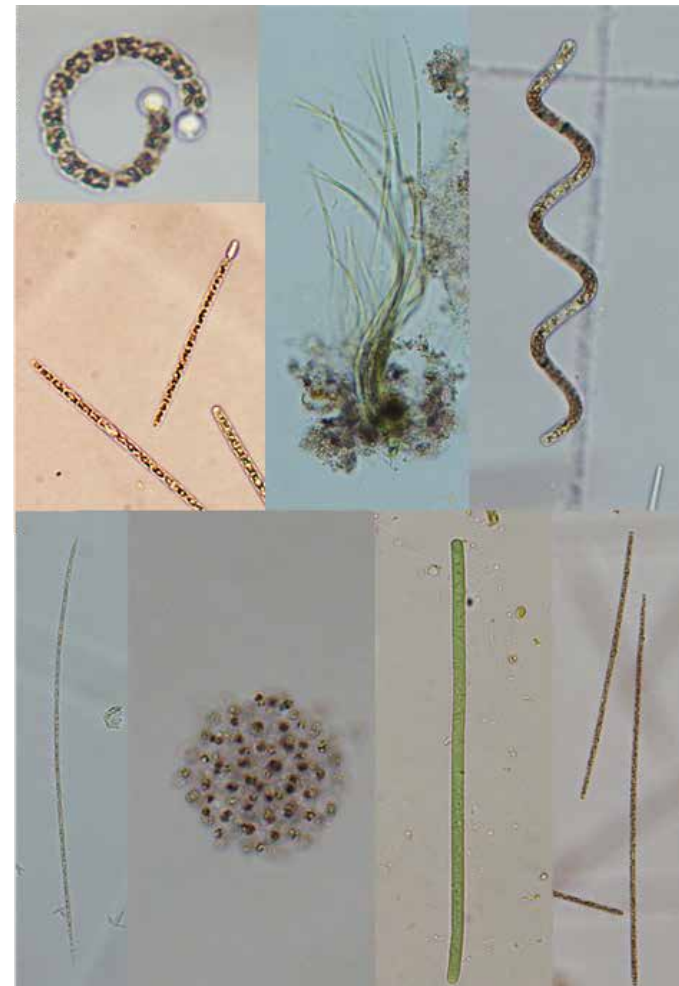


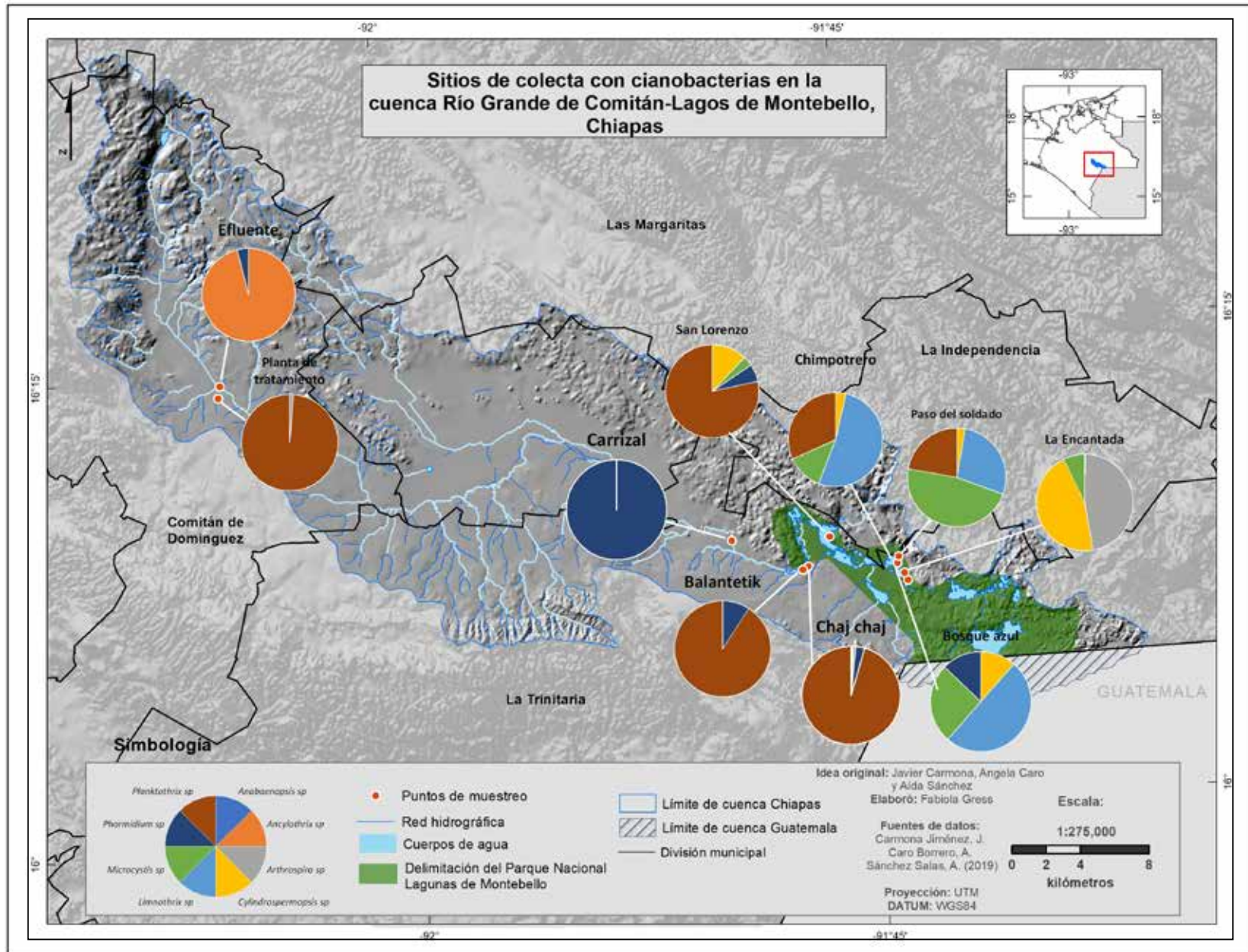
Figura 25. Del 1-8 Poblaciones de cianobacterias en los sitios de colecta en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello. Fig. 1. *Anabaenopsis* sp. Fig. 2. *Ancylothrix* sp. Figura 3. *Arthrospira* sp. Fig. 4. *Cylindrospermopsis* sp. Fig. 5. *Limnothrix* sp. Fig. 6. *Microcystis* sp. Fig. 7. *Phormidium* sp. Fig. 8. *Planktothrix* sp. Escala de la barra 10 µm.

Tabla 13. Parámetros físicos y químicos de los sitios de estudio en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas.

Sitio	Temperatura (°C)	pH	Conductividad específica (µS/cm)	Oxígeno disuelto (mg/L)	N-NH <sub>4</sub> (mg/L)	N-NO <sub>3</sub> (mg/L)	Coliformes fecales (UFC/100 mL)
Efluente	25.7	7.3	1476	8.8	0.63	90.1	10 <sup>6</sup>
PTAR	24.8	9.1	684	10.6	0.41	5.45	SM
El Carrizal	23.7	7.9	602	7.7	3.18	30	885
Chimpotrero	25.2	8.3	530	7.8	0.07	0.83	25
Ensueño	24.8	8.2	273	7.1	0.02	0.59	3
Bosque Azul	25.2	8.2	472	6.9	0.05	0.79	18
La Encantada	24.9	8.1	448	7	6.71	25	32
San Lorenzo	25.5	8.7	589	9.7	0.08	15.5	97
Paso del Soldado	25	7.9	469	4.5	0.08	0.81	192
Chaj Chaj	24	8.6	620	5.1	0.22	3.24	126
Balamtetik	23.1	8.5	657	3.4	0.58	19	317

Tabla 14. Riqueza y abundancia relativa (cel/ml) de las cianobacterias en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas.

Sitio/Taxa	<i>Anabaenopsis</i> sp.	<i>Ancylothrix</i> sp.	<i>Arthrospira</i> sp.	<i>Cylindrospermopsis</i> sp.	<i>Limnothrix</i> sp.	<i>Microcystis</i> sp.	<i>Phormidium</i> sp.	<i>Planktothrix</i> sp.
Efluente	0	22,500	0	0	0	0	938	0
PTAR	0	0	11x10 <sup>6</sup>	0	0	0	0	9x10 <sup>8</sup>
El Carrizal	0	0	0	0	0	0	1,000	0
Chimpotrero	0	0	0	3,750	55,625	13,125	0	33,750
Ensueño	0	0	0	0	0	0	0	0
Bosque Azul	0	0	18	10,000	43,750	22,500	11,250	0
La Encantada	0	0	32	0	16,250	15,625	0	2,500
San Lorenzo	0	0	0	20,000	0	5,625	10,000	129,375
Paso del Soldado	0	0	0	625	6,250	10,625	0	5,000
Chaj Chaj	4,375	0	0	0	1,875	7,500	28,125	900,625
Balamtetik	0	0	0	0	0	0	45,000	450,313



Mapa 37. Sitios de colecta de cianobacterias en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas.

## Referencias

- Anagnostidis, K. y Komárek, J. (1988). Modern approach to the classification system of Cyanophytes. 3. Oscillatoriales. Archiv Hydrobiologie Supplement 80. *Stuttgart*, 1(4), 327-472.
- Cantoral-Uriza E. A., Asencio-Martínez, A. D. y Aboal, M. (2017). Cianotoxinas: efectos ambientales y sanitarios. Medidas de prevención. *Hidrobiológica*, 27(2), 241-251.
- Komárek, J. y Anagnostidis, K. (1999). Cyanoprokaryota, 1. Teil: Chroococcales. In: H. Ettl, G. Gärtner, H. Heynig & D. Mollenhauer (Eds.). Süßwasserflora von Mitteleuropa. (H.Ettl, G. Gärtner, H. Heynig & D. Mollenhauer, Eds.). Gustav Fischer Verlag Jena, Berlin.
- Komárek, J. (2013). Cyanoprokaryota 3rd part. Heterocytous genera. In: Büdel, B., G. Gärtner, L. Krienitz, M. Schagerl. (Eds.) Süßwasserflora von Mitteleuropa. Vol. 19/3. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg.
- Muñoz, M., Cirés, S., de Pedro, Z., Colina, J. A., Velásquez-Figueroa, Y., Carmona-Jiménez, J., Caro-Borrero, A., Salazar, A., Santa María-Fuster, M., Contreras, D. Perona, E. Quesada, A. y Casas, J. A. (2020). Overview of toxic cyanobacteria and cyanotoxins in Ibero-American freshwaters: Challenges for risk management and opportunities for removal by advanced technologies. *Science of the Total Environment*, 761, 143197. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143197>





# EROSIÓN DEL SUELO Y APOORTE DE SEDIMENTOS<sup>23</sup>

*Jannice Alvarado Velázquez*

Las actividades antropogénicas con mayor influencia en la degradación de los ecosistemas acuáticos son aquellas relacionadas con el cambio de uso del suelo, tales como la urbanización y la agricultura (Turner et al., 2007). La remoción de vegetación natural genera modificaciones en el suelo y en el ciclo hidrológico: se alteran los procesos de infiltración, evapotranspiración y recarga de acuíferos, además de incrementarse los escurrimientos superficiales (Baker y Miller, 2013). El aumento de la escorrentía favorece el transporte de sedimentos junto con nutrientes, contaminantes y microorganismos, que pueden llegar a convertirse en una fuente de contaminación difusa que modifica la calidad del agua a una escala de cuenca.

La cuenca RGC-LM ha presentado signos de degradación en algunos cuerpos de agua (principalmente aquellos con influencia de agua superficial, como el río Grande de Comitán y algunos lagos de planicie), ocasionada por descargas de aguas residuales y actividades agrícolas (Alcocer et al., 2018; Alvarado, 2017; CONAGUA, 2009). Debido a esta dinámica, los cuerpos de agua que se alimentan principalmente de agua subterránea presentan un riesgo de contaminarse, dada la alta porosidad y conectividad hidráulica característica de la geología kárstica de la cuenca (Mora et al., 2016). A partir del año 2003, se ha reportado un incremento en la turbidez y un cambio de color en los lagos, lo cual indica un aumento de sedimentos y crecimiento de algas

(Alcocer et al., 2018; Alvarado, 2017). Con el fin de evaluar la respuesta del aporte de sedimentos al cambio de uso del suelo en esta zona de estudio, se realizó una modelación hidrológica para estimar la erosión hídrica del suelo a una escala de cuenca.

## Métodos

Para realizar la estimación del aporte de sedimentos ocasionado por la erosión hídrica del suelo en la cuenca RGC-LM, se realizó una modelación hidrológica utilizando el modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) (Arnold et al., 1998), integrado al programa ArcGIS (versión 10.3). Para efectuar la modelación a través de SWAT se realizó una subdivisión de la cuenca en subunidades. El primer nivel de subdivisión es la delimitación por subcuencas a través de un Modelo Digital de Elevación. El segundo nivel es la división en Unidades de Respuesta Hidrológica (URH), las cuales fueron trazadas a partir de la sobreposición de datos vectoriales: la pendiente del terreno (INEGI, 2012), los tipos de suelo (INEGI, 2013a; Martínez, 2015) y los usos del suelo y vegetación (INEGI, 2013b).

La modelación hidrológica se ejecutó bajo el cálculo de un balance hídrico de la cuenca con base en datos meteorológicos, de los cuales la precipitación diaria fue obtenida de las estaciones meteorológicas

---

<sup>23</sup> Este capítulo es una síntesis de los resultados de la tesis de maestría de Alvarado, 2017. Evaluación del transporte de sedimentos y la calidad del agua, utilizando SWAT, en el río Grande de Comitán, Chiapas. Universidad Nacional Autónoma de México.



Comitán y La Trinitaria durante los periodos 2000-2016 y 2000-2014, respectivamente. Los datos faltantes fueron calculados con el generador climático integrado al programa SWAT. Por otra parte, el transporte de sedimentos que está dado principalmente por la erosión pluvial se estimó en cada URH con base en la Ecuación Universal Modificada de Pérdida del Suelo (MUSLE, por sus siglas en inglés) (Williams, 1975) (Alvarado, 2015, p. 36).

El flujo superficial del río Grande fue calibrado con la información obtenida de dos medidores automáticos ubicados en los sitios de muestreo Los Riegos y Emiliano Zapata, entre mayo de 2013 y enero de 2016. Dicha información fue procesada por el equipo de trabajo del Dr. Oscar Escolero Fuentes, del Instituto de Geología de la UNAM (Alvarado, 2015, p. 25). Los resultados de la calibración fueron evaluados de acuerdo con Moriasi et al. (2007).

## Resultados

Debido a la falta de información hidrológica, el modelo únicamente fue desarrollado para la zona del río Grande. Con esos datos se obtuvieron simulaciones calibradas a nivel mensual durante el periodo de mayo de 2013 a enero de 2016 para los sitios Los Riegos y Emiliano Zapata. El caudal mensual simulado en Los Riegos fue sobreestimado en la temporada de lluvias de los años 2013 y 2014, principalmente (Figura 26) (Alvarado, 2015, p. 29). En contraste, el modelo para Emiliano Zapata fue subestimado en la misma temporada durante los tres años simulados (Figura 27). Esto puede deberse a que en el sitio Los Riegos hay una mayor infiltración del agua hacia el suelo; sin embargo, no se tuvo control de este parámetro.

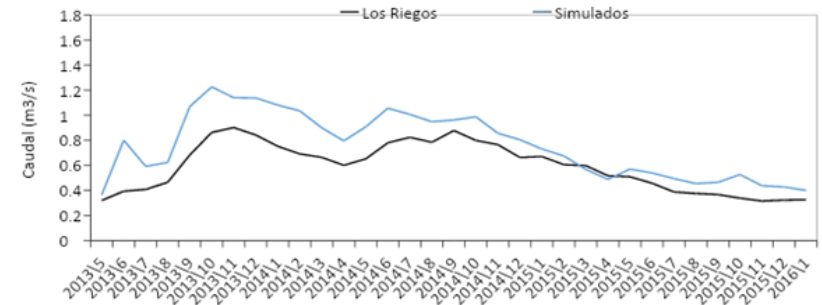


Figura 26. Hidrograma con valores de caudal observados y simulados mensuales promedio para el sitio Los Riegos, Chiapas.

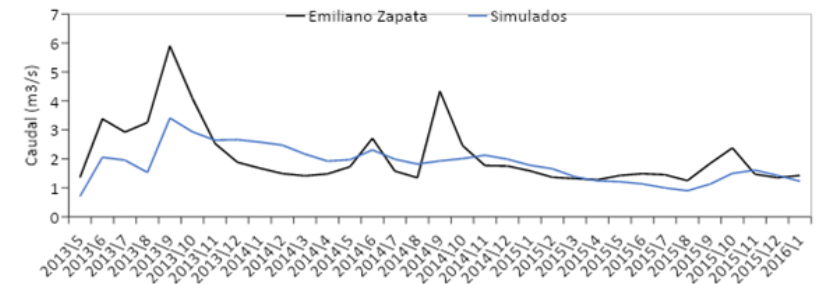


Figura 27. Hidrograma con valores de caudal observados y simulados mensuales promedio para el sitio Emiliano Zapata, Chiapas.

Por otro lado, los resultados de la erosión hídrica se muestran en un mapa de pérdida del suelo para el año 2013 bajo predicciones mensuales, el cual fue considerado el año con mejor representación hidrológica por parte del modelo. En él se representan cinco categorías, donde el color rojo muestra las subcuencas (Mapa 38) que potencialmente presentan mayor pérdida del suelo (hasta 9.08 ton/ha/año), las cuales coinciden con zonas agrícolas, suelos sin vegetación y

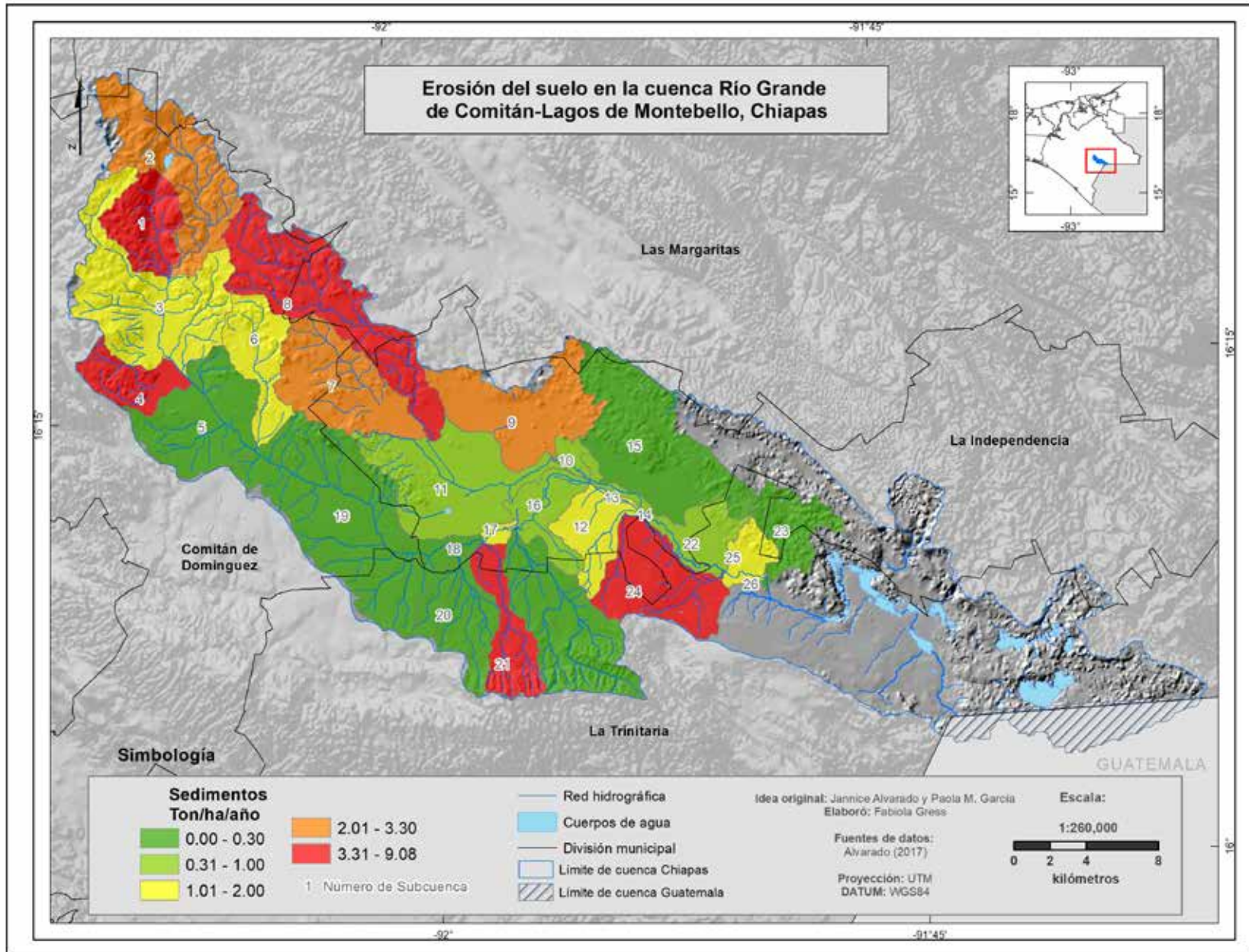
pendientes pronunciadas. En color verde oscuro se visualizan aquellas subcuencas con una menor pérdida de suelo (hasta 0.3 ton/ha/año) (Alvarado, 2015, p. 165).

### Discusión y conclusiones

Los resultados del modelo SWAT permitieron hacer simulaciones mensuales sobre la erosión del suelo en la cuenca RGC-LM. Sin embargo, para poder realizar una mejor calibración y validación de los datos es necesario contar con información meteorológica completa de al menos 20 años (Arnold et al., 2012). Los valores de pérdida del suelo en esta cuenca fueron menores en comparación con otros estudios realizados en cuencas similares bajo el mismo modelo (Zeiger y Hubbart, 2016; Osuna et al., 2015). Se ha reportado, en términos generales, que las pérdidas tolerables de suelo –en términos agronómicos– deben ser menores a 11 ton/ha (Johnson, 1987). Por lo tanto, la erosión de la cuenca puede ser considerada dentro de un nivel de pérdida del suelo “ligero o tolerable”, ya que la erosión máxima simulada para el año 2013 fue de 9 ton/ha/año. Esto puede asociarse con las características topográficas de la cuenca, la cual es una zona con pendientes poco pronunciadas y parteaguas difusos (Alvarado, 2015, p. 45).

Se ha considerado que el incremento de sedimentos es una de las causas principales de degradación de hábitats acuáticos, debido al incremento de nutrientes que se asocian con procesos de eutrofización (Hering et al., 2015), ocasionado por la degradación de los suelos producto de la deforestación, cambios de uso del suelo y actividades agropecuarias. Los resultados demostraron que la mayor producción de sedimentos en la cuenca proviene de las subcuencas 1, 4, 8, 21 y 24. Estas simulaciones permiten contar con un panorama sobre las subcuencas que generan más sedimentos, las cuales se encuentran en áreas con usos del suelo predominantemente agrícola o desprovistas de vegetación natural (Alvarado, 2015, p. 46).

Los resultados de este estudio demuestran la necesidad de inversión tanto en medidas preventivas para evitar la contaminación como en el monitoreo continuo de caudales y calidad del agua en el país. En cuanto a este último punto, el fin de avanzar en el desarrollo de modelos para simular mejor los procesos hidrológicos que se llevan a cabo en cuencas hidrográficas con múltiples usos del suelo. Asimismo, este trabajo es un primer esfuerzo por integrar un modelo hidrológico con la estimación del transporte de sedimentos en esta zona de estudio (Alvarado, 2015, p. 49). Partiendo de los resultados de este estudio, se sugiere implementar acciones de reforestación, prácticas agroecológicas y planes de ordenamiento territorial como herramientas para la conservación del suelo y el cuidado de la calidad del agua en la cuenca.



Mapa 38. Erosión del suelo en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas.

## Referencias

- Alcocer, J., Merino-Ibarra, M., Oseguera, L. A. y Escolero, O. (2018). Anthropogenic impacts on tropical karst lakes: "Lagunas de Montebello," Chiapas. *Ecohydrology*, 11(8), e2029. <https://doi.org/10.1002/eco.2029>
- Alvarado, J. (2017). Evaluación del transporte de sedimentos y la calidad del agua, utilizando SWAT, en el Río Grande de Comitán, Chiapas. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. <http://132.248.9.195/ptd2015/enero/0724819/0724819.pdf>
- Arnold, J. G., Moriasi, D. N., Gassman, P. W., Abbaspour, K. C., White, M. J., Srinivasan R., Santhi, C., Harmel, R. D., Van Griensven, A., Van Liew, M. W., Kannan, N. y Jha, M. K. (2012). SWAT: Model Use, Calibration, and Validation. *Transactions of the ASABE*, 55(4), 1491-1508. <https://doi.org/10.13031/2013.42256>
- Arnold, J. G., Srinivasan, R., Muttiah, R. S. y Williams, J. R. (1998). Large area hydrologic modeling and assessment Part I: Model Development. *Journal of the American Water Resources Association*, 34(1), 73-89. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1998.tb05961.x>
- Baker, T. J. y Miller, S. N. (2013). Using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to assess land use impact on water resources in an East African watershed. *Journal of Hydrology*, 486, 100-111. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.01.041>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2009). *Plan de Gestión de la Cuenca del río Grande-Lagunas de Montebello, Chiapas, SEMARNAT, México*. [http://transparencia.comitan.gob.mx/ART74/I/DESARROLLO\\_RURAL/plan\\_de\\_gestion\\_cuencas.pdf](http://transparencia.comitan.gob.mx/ART74/I/DESARROLLO_RURAL/plan_de_gestion_cuencas.pdf)
- Hering, D., Carvalho, L., Argillier, C., Beklioglu, M., Borja, A., Cardoso, A. C., Duel, H., Ferreira, T., Globevnik, L., Hanganu, J., Hellsten, S., Jeppesen, E., Kodeš, V., Solheim, A. L., Nöges, T., Ormerod, S., Panagopoulos, Y., Schmutz, S., Venohr, M. y Birk, S. (2015). Managing aquatic ecosystems and water resources under multiple stress – An introduction to the MARS project. *Science of The Total Environment*, 503-504, 10-21. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.06.106>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (INEGI). (2013a). Conjunto de Datos Vectoriales Edafológicos, escala 1:250,000 Serie II.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (INEGI). (2013b). Conjunto de Datos Vectoriales de Uso del suelo y Vegetación, escala 1:250,000 Serie V.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (INEGI) (2012). Modelo Digital de Elevación. Resolución de 15 m.
- Johnson, L. C. (1987). Soil loss tolerance: Fact or myth? *Journal of Soil and Water Conservation*, 42(3), 155-160.

- Martínez, A. M. (2015). *Caracterización de los suelos de la cuenca del Río Grande, como soporte para entender la dinámica de contaminantes que llegan al sistema lagunar de Montebello, Chiapas*. [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/462164>
- Mora, L., Bonifaz, R. y López-Martínez, R. (2016). Unidades geomorfológicas de la cuenca del Río Grande de Comitán, Lagos de Montebello, Chiapas-México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 68(3), 377–394. <https://doi.org/10.18268/BSGM2016v68n3a>
- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W. Bingner, R. L., Harmel, R. D. y Veith, T. L. (2007). Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885–900. <https://doi.org/10.13031/2013.23153>
- Osuna, O. A. K., White, J. D., de Anda, J., Díaz. T. J. J., Dávalos, L. L. y Dávila, V. G. (2015). Impacto de las actividades agropecuarias en el régimen hidrológico y calidad del agua de la cuenca del río Tecolutla, Veracruz. En Alcocer, J., Merino, I. M., Escobar, B. E. (Ed.), *Tendencias de Investigación en Limnología Tropical: Perspectivas universitarias en Latinoamérica* (pp. 57-65). Asociación Mexicana de Limnología, A. C., Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, y Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- Turner, B. L., Lambin, E. F. y Reenberg, A. (2007). The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(7), 2751. <https://doi.org/10.1073/pnas.0800052105>
- Williams, J. R. (1975). Sediment-yield prediction with universal equation using runoff energy factor. En *Present and prospective technology for predicting sediment yield and sources: Proceedings of the Sediment Yield Workshop* (pp. 244–252). Oxford, Great Britain.
- Zeiger, S. J. y Hubbart, J. A. (2016). A SWAT model validation of nested-scale contemporaneous stream flow, suspended sediment and nutrients from a multiple-land-use watershed of the central USA. *Science of The Total Environment*, 572, 232-243. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.178>

# PLAGUICIDAS ORGANOCOLORADOS EN SEDIMENTOS<sup>24</sup>

Erick R. Hjort Colunga, Blanca E. Hernández Bautista y Marisa Mazari Hiriart

Actualmente, con la finalidad de aumentar la producción agrícola, es común la aplicación de insumos agroindustriales y la implementación de cultivos mejorados (Van der Hoff y Van Zoonen, 1999). Entre los productos agroindustriales se encuentran los compuestos químicos catalogados como plaguicidas, que son sustancias o mezclas de sustancias que se aplican deliberadamente a un compartimento del medio ambiente con la intención de prevenir, destruir, repeler o mitigar plagas. Los plaguicidas son usados idealmente con el propósito de matar o dañar ciertas formas de vida que se consideran indeseables (objetivo); pero los plaguicidas no son tan selectivos y resultan comúnmente tóxicos a otras especies (no objetivo), incluyendo a los humanos. Además, los plaguicidas se dispersan con facilidad y se pueden incorporar eventualmente a los cuerpos de agua superficiales –sobre todo cuando el suelo está erosionado– y subterráneos –por infiltración en una zona kárstica como la cuenca en estudio–. Existen diferentes tipos de plaguicidas, que se pueden clasificar de acuerdo con el uso que se les da (i.e. insecticidas, herbicidas, fungicidas, rodenticidas, etc.), de acuerdo con su composición química (i.e. compuestos organoclorados, organofosforados, carbamatos, piretroides, fosfonometil-aminoácidos, neonicotinoides, etc.), o de acuerdo con su toxicidad (i.e. aguda o crónica) (Costa, 2019).

Pimentel y Levitan (1986) mencionan que estos compuestos, en concentraciones suficientes, pueden alterar la estructura y función de los ecosistemas, ya que eliminan algunas especies o disminuyen sus poblaciones en forma significativa. Por ello, es necesario realizar el monitoreo de estos compuestos en diferentes matrices ambientales, como es el sedimento de ríos, que representa un compartimento concentrador, más que la columna de agua. Por lo tanto, resulta relevante el desarrollo de métodos de extracción y análisis con suficiente resolución para obtener datos cualitativos y cuantitativos de la presencia de plaguicidas en bajas concentraciones, como son microgramos por gramo ( $\mu\text{g/g}$ ) o de nanogramos por gramo ( $\text{ng/g}$ ). El objetivo del estudio fue determinar las concentraciones de plaguicidas organoclorados (dado su uso extendido por su bajo costo) en muestras de sedimentos y analizar su distribución espaciotemporal en la cuenca RGC-LM.

Este trabajo consistió en el desarrollo y validación de un protocolo automatizado de extracción de plaguicidas de sedimento, realizado por medio de la técnica de microextracción en fase sólida: *Headspace Solid Phase Micro Extraction (HS-SPME)*, por sus siglas en inglés), en la cual los plaguicidas son llevados a la fase de vapor para evitar al mínimo las interferencias de la matriz ambiental. En fase vapor, los plaguicidas se adsorben a una matriz sólida y porosa que posee

---

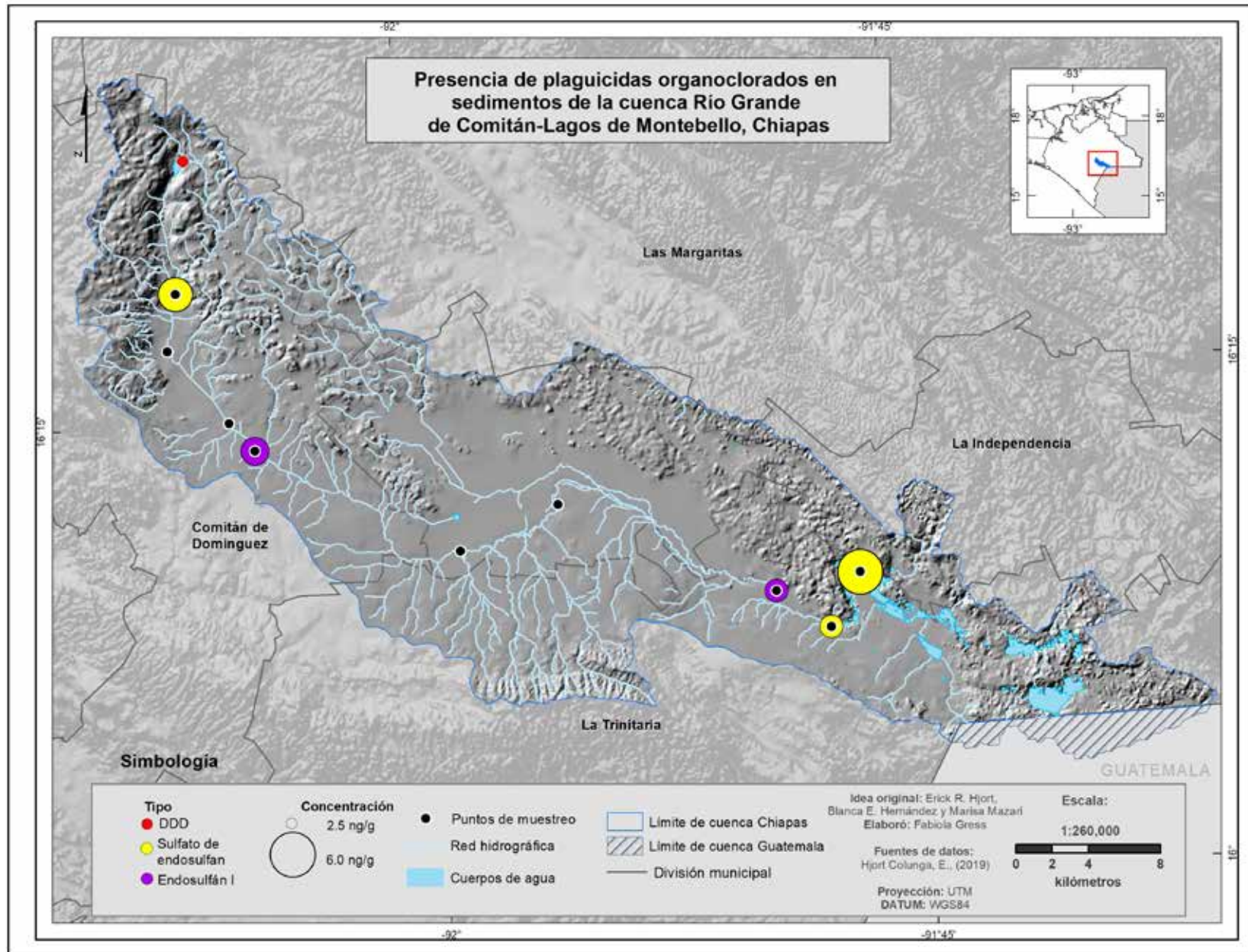
24 Este capítulo constituye una síntesis del trabajo de maestría de Hjort Colunga, E.R., 2019. Detección de plaguicidas en muestras ambientales mediante la técnica de cromatografía de gases. Posgrado de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, México.

afinidad química por los compuestos a extraer. Se determinaron las condiciones óptimas de la extracción de los analitos usando un método de HS-SPME (Lambropoulou y Albanis, 2007; Mukherjee y Gopal, 1996; Ouyang y Pawliszyn, 2006). La identificación y cuantificación de los plaguicidas se realizó por cromatografía de gases acoplada a un espectrómetro de masas triple cuadrupolo (GC/MS-QQQ). Para este análisis se usó un método de monitoreo de reacción múltiple (*Multiple Reaction Monitoring, MRM*). Se realizaron comparaciones usando material de referencia certificado y el análisis se puso a prueba con muestras obtenidas en la cuenca RGC-LM (Hjort, 2019).

Se determinó el contenido de materia orgánica mediante la técnica de pérdida por ignición, *Loss On Ignition (LOI)* (Dean, 1974). Con los resultados obtenidos se realizó un análisis de la correlación entre el porcentaje de materia orgánica y la presencia de plaguicidas, y se realizó un análisis espaciotemporal de la distribución de los plaguicidas dentro de la cuenca RGC-LM durante el periodo 2014-2015 (Hjort, 2019).

En el Mapa 39 se muestra la presencia de DDD, Endosulfán I y Sulfato de Endosulfán en sedimentos de la cuenca RGC-LM en concentraciones entre 2.73 y 6.03 ng/g. Estos resultados coinciden con trabajos similares efectuados en el estado de Chiapas por Hernández-Romero et al. (2004), quienes detectaron DDD y Endosulfán I en concentraciones entre 247.9 y 814.5 ng/g en sedimentos de la Laguna Costera Pozuelos-Murillo. Castro-Castro (2002) y González (2000) encontraron Sulfato de Endosulfán como el plaguicida más frecuente y DDD como el plaguicida con las concentraciones más altas en sedimentos en la Laguna Pampa El Cabildo. En estos casos no se observa la presencia de DDT, pero sí de sus metabolitos. En ninguna de las muestras analizadas se detectó Endosulfán II (Hernández-Romero et al., 2004).

Los resultados obtenidos muestran residuos de plaguicidas organoclorados en 22% de las muestras de sedimento analizadas, lo que coincide con lo reportado por González-Farías et al. (2002) en sedimentos de una laguna costera del norte del país. Se encontraron Endosulfán I y sus metabolitos, con lo cual es posible saber que son de reciente aplicación, mientras que para el DDT y sus metabolitos la relación indica una aplicación años atrás. La distribución espaciotemporal en la cuenca RGC-LM y las concentraciones de plaguicidas organoclorados no constituyen un riesgo para la salud pública (Hjort, 2015), ni superan los valores recomendados para la protección de la vida acuática. Sin embargo, cabe mencionar que es necesaria la determinación de otros tipos de plaguicidas para corroborar esta aseveración en cuanto a la presencia de plaguicidas en el sistema y sus efectos potenciales.



Mapa 39. Presencia de plaguicidas organoclorados en sedimento de la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas.



## Referencias

- Castro-Castro, V. (2002). Contaminación por plaguicidas organoclorados en la Laguna Pampa El Cabildo, Chiapas, y su efecto tóxico en postlarvas de camarón blanco (*Litopenaeus vannamei*). [Tesis de Maestría, El Colegio de la Frontera Sur].
- Costa, L. G. (2017). Toxic Effects of Pesticides. In: *Toxicology. The Basic Science of Poisons* (pp. 1055-1106). Klassen, C.D. Ed. McGraw Hill Education. New York.
- Dean, W. E. (1974). Determination of Carbonate and Organic Matter in Calcareous Sediments and Sedimentary Rocks by Loss on Ignition: Comparison with other methods. *Journal of Sedimentary Petrology*, 44(1), 242–248.
- González, L. (2000). Características fisicoquímicas y evaluación de plaguicidas organoclorados en la Laguna Pampa el Cabildo, Chiapas. [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Chiapas].
- González-Farías, F., Cisneros Estrada, X., Fuentes Ruíz, C., Díaz González, G. y Botello, A. V. (2002). Pesticides distribution in sediments of a tropical coastal lagoon adjacent to an irrigation district in northwest Mexico. *Environmental Technology*, 23(11), 1247–1256. <https://doi.org/10.1080/09593332308618323>
- Hernández-Romero, A. H., Tovilla-Hernández, C., Malo, E. A. y Bello-Mendoza, R. (2004). Water quality and presence of pesticides in a tropical coastal wetland in southern Mexico. *Marine Pollution Bulletin*, 48(11–12), 1130–1141. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2004.01.003>
- Hjort Colunga, E. R. (2019). Detección de plaguicidas en muestras ambientales mediante la técnica de cromatografía de gases. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México].
- Lambropoulou, D. A. y Albanis, T. A. (2007). Liquid-phase micro-extraction techniques in pesticide residue analysis. *Journal of Biochemical and Biophysical Methods*, 70(2), 195–228. <https://doi.org/10.1016/j.jbbm.2006.10.004>
- Mukherjee, I. y Gopal, M. (1996). Chromatographic techniques in the analysis of organochlorine pesticide residues. *Journal of Chromatography A*, 754(1–2), 33–42.
- Ouyang, R. G. y Pawliszyn, J. (2006). SPME in environmental analysis, *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 386, 1059–1073. <https://doi.org/10.1007/s00216-006-0460-z>
- Pimentel, D. y Levitan, L. (1986). Pesticides: mounts applied and amounts reaching pests. *Bioscience*, 36(2), 86–91. <https://doi.org/10.2307/1310108>.
- Van der Hoff, G. R. y Van Zoonen, P. (1999). Trace analysis of pesticides by gas chromatography. *Journal of Chromatography A*, 843(1-2), 301–322.

# PROBLEMAS ASOCIADOS CON EL USO Y MANEJO DE AGROQUÍMICOS<sup>25</sup>

*Marcela Campos López*

El enfoque extensivo-conventional de la agricultura ha conllevado a la aplicación masiva de agroquímicos (Sarandón y Flores, 2014) en el mundo. El uso desmedido y no regulado de estos productos trae como consecuencia la contaminación de tierras y agua (Schwarzenbach et al., 2006; Schwarzenbach y Egli, 2010), la modificación o pérdida de servicios ecosistémicos (Carpintero, 2005; Sarandón y Flores, 2014; Toledo, 2005), disminución de la biodiversidad al afectar especies no objetivo, así como la emergencia de plagas y vectores de enfermedades humanas resistentes a los plaguicidas, además de representar un riesgo laboral –principalmente para la salud de las personas que trabajan el campo y sus familias– (Charron, 2014). En el estado de Chiapas, cerca del 90% del territorio es destinado a la agricultura (INEGI, 2007), y dentro de la cuenca RGC-LM, más del 30% (Alvarado, 2015; INEGI, 2015). En los últimos cinco años, la tasa de prevalencia de intoxicación estatal por plaguicidas ha oscilado entre media y alta (CENAPRED, 2019). Sin embargo, existe un subregistro, ya que la mayoría de las personas de la región no asiste al médico para su atención (Campos-López, 2022). Ante dicha situación, es importante estudiar la salud como un fenómeno multifactorial de interacciones entre los individuos y sus contextos: cómo las relaciones existentes entre los ámbitos biológico, medioambiental, social, económico y de estilos de vida se retroalimentan y la determinan (Roa y Pescador, 2016; Charron, 2014; Villar, 2011).

## Método

El instrumento empleado para generar el diagnóstico de ecosalud en la RGC-LM fue una encuesta-entrevista semiestructurada en la que se contemplaron siete secciones: I) Datos sociodemográficos, II) Generalidades del predio, III) Uso y manejo de agroquímicos, IV) Salud, V) Comportamiento, VI) Percepción de salud y VII) Producción. El instrumento se aplicó a 49 participantes mayores de edad mediante un muestreo a conveniencia, es decir, seleccionando individuos accesibles y próximos que aceptaron ser incluidos/as o partícipes (Campos, 2022, p. 31). La percepción de salud fue analizada mediante una escala aditiva tipo Likert, instrumento psicométrico donde la persona encuestada indica su acuerdo o desacuerdo sobre una afirmación, ítem o reactivo a través de una escala ordenada y unidimensional (Laguna y Alberto, 2017). Para el caso se ponderaron siete valores, yendo de mayor a menor (7-1) bajo las siguientes categorías según la percepción del estado de salud referido: 7) Excelente, 6) Muy buena, 5) Buena, 4) Regular, 3) Mala, 2) Muy mala y 1) No sé. El resto de los datos fueron analizados por medio de estadística descriptiva.

---

25 El contenido de este capítulo es una síntesis del trabajo de tesis de maestría de M. Campos-López, 2022. Diagnóstico de ecosalud en comunidades de la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas, con énfasis en el uso y manejo de agroquímicos. El trabajo se desarrolló con financiamiento del Proyecto PAPIIT IT200618 "Vulnerabilidad Socio-Ambiental del Río Grande-Lagos de Montebello, Chiapas, México".

## Resultados y conclusiones

A nivel de cuenca, los agroquímicos más consumidos son fertilizantes (nitrógeno y azufre), seguidos de plaguicidas (Cipermetrina) y herbicidas (Glifosato y Paraquat). Sin embargo, entre localidades varía (Figura 28) en función del tipo de cultivos preponderantes (en términos económicos). El Triunfo, con producción de jitomate y hortalizas, representa la localidad con mayor empleo de fertilizantes (90%) y plaguicidas (67%); Juznajab (65%) se posiciona como el mayor consumidor de herbicidas, cuyo producto principal es el frijol y maíz; y, por último, Tziscaco, donde hay un menor uso de fertilizantes y plaguicidas que en El Triunfo, por ejemplo, pero los datos presentados responden a la producción de café, maíz y plátano.

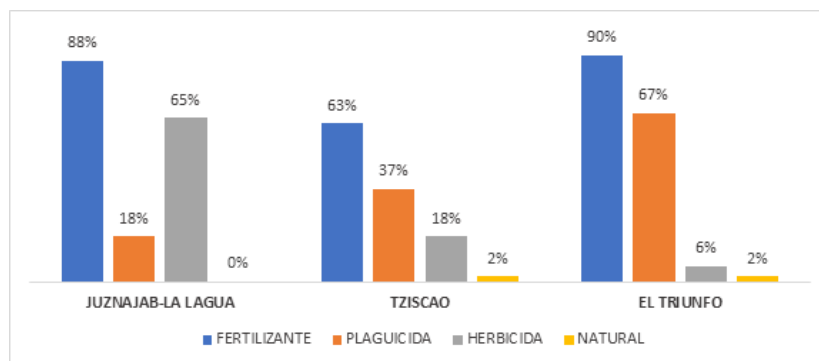


Figura 28. Porcentaje de uso de agroquímicos a nivel local en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas.

La percepción de salud referida por poco más de la mitad de los campesinos es "regular"; sin embargo, hay variaciones según el sitio (Figura 29). En términos generales, Tziscaco goza de mejor percepción de salud, dado que los gradientes salud excelente, muy buena, buena y regular tienen representación, seguida de Juznajab, y, por último, El

Triunfo, único sitio donde se reflejó la categoría "mala" salud (Campos, 2022, p. 52). El 63% de los entrevistados no cree que exista correlación entre las sustancias agroquímicas que emplea y su estado de salud; reconocen que hay un detrimento, pero se adjudica al envejecimiento. Sin embargo, en la zona de estudio, el 73% del total de los participantes ha mostrado síntomas de intoxicación aguda durante y después de la aplicación de las sustancias, principalmente de herbicidas y plaguicidas, ya que el uso de protección es nulo o insuficiente (Campos, 2022, p. 49).

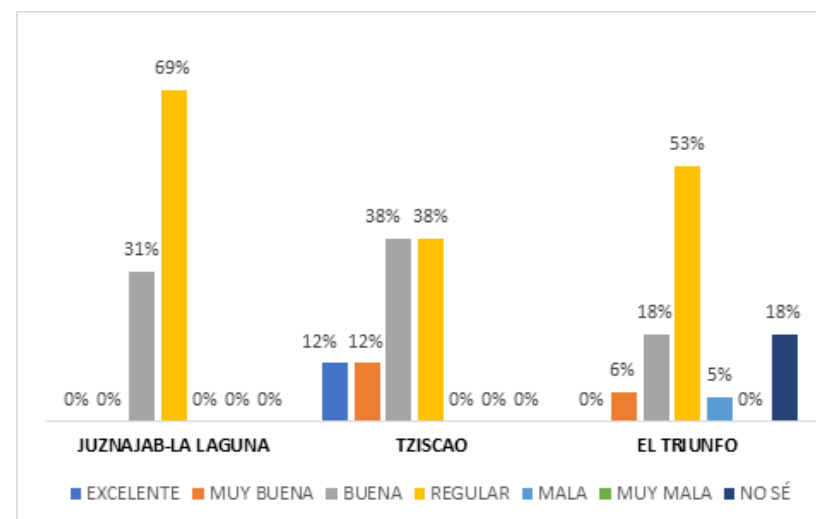


Figura 29. Percepción de salud por localidades de la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas.

## Conclusiones

La influencia y presiones a nivel RGC-LM que ejerce la utilización de agroinsumos sintéticos necesariamente obedece a las demandas de mercado (a distintas escalas) y al desplazamiento de prácticas agrícolas tradicionales (libres de químicos). Los impactos ambientales y a la salud son percibidos, pero no se asocian directamente con el uso y manejo de las sustancias debido a que se ignora su modo de acción y los efectos secundarios o permanentes que pueden generar.

## Referencias

- Alvarado Velázquez, J. (2015). Evaluación espacial de la contaminación potencial puntual y difusa en la cuenca del Río Grande, Comitán Chiapas. [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México]. <http://132.248.9.195/ptd2015/enero/409021662/Index.html>
- Campos-López, M. (2022). Diagnóstico de ecosalud en comunidades de la Cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas, con énfasis en el uso y manejo de agroquímicos. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. <http://132.248.9.195/ptd2022/enero/0821817/Index.html>
- Carpintero, Ó. (2005). El metabolismo de la economía española. Recursos naturales y huella ecológica (1955-2000), Tegui-se, Lanzarote. Fundación César Manrique, *colección Economía vs Naturaleza*. Madrid. Pp. 635.
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). (30 de noviembre de 2019). Visualización de eventos sanitario-ecológicos. Intoxicación por plaguicidas, municipio de La Independencia, Chiapas. <http://rmgir.proyectomesoamerica.org/ANR/apps/fenomenos/>
- Charron, D. (2014). La investigación de ecosalud en la práctica. Aplicaciones innovadoras de un enfoque ecosistémico para la salud (pp. 11-29). España. Plaza y Valdés editores.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía (INEGI). (2015). Recursos Naturales Datos Vectoriales 1:250,000 serie V. <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/ usosuelo/Default.aspx>

- Instituto Nacional de Estadística Geografía (INEGI). (2007). Conjunto de datos vectoriales Red hidrográfica. 1:50,000. Edición 2.0. Subcuenca RH30GI-R. Comitán, Chiapas, México.
- Laguna, B., & Alberto, C. (2017). *Diseño de un Instrumento Tipo Escala Likert para la Descripción de las Actitudes hacia la Tecnología por parte de los Profesores de un Colegio Público de Bogotá*. [Disertación Doctoral, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá]. <https://repositorios.educacionbogota.edu.co/handle/001/2588>
- Roa, L. A. y Pescador Vargas, B. (2016). La salud del ser humano y su armonía con el ambiente. *Revista Med*, 24(1), 111-122.
- Sarandón, J. y Flores, C. (2014). *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables*. Universidad Nacional de La Plata, Argentina.
- Schwarzenbach, R. P., Escher, B. I., Fenner, K., Hofstter, T. B., Johnson, C. A., Gunten, U. y Wehri, B. (2006). The challenge of micropollutants in aquatic systems. *Science*, 313, 1072–7.
- Schwarzenbach, R. y Egli, T. (2010). Global water pollution and human health. *Annual Review*, 35(1):109–136.
- Toledo, V. M. (2005). La memoria tradicional: la importancia agroecológica de los saberes locales. *Leisa Revista de Agroecología*, 20(4), 16-19.
- Villar, M. (2011). Factores determinantes de la salud: Importancia de la prevención. *Acta Médica Peruana*, 28(4), 237-241.





# COMORBILIDAD Y MORTALIDAD POR DETERIORO AMBIENTAL <sup>26</sup>

*Emilio Rodríguez Izquierdo y Marisa Mazari Hiriart*

Los impactos negativos a la salud son el resultado de diferentes factores que contribuyen a su aparición. Por ejemplo, las enfermedades transmitidas por vectores están íntimamente relacionadas con la gestión del agua. Así, la falta de infraestructura y saneamiento limita el acceso a agua de buena calidad, lo que, combinado con modelos de desarrollo urbano altamente demandantes de recursos y el acelerado deterioro ambiental, agrava estos impactos negativos a la salud (Riojas-Rodríguez et al., 2013). Por ello, aquí presentamos un estudio de las comorbilidades y mortalidades que podrían estar más relacionadas con el deterioro ambiental y, en particular, las relacionadas principalmente con una deficiente calidad del agua, para el periodo de 1998 a 2018, en los municipios de Comitán de Domínguez, La Independencia y La Trinitaria, en Chiapas.

Para analizar qué enfermedades están relacionadas con el estado del medio ambiente en los tres municipios de estudio se obtuvo información de las principales enfermedades reportadas entre 1998 y 2017 a nivel de municipio en el Anuario de Morbilidad de la Dirección General de Epidemiología (DGEPI, 2019). Además, se solicitó información histórica epidemiológica (Oficio No. DGE-DGAE-01350) durante el periodo que comprende de enero de 1998 a diciembre de 2018, desglosada a nivel semanal. También se obtuvo información epidemiológica histórica del Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica

(SINAVE) del estado de Chiapas para los quinquenios de 1995 a 2010. Paralelo a esto, se obtuvieron las bases de datos de la Estadística de defunciones generales registradas de mortalidad general del Instituto Nacional de Estadística y Geografía para el periodo de 1998 a 2018 (INEGI, 2020). Se elaboró una lista de 838 causas de mortalidad que potencialmente podrían estar asociadas con plaguicidas, con base en Costa (2019) y Sparling (2016), que se utilizó para poder analizar las defunciones más relacionadas a la deficiente calidad ambiental, en especial las relacionadas con una mala calidad del agua.

Para obtener la prevalencia –número de casos totales de una enfermedad en un tiempo dado– de enfermedades en estos tres municipios del estado de Chiapas en conjunto, los datos fueron agrupados por tipo de enfermedad para el periodo comprendido entre 1998 y 2018. De las morbilidades principales reportadas durante el periodo de 1998 a 2018 en los municipios de Comitán de Domínguez, La Independencia y La Trinitaria, las infecciones respiratorias agudas son las más prevalentes. Ahora bien, esta enfermedad, junto con la diabetes y otras enfermedades comunes (como la otitis media aguda, infección común en niños), aun cuando pueden estar relacionadas con compuestos tóxicos (plaguicidas y metales pesados, por ejemplo), es muy difícil relacionarlas con un ambiente rural o con compuestos tóxicos en el aire. Así, para observar el comportamiento de las

---

<sup>26</sup> Elaborado como parte del proyecto DGAPA PAPIIT IT200618 Vulnerabilidad socioambiental del Río Grande-Lagos de Montebello, Chiapas. Asimismo, se hizo uso de la información sobre salud proporcionada por la Secretaría de Salud, derivada del Proyecto DGAPA PAPIIT CV300120 sobre Crisis ambiental y desigualdad.



enfermedades relacionadas principalmente con una calidad de agua deficiente se consideraron solamente las enfermedades gastrointestinales, divididas en cuatro grupos: 1) parasitarias, 2) bacterianas, 3) virales, e 4) indeterminadas.

Se consideró que la contaminación microbiológica del agua es una de las principales causas de enfermedades diarreicas agudas (Riojas-Rodríguez et al., 2013). Así, los resultados del análisis de comorbilidades en los tres municipios de estudio muestran que, de las enfermedades gastrointestinales, las indeterminadas –es decir, las infecciones intestinales por otros organismos y las mal definidas– son las más prevalentes en los tres municipios, que presentan una tendencia creciente. Les siguen las enfermedades gastrointestinales parasitarias y, en particular, la amebiasis intestinal, que tiende a disminuir en los tres municipios (Figura 30). La amebiasis intestinal es una enfermedad endémica de la República Mexicana y suele estar relacionada con bajos niveles socioeconómicos, malos hábitos higiénicos, y malnutrición (Caballero-Salcedo et al., 1994). De hecho, del análisis de datos sociodemográficos que se hizo, sabemos que Chiapas es uno de los estados con mayor rezago social de México (ver capítulo Desigualdad).

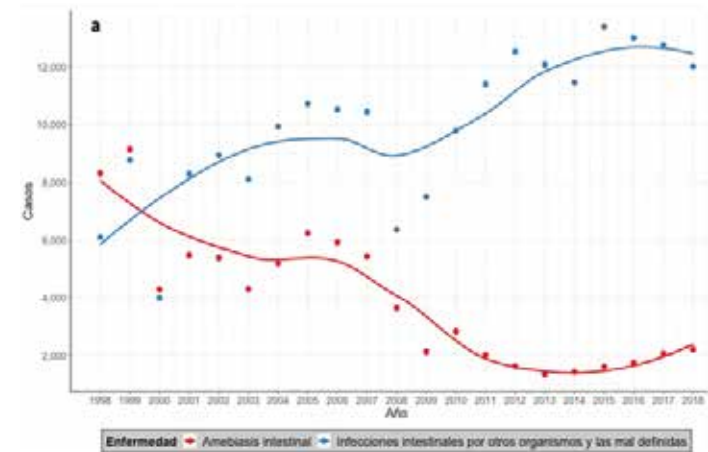
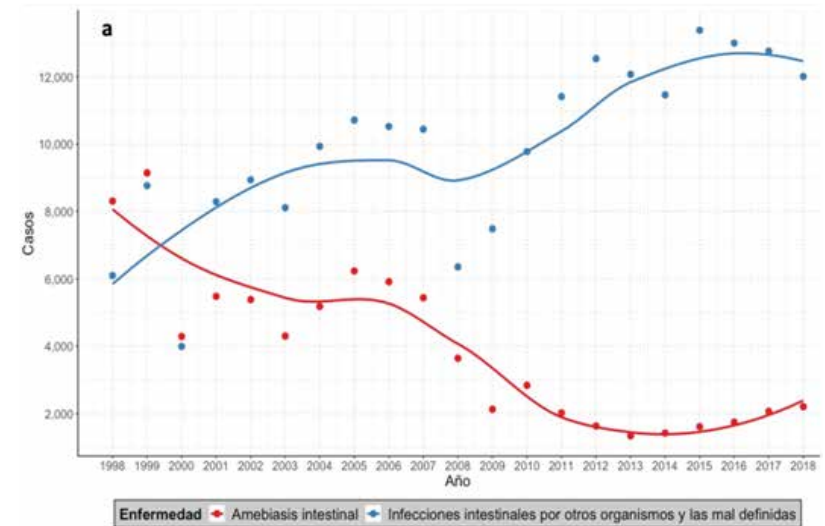


Figura 30. Curvas de ajuste del análisis no paramétrico para las dos enfermedades gastrointestinales más prevalentes (notar la diferencia de escalas) en: a) los tres municipios de estudio (periodo de 1998 a 2018), y b) el estado de Chiapas (quinquenios de 1995-2015).

Respecto a las mortalidades durante el periodo de 1998 a 2018 en los tres municipios de estudio, el promedio de edad de los difuntos en todo el periodo fue de 59 años, muy por debajo de la esperanza de vida media estatal (74 años). En total, hubo 6,116 muertes por causas potencialmente asociadas a compuestos tóxicos, muy probablemente plaguicidas. De ellos, más de la mitad eran hombres (3,518). Cabe resaltar que, en los tres municipios de estudio, la proporción de mujeres en la población es mayor a la de los hombres. Al analizar las defunciones por ocupación, la mayoría de los hombres (35% de los casos) eran trabajadores en actividades agrícolas, ganaderas, caza y pesca. La mayoría de las mujeres (82%) no trabajaba asalariadamente (de acuerdo con la Estadística de defunciones generales del INEGI). Del total de muertes por causas potencialmente asociadas a plaguicidas, más de la mitad (59%) fueron por enfermedades crónico-degenerativas y, en particular, por algún tipo de cáncer con evidencia de tumores malignos. En concreto, el tumor maligno del estómago (parte no especificada) es la causa principal (21% de las 3,622 muertes). Las defunciones por esta causa han ido incrementando y se reportan principalmente en el municipio de Comitán de Domínguez (Figura 31).

Es patente que las enfermedades infecciosas son las enfermedades más prevalentes en los tres municipios de Chiapas, pero es preocupante que las enfermedades gastrointestinales indeterminadas sean las de mayor prevalencia –y con tendencia creciente–. Ello podría indicar que hay un subreporte del resto de enfermedades gastrointestinales, que son las que están relacionadas principalmente con un limitado acceso a agua y a una deficiente calidad. Además, cabe resaltar que, aunque las enfermedades crónico-degenerativas, particularmente los casos de cáncer con evidencia de tumores malignos, son poco prevalentes en los tres municipios, hay casos de mortalidad que podrían estar relacionados con las condiciones ambientales. Es conveniente continuar con los estudios de comorbilidad y mortalidad potencialmente relacionados con las condiciones ambientales, pues, al analizar los datos de mortalidad, después de hacer un cribado de causas de muerte para enfocarnos en las mortalidades que pudieran estar potencialmente asociadas a plaguicidas, observamos que la mayoría de las muertes son debidas a cáncer con evidencia de tumores malignos.

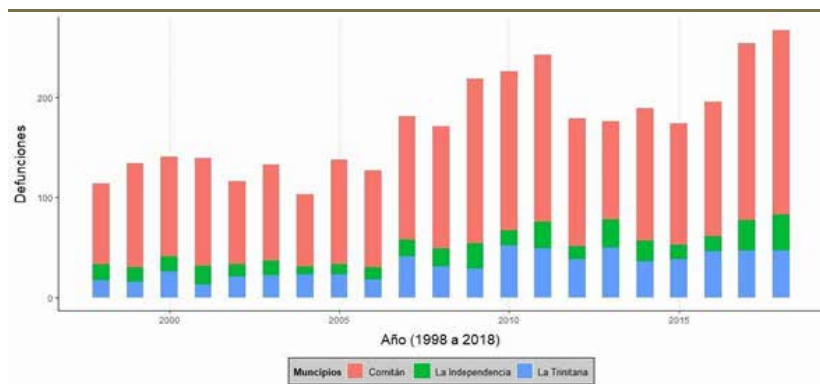


Figura 31. Defunciones por algún tipo de cáncer con evidencia de tumores malignos en los municipios de Comitán de Domínguez, La Independencia y La Trinitaria, en el periodo de 1998 a 2018.

## Referencias

- Caballero-Salcedo, A., Viveros-Rogel, M., Salvatierra, B., Tapia-Conyer, R., Sepulveda-Amor, J., Gutierrez, G. y Ortiz-Ortiz, L. (1994). Seroepidemiology of amebiasis in Mexico. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 50, 412–419. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.1994.50.412>
- Costa, L.G. (2017). Toxic Effects of Pesticides. *In: Toxicology. The Basic Science of Poisons*. Klassen, C.D. Ed. McGraw Hill Education. New York: 1055-1106.
- Dirección General de Epidemiología (DGEPI). (2019). Anuario de Morbilidad 1984-2018. Incidencia de Enfermedad por Grupo de Edad y Entidad Federativa. [http://www.epidemiologia.salud.gob.mx/anuario/html/incidencia\\_enfermedad.html](http://www.epidemiologia.salud.gob.mx/anuario/html/incidencia_enfermedad.html)
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía (INEGI). (2020). Estadística de defunciones generales. <https://www.inegi.org.mx/programas/mortalidad/#Microdatos>
- Riojas-Rodríguez, H., Schilman, A., López-Carrillo, L. y Finkelman, J. (2013). La salud ambiental en México: situación actual y perspectivas futuras. *Salud Pública México*, 55, 638. <https://doi.org/10.21149/spm.v55i6.7310>
- Sparling D.W. (2016). *Ecotoxicology Essentials. Environmental Contaminants and their Biological Effects on Animals and Plants*. Academic Press.





# VULNERABILIDAD SOCIOAMBIENTAL<sup>27</sup>

*Stephanie Paola Espinosa García*

El análisis de vulnerabilidad socioambiental en la cuenca RGC-LM permitió conocer las principales amenazas respecto al acceso al agua de primer uso. Algunas de las acciones que pueden ayudar a contrarrestar estas condiciones son la mejora en el tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Comitán, la evaluación de las zonas ideales para promover proyectos de recarga artificial de los acuíferos, la capacitación respecto al almacenamiento, distribución y monitoreo de agua e incluso sistemas de desinfección, la difusión de los riesgos por exposición a agroquímicos (plaguicidas y fertilizantes) y la búsqueda de mejoras a los sistemas de producción.

Los proyectos con enfoque transdisciplinario tienen que seguir impulsándose con el fin de obtener beneficios para la población derivados de la información obtenida a lo largo de los años de investigación en la zona. Con ello se pueden crear planes de acción para la mejora no solo en acceso a agua, sino en desarrollo social y conservación de los ecosistemas que vincule la ciencia y la toma de decisiones.

Uno de los objetivos del desarrollo sostenible es garantizar el acceso al agua limpia. Sin embargo, existen múltiples factores que dificultan el cumplimiento de dicho objetivo: la desigualdad en la distribución, la mala calidad del agua, la falta de mantenimiento de la infraestructura hidráulica, así como las políticas públicas en torno al uso (Espinosa, 2018, p. 7). En este sentido, los análisis de vulnerabilidad socioambiental son una herramienta que mejora la comprensión de la interacción

entre diversas variables con el objetivo de intervenir en la toma de decisiones.

La vulnerabilidad es la probabilidad de que uno o varios componentes de un sistema experimenten un daño debido a una amenaza. En este sentido, es necesario entender la relación de quién o qué es vulnerable y a qué amenaza(s) (Espinosa, 2018, p. 6). La magnitud de los daños, las afectaciones potenciales, las adaptaciones y las amenazas o estresores pueden interpretarse a partir de un análisis de vulnerabilidad con un enfoque socioambiental a diferentes escalas (Arellano, 2010; Magaña et al., 2012; Mileti, 1999; Turner, 2003).

En la cuenca RGC-LM se presenta una problemática multifactorial respecto al abastecimiento de agua limpia en las comunidades. Las condiciones ambientales, las fuentes de abastecimiento, la calidad del agua, las condiciones de uso del suelo y acuíferos, las instituciones formales y no formales, y las políticas públicas aplicables, entre otros factores, generan diversas interacciones que pueden considerarse como estresores o amenazas potenciales (Arellano, 2010; Toledo, 2006; Wisner, 2003). Estos estresores generan impactos en la disponibilidad y calidad del agua para consumo humano y, a su vez, diferentes respuestas humanas y ambientales.

---

<sup>27</sup> La información de este capítulo es una síntesis del trabajo de tesis de maestría de Espinosa, S. (2018). Análisis de vulnerabilidad de la población ante el deterioro de los sistemas de abastecimiento de agua en la cuenca del río Grande de Comitán, Chiapas. Posgrado de Ciencias de la Sostenibilidad, UNAM. México.

## Métodos

Se realizó una revisión de metodologías de análisis de vulnerabilidad y se consideró la elaboración de indicadores utilizando datos oficiales, la representación de los resultados en índices y la clasificación de la vulnerabilidad en diferentes categorías. Para el análisis se utilizaron variables cualitativas y cuantitativas, y se elaboró un índice de vulnerabilidad global e índices de vulnerabilidad social, ambiental, económica y administrativa (Espinosa, 2018, p. 19), basados en los métodos implementados por Ortega-Velazco et al. (2016), Pereira (2007) y Escolero et al. (2016) en cuatro localidades de la cuenca Juznajib, La Patria, 24 de abril y Tzisco. Los indicadores ambientales pueden ser útiles para evaluar el deterioro potencial de las fuentes de abastecimiento de agua, en tanto que los indicadores sociales y económicos se enfocan en el acceso y manejo de agua limpia. Por último, los indicadores administrativos describen la influencia de las instituciones gubernamentales en materia de agua, salud y desarrollo social en las localidades.

Con respecto a la aplicación de cuestionarios en los hogares, el tamaño de muestra fue de 100 personas. De este total, 25 cuestionarios fueron realizados intencionalmente en cada localidad, por ser un método eficiente en estudios poblacionales (Schettini y Cortazzo, 2015). Las entrevistas fueron realizadas a actores clave relacionados con la administración del servicio de agua potable en la localidad (Espinosa, 2018, p. 19). En la Figura 32 se describen las actividades realizadas.



Figura 32. Metodología de la investigación sobre vulnerabilidad socioambiental en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas.

## Resultados

Los resultados del análisis de vulnerabilidad por localidad y factor se muestran en la Tabla 15.

Tabla 15. Índices de vulnerabilidad en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas.

	Ambiental	Social	Económico	Administrativo	Global
Juznajib	0	0	0.51	0	0
La Patria	1	0.52	0.36	0.16	0.69
24 de abril	1	0.74	0	1	1
Tzisco	0.03	1	1	0.41	0.86

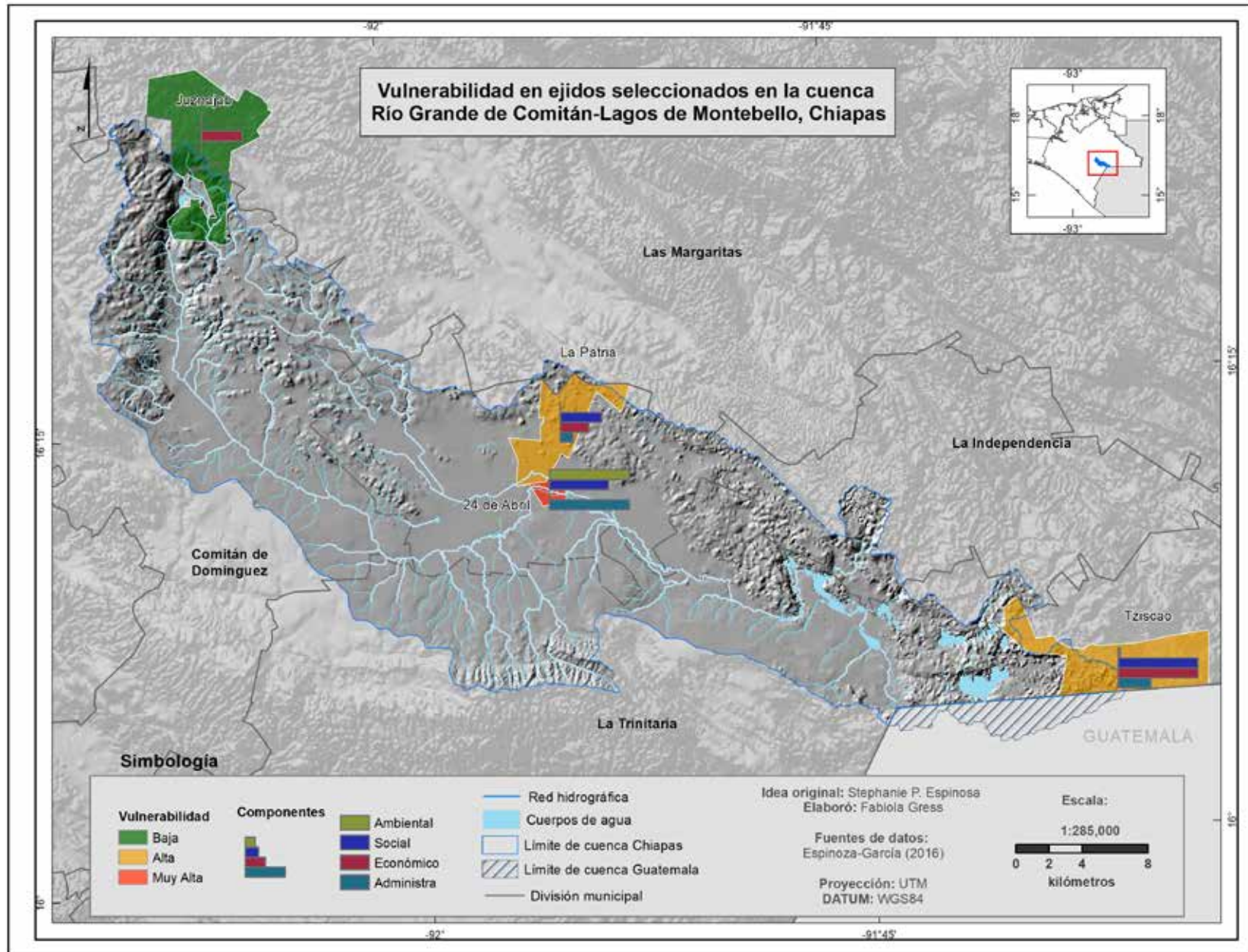
Los resultados del análisis indican que la comunidad de Juznajib se encuentra dentro de la categoría “baja” con respecto a la vulnerabilidad total. La variable que más influye en su vulnerabilidad es la económica. La comunidad de La Patria se encuentra dentro de la categoría “alta” con respecto a la vulnerabilidad total, y la localidad de 24 de abril se encuentra en la categoría “muy alta” en la clasificación de la vulnerabilidad total. Por último, la comunidad de Tzisco se encuentra dentro de la categoría “alta” con respecto a la vulnerabilidad total (Mapa 40) (Espinosa, 2018, p. 52).

## Conclusiones

El análisis de vulnerabilidad permitió representar la característica multifactorial del acceso al agua limpia en comunidades rurales, demostrando que, a pesar de estar ubicados en la misma región geográfica, los resultados fueron distintos en cada componente. La metodología mejoró la comprensión local de los diferentes procesos, ya que las encuestas y las entrevistas complementaron la interpretación de los índices generados.

Las principales problemáticas ambientales son la falta de zonas de recarga del acuífero en la cuenca media y la susceptibilidad a la lixiviación. Las problemáticas de acceso al agua fueron la falta de gestión gubernamental de sistemas de abastecimiento eficientes y la inequidad a nivel local con respecto a la distribución. En aspectos económicos, se identificó la falta de producción equitativa, debido a las grandes extensiones de cultivo de jitomate, de los cuales solo una parte de la población se beneficia. Por último, con respecto a la salud, se han identificado intoxicaciones y decesos por el uso de agroquímicos. Asimismo, las enfermedades diarreicas tienen una temporalidad de incidencia.





Mapa 40. Vulnerabilidad en ejidos seleccionados en la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello, Chiapas.

## Referencias

- Arellano-Monterrosas, J. L. (2010). Gestión integral de Recursos Hídricos para reducir la vulnerabilidad a deslizamientos e inundaciones en las cuencas de la Sierra Madre de Chiapas. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 2(1), 23-37.
- Escolero, O., Kralisch, S., Martínez, S. y Perevochtchikova, M. (2016). Diagnóstico y análisis de los factores que influyen en la vulnerabilidad de las fuentes de abastecimiento de agua potable. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 68(3), 409-427.
- Espinosa-García, S.P. (2018). Análisis de la vulnerabilidad de la población ante el deterioro de los sistemas de abastecimiento de agua en la cuenca del Río Grande de Comitán, Chiapas. [Tesis de maestría, Posgrado de Sostenibilidad, Universidad Nacional Autónoma de México]. México. 86 pp.
- Magaña Rueda, V. O., Vargas Huipe, N., Galguera Rosas, G. y Neri, C. (2012). *Estudio para sistematizar propuesta metodológica de Análisis de Vulnerabilidad bajo Cambio Climático*. Instituto Nacional de Ecología.
- Mileti, D. S. (1999). *Disasters by design*. Edit. Joseph Henry. Washington D.C. <http://www.nap.edu/readingroom.php?book=disastersbydesign&page=>
- Ortega, D., Velasco, I., De la Cruz, J. y Castellano, H. (2016). *Metodología para calcular índices de vulnerabilidad ante la sequía en los organismos de cuenca en México*. Instituto Mexicano de Tecnologías del Agua. XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Lima, Perú.
- Pereira, K. (2007). *Vulnerabilidad del abastecimiento del agua potable en el municipio de El Alto*. Instituto Francés de Investigación para el desarrollo. [http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/divers16-05/010045025.pdf](http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers16-05/010045025.pdf)
- Schettini, P. y Cortazzo, I. (2015). *Análisis de datos cualitativos en la investigación social. Procedimientos y herramientas para la interpretación de la información cualitativa*. Universidad de la Plata. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). Argentina.
- Toledo, V. (2006). *Ecología, espiritualidad, conocimiento*. 2a ed. Editorial Gaia. México.
- Turner, B. L., Kasperson, R. E., Matson, P. A., McCarthy, J., Corell, R. W., Christensen, L., Eckley, N., Kasperson, J. X., Luers, A., Martello, M. L., Polsky, C., Pulsipher, A. y Schiller, A. (2003). A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *PNAS*, 100(14), 8075-8079.
- Wisner, B., Blaikie, P., Cannon, T. y Davis, I. (2003). At risk natural hazards, people's vulnerability and disasters (pp. 134). *Routledge Second Edition. United Kingdom*.

## CAMBIO CLIMÁTICO<sup>28</sup>

*Abisay Haro, Juan David Mejía Ciro y Paola Massyel García Meneses*

El cambio climático se refiere a la variación del estado del clima, que se puede identificar en las variaciones en la media y/o la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos periodos de tiempo, generalmente décadas o una mayor temporalidad. Según la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), el cambio de clima "se atribuye directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que suma a la variabilidad natural del clima, observada durante periodos de tiempo comparables" (IPCC, 2018). Los cambios en la variabilidad climática por las actividades antropogénicas han afectado todos los ecosistemas marinos y terrestres del planeta. Estas modificaciones hacen del estudio del cambio climático un tema relevante y prioritario. La forma empleada para evaluar el impacto del clima a futuro es a través de la generación de escenarios de cambio climático, en conjunto con propuestas y aplicación de medidas de mitigación y/o adaptación que podrían funcionar según la región de estudio.

Las condiciones climáticas actuales de la cuenca presentan una temperatura media anual de 18°C, y una precipitación promedio anual de 1,370 mm. Para los escenarios de cambio climático que consideran una disminución ligera de los GEI para el año 2070, se proyecta una temperatura media anual de 21.6°C, lo que significaría un aumento de 2.3°C con respecto a la temperatura base. En el caso de

la precipitación, se proyectan 1,391 mm/año, lo que significaría una disminución de 0.62% con respecto a la precipitación base. Para un escenario más severo que considera una nula o marginal disminución de los GEI, bajo el mismo horizonte temporal, se proyecta una temperatura media anual de 23.1°C y una precipitación de 1,350 mm/año, lo que significa un aumento de 3.9°C, y una disminución de 1.03% con respecto al presente, respectivamente. Es importante mencionar que, bajo diferentes condiciones de emisión de GEI (de bajos a muy altos), hacia el 2070 se proyecta una temperatura media anual en el rango de 20.6°C a 24.9°C, lo cual significaría un aumento de hasta 5.6°C en los escenarios más críticos. En el caso de la precipitación anual, las proyecciones varían, con una disminución de hasta 35.2%, y un aumento de 18.5%, con respecto a la precipitación actual, para un escenario intermedio y crítico, respectivamente.

Estas trayectorias dependerán de acciones de mitigación y de políticas a nivel nacional e internacional que se implementen para la disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub>, así como en las acciones de adaptación y reducción de riesgos que se realicen a nivel estatal y municipal, tales como Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) y Adaptación basada en Ecosistemas (AbE). Los escenarios de cambio climático son una simulación de posibles comportamientos del clima a futuro; sin embargo, este comportamiento a futuro dependerá en

---

28 Para la construcción de escenarios climáticos se consideran los Modelos Generales de Circulación (GCM por sus siglas en inglés) y las posibles concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) en los próximos años, lo cual da pie a diferentes niveles de calentamiento de la Tierra. Para el análisis climático de la cuenca se utilizaron los datos climatológicos diarios de CLICOM del Servicio Meteorológico Nacional a través de su plataforma web del CICESE (<http://clicom-mex.cicese.mx/>). Las observaciones del CLICOM son diarias y representan los datos recopilados durante las últimas 24 horas. Cada una de las diferentes estaciones del país contiene diferentes periodos de información, pero se pueden encontrar datos de 1920 a 2012.

gran medida de las acciones de conservación, restauración, mitigación, adaptación y política que se realicen en la actualidad en la zona. Dar difusión sobre el futuro climático de las localidades dentro de la cuenca a corto, mediano y largo plazo ayuda a tomar medidas ante los efectos del cambio climático.

## Referencias

- CLICOM. (2021, Junio). CLlimate COMputing project. Servicio Meteorológico Nacional. <http://clicom-mex.cicese.mx/>
- Fajardo, J., Corcoran, D., Roehrdanz, P., Hannah, P., & Marquet, P. (2020). GCM compareR: A web application to assess differences and assist in the selection of General Circulation Models for climate change research. *Methods in Ecology and Evolution*, 11(5), 656-663. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13360>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2018). Annex I: Glossary. <https://www.ipcc.ch/reports/>
- Moss, R. H., Edmonds, J. A., Hibbard, K. A., Manning, M. R., Rose, S. K., Van Vuuren, D. P., Carter, T. R., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G. A., Mitchell, J. F. B., Nakicenovic, N., Riahi, K., Smith, S. J., Stouffer, R. J., Thomson, A. M., Weyant, J. P. & Wilbanks, T. J. (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463(7282), 747-756. <https://doi.org/10.1038/nature08823>
- UNEP-WCMC y UNEP. (2019). Making EbA an effective part of balanced adaptation strategies: Introducing the UNEP EbA briefing notes [Brochure]. <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/28174/EBA1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

## MIGRACIÓN POR CAMBIO CLIMÁTICO<sup>29</sup>

Juan David Mejía Ciro y Paola Massyel García Meneses

Uno de los impactos sociales del cambio climático se relaciona con las migraciones humanas, en particular de poblaciones que dependen de la agricultura como medio de vida. Las variaciones rápidas y/o progresivas de las condiciones climáticas afectan la producción de alimentos y las personas suelen verse presionadas a tomar medidas tales como la migración. La migración, sin embargo, es una estrategia para hacer frente a cambios económicos, políticos, sociales o ambientales (Black et al., 2011), y es una respuesta indirecta al cambio climático. La migración es una decisión que se toma a nivel individual y de hogares o comunidades que depende de otros factores como su percepción al cambio, su habilidad o capacidad de responder a este (Thiede, Gray, y Mueller, 2016). Es importante resaltar que la migración es una estrategia de adaptación de último recurso, que será utilizada solo después de que se agoten las estrategias disponibles *in situ* (Nawrotzki y DeWaard, 2016), dentro de las cuales se encuentra la intensificación y diversificación de cultivos o la adopción de nuevas tecnologías en el caso de las poblaciones dependientes de la agricultura.

De acuerdo con los datos obtenidos del Consejo Nacional de Población (CONAPO), en las proyecciones de población de México 2016-2050, la tasa o saldo neto migratorio para el estado de Chiapas entre 2015 y 2020 es de -1.19, lo que indica que este estado tiene un mayor número de emigrantes (124,562) que inmigrantes (61,103). De particular importancia para el estado de Chiapas, las migraciones internas han estado vinculadas con diversos procesos como

industrialización, urbanización, mercados laborales, crecimiento urbano y decrecimiento demográfico del campo (Castillo Ramírez, 2019). Las migraciones internas contemporáneas desde Chiapas se remontan a la década de 1970, con trabajadores chiapanecos buscando la inserción laboral en mercados emergentes como el turismo en Quintana Roo o la extracción petrolera en Tabasco (Villafructe Solís y García Aguilar, 2014).

Estudios recientes de migración y cambio climático en México han demostrado que los factores adversos como el incremento de sequías y meses calientes han provocado movimientos humanos internos en el país, sobre todo entre el 2000 y 2010 (Nawrotzki et al., 2017). También se demostró que bajos niveles de precipitación se relacionan con la migración de zonas rurales en México en donde una reducción de la precipitación en un 20% por debajo de los niveles medios incrementa la migración en un 10% (Barrios Puente, Pérez y Gitter, 2016). En el caso de Chiapas, los impactos de desastres de origen hidrometeorológico, como huracanes, han propiciado migraciones tanto internas como internacionales y los cambios progresivos en las condiciones ambientales como la deforestación, la erosión de suelos y la desertificación han jugado un papel importante en la migración, sobre todo por su importancia para la producción agrícola (Alscher, 2010). En los últimos años ha sido notable el abandono paulatino de las actividades agrícolas (particularmente la agricultura milpera), debido a los bajos rendimientos que se obtienen. Lo anterior ha provocado que muchos

---

29 Este trabajo constituye una síntesis del artículo: The analysis of the causes of climate change-related internal migration of rural households in Chiapas, Mexico: A qualitative approach. *Frontiers in Human Dynamics*, section Migration and Society. Enviado el 14 de Agosto de 2021.

productores migren en busca de nuevas fuentes de ingreso (Comisión Nacional del Agua, Instituto Estatal del Agua; Comité de Cuenca del Río Grande-Lagunas de Montebello, 2009).

En un acercamiento a campo realizado durante los primeros meses del 2020 a la cuenca media (localidad El Triunfo), se implementó la técnica cualitativa de observación participante mediante visitas a productores en sus parcelas. De igual forma, se tuvo contacto con autoridades agrarias y miembros de comités ejidales, así como también con académicos y miembros de organizaciones de la sociedad civil. La investigación se desarrolló en tres ejes: 1) la interacción con el medio biofísico y las problemáticas ambientales; 2) las actividades productivas de la comunidad y el grado de vinculación de las problemáticas del medio biofísico y la actividad productiva; y 3) las causas de la migración. En la Figura 33 se presenta una clasificación de las causas de la migración a las que 31 personas hicieron referencia de acuerdo con las categorías de los determinantes: social, político, ambiental y económico de la migración (Black et al., 2011). Las causas uno, dos y tres corresponden a diferentes momentos (ordenados cronológicamente) en los cuales los productores mencionaron una causa de la migración durante el desarrollo de la interacción o conversación que se tuvo con ellos.

En la Figura 33 se puede observar que los determinantes ambientales (la mayoría relacionados con la ausencia de lluvias o el desplazamiento de las temporadas de lluvias) corresponden al 58.1% de las causas uno, mientras que otros determinantes económicos y sociales corresponden al 12.9% y 29.0%, respectivamente. Sin embargo, a medida que las personas van profundizando en las posibles causas de la migración, los factores económicos van ganando más peso. Es así como en la causa tres dichos determinantes corresponden a un 35.5% versus los ambientales (12.9%) y sociales (6.5%).

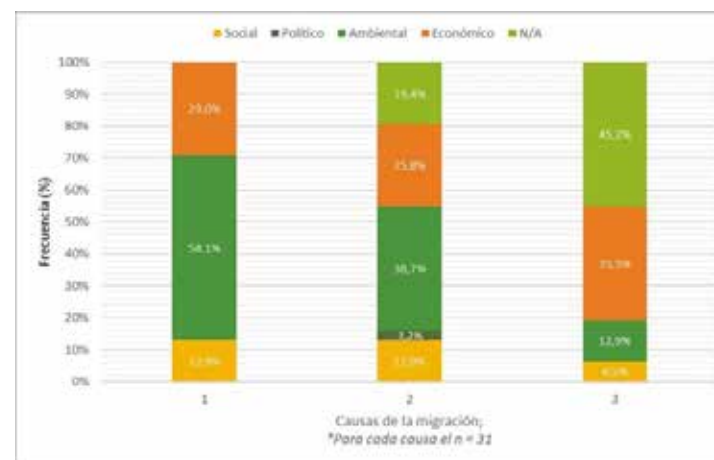


Figura 33. Diagrama de frecuencias de los determinantes de migración en tres momentos de una misma conversación con productores.

Este trabajo de campo permitió visualizar también que los productores de la región han tomado distintas estrategias frente a los cambios en el socioecosistema, tales como: actividades turísticas, producción de café, caña de azúcar, cultivos de hortalizas y migración interna. En la cuenca media se ha intensificado el cultivo comercial de hortalizas, sobre todo con el cultivo de jitomate, que es regado de agua de pozos, norias y en particular del río Grande de Comitán. Este cultivo se realiza bajo malla-sombra o invernaderos y requiere de un intensivo uso de agroquímicos para el control de plagas y enfermedades (Comisión Nacional del Agua, Instituto Estatal del Agua, y Comité de Cuenca del Río Grande-Lagunas de Montebello, 2009). La introducción de este tipo de cultivos tecnificados ha requerido de una mayor inversión para la producción de alimentos por parte de los productores y, como consecuencia, ha generado un incremento en el riesgo que existe en la actividad agrícola, dejando a las personas y sus medios de vida más vulnerables económica y ambientalmente a los cambios a los que puedan enfrentarse.

Los factores históricos, socioeconómicos y climáticos presentados en este documento evidencian que la migración en la cuenca es un proceso actual de respuesta a los distintos cambios que implicarán una mayor presión en el futuro debido a modificaciones en las condiciones climáticas. Es importante tener en cuenta que la migración no es necesariamente el peor escenario y no debería ser vista como un resultado negativo que debiera ser impedido (Piguet, Pécou, y de Guchteneire, 2011). Por último, una adaptación como la migración es usualmente impuesta sobre sociedades y localidades dados ciertos cambios no deseados (Nelson, Adger y Brown, 2007), incluidas las migraciones debidas a distintos tipos de violencias, que no se abordan en este capítulo, pero que también son un factor latente. Los factores considerados anteriormente deberían ser razón suficiente para poner en marcha todas las estrategias que puedan mitigar los impactos del cambio climático.

## Referencias

- Alscher, S. (2010). Environmental Factors in Mexican Migration: The Cases of Chiapas and Tlaxcala. *In Environment, Forced Migration and Social Vulnerability*, 1–271. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-12416-7>
- Barrios Puente, G., Perez, F. y Gitter, R. J. (2016). The Effect of Rainfall on Migration from Mexico to the United States. *International Migration Review*, 50(4), 890–909. <https://doi.org/10.1111/imre.12116>
- Black, R., Adger, W. N., Arnell, N. W., Dercon, S., Geddes, A. y Thomas, D. (2011). *The effect of environmental change on human migration*. *Global Environmental Change*, 21(SUPPL. 1), S3–S11. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.10.001>
- Castillo Ramírez, G. (2019). Migraciones internas en México. Miradas desde la Geografía Humana (1st ed., Issue 1). Instituto de Geografía. UNAM.
- Comisión Nacional del Agua, Instituto Estatal del Agua, Comité de Cuenca del Río Grande-Lagunas de Montebello. (2009). *Plan de Gestión de la Cuenca del Río Grande-Lagunas de Montebello*. [https://transparencia.comitan.gob.mx/ART74/I/DESARROLLO\\_RURAL/plan\\_de\\_gestion\\_cuencas.pdf](https://transparencia.comitan.gob.mx/ART74/I/DESARROLLO_RURAL/plan_de_gestion_cuencas.pdf)
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2015). *Hombres y Mujeres en México 2015*. [http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva\\_estruc/702825075019.pdf](http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825075019.pdf)
- Nawrotzki, R. J. y DeWaard, J. (2016). Climate Shocks and the Timing of Migration from Mexico. *Population and Environment*, 38(1), 72–100. <https://doi.org/10.1007/s11111-016-0255-x>

- Nawrotzki, R. J., DeWaard, J., Bakhtsiyarava, M. y Ha, J. T. (2017). Climate shocks and rural-urban migration in Mexico: exploring nonlinearities and thresholds. *Climatic Change*, 140(2), 243–258. <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1849-0>
- Nelson, D. R., Adger, W. N. y Brown, K. (2007). Adaptation to Environmental Change: Contributions of a Resilience Framework. *Annual Review of Environment and Resources*, 32(1), 395–419. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.32.051807.090348>
- Piguet, E., Pécout, A. y de Guchteneire, P. (2011). Migration and climate change: An overview. *Refugee Survey Quarterly*, 30(3), 1–23. <https://doi.org/10.1093/rsq/hdr006>
- Secretaría de Gobernación y Consejo Nacional de Población (CONAPO). (2013). *Prontuario de migración interna*. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/99594/Prontuario\\_Migracion\\_Interna\\_2013.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/99594/Prontuario_Migracion_Interna_2013.pdf)
- Thiede, B., Gray, C. y Mueller, V. (2016). Climate variability and inter-provincial migration in South America, 1970–2011. *Global Environmental Change*, 41, 228–240. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.10.005>
- Villafuerte Solís, D. y García Aguilar, M. C. (2014). Tres ciclos migratorios en Chiapas: interno, regional e internacional. *Migración y Desarrollo*, 12(22), 3–37. <https://doi.org/10.35533/myd.1222.dvs.mcga>







# **PERSPECTIVAS A FUTURO**

## V. PERSPECTIVAS A FUTURO

“En cada viaje, de manera imperceptible, el paisaje iba cambiando”. Esta idea, tomada de la presentación de este libro, alude a la necesidad y al móvil de ahondar en las causas y los mecanismos que han llevado a la alteración gradual de la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello desde hace ya algunos años. Uno de los productos de la copiosa y pertinente investigación que se ha desarrollado en la zona se ha cristalizado en este atlas, que concentra no solamente los esfuerzos y el trabajo de científicas y científicos que han aplicado variadas metodologías cualitativas y cuantitativas, sino también el conocimiento local que los pobladores de la cuenca nos han compartido. Además, aun cuando el eje rector en la creación de este atlas ha sido la elaboración de un conjunto de representaciones gráficas que muestren la situación actual de la cuenca, el diseño y la ejecución de las investigaciones presentadas aquí han permitido explorar y recorrer la cuenca de manera que se han detonado diversas reflexiones y se han abierto vías y perspectivas para el futuro, que se sintetizan a continuación.

A pesar de la gran riqueza biológica, hidrológica y cultural de la región de los altos de Chiapas, en la cuenca prevalece una creciente desigualdad social. El ambiente rural se distribuye en localidades muy aisladas y carentes de servicios básicos de agua, de saneamiento y de salud, afectando severamente a los grupos más vulnerables, mujeres, grupos indígenas, niños, adultos mayores y personas con discapacidad. Ante estas realidades, el abordaje del deterioro ambiental carece de relevancia para los pobladores. Sin embargo, es importante resaltar que, sin un ambiente saludable, el desarrollo social y económico no pueden ocurrir.

El objetivo principal que llevó a este grupo de investigadores a trabajar en esta zona fue el evidente deterioro de los lagos de Montebello, particularmente los lagos de la zona noroeste o de planicie. Las causas principales de este deterioro surgen de las múltiples actividades humanas que se han desarrollado desde tiempos prehispánicos, pero que se han incrementado de forma importante desde la década de 1950. La deforestación creciente de la cuenca ha favorecido la erosión y ha permitido el crecimiento de las áreas dedicadas a la agricultura y a los asentamientos humanos. Estos crecimientos han traído consigo el aporte de una gran cantidad de desechos, tales como aguas negras y grises, aguas de retorno agrícola, fertilizantes y plaguicidas, así como contaminantes emergentes.

En este sentido, resulta urgente tomar medidas sobre el crecimiento urbano y agrícola, así como el vertimiento de sus respectivos residuos, ya sea por vía superficial hacia el río Grande de Comitán o por la percolación de estos contaminantes a los sistemas de agua subterránea. Las medidas de control deberán ser acompañadas de acciones de restauración de los lagos que actualmente se encuentran afectados. Por lo tanto, los monitoreos constantes son fundamentales para tener un registro a largo plazo, que puede ser integrados con estudios sobre la concentración de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo, así como de bioindicadores que permitan conocer con mayor precisión el estado de la calidad del agua a nivel de cuenca.

Los resultados de los análisis microbiológicos muestran una presencia heterogénea sobre la concentración de bacterias fecales en diversos cuerpos de agua. Por tal motivo, es recomendable diseñar intervenciones que permitan reducir los aportes de materia fecal en los sitios con mayor concentración, lo cual beneficiaría tanto a los

pobladores locales como a los usuarios del agua en la zona baja de la cuenca. Para ello, resulta importante el tratamiento adecuado del agua residual que se genera en los centros de población más grandes, con el propósito de aprovechar el agua para otros usos y así evitar la contaminación microbiológica de los cuerpos receptores. Debido a que la cuenca es un sistema kárstico, el agua subterránea constituye una fuente de abastecimiento importante para la población y, aunque las cargas de bacterias fecales son menores, es necesario mejorar la calidad de esta agua. De acuerdo con las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (2017), la combinación de métodos de desinfección para mejorar la calidad del agua para uso y consumo humano aportan mejores resultados en comparación con el uso de un solo método. En ese sentido, se recomienda hacer una filtración previa a la desinfección del agua, que puede llevarse a cabo, a su vez, por ebullición, cloración o la adición de plata coloidal, etc., antes de consumirla.

En el aspecto biológico, hemos visto que la cuenca funciona como un importante reservorio de biodiversidad terrestre y acuática. Por lo tanto, resulta clave la cooperación y el trabajo integral entre las autoridades de la ANP Lagunas de Montebello y las autoridades y población de las comunidades que habitan dentro del Parque. Esto permitirá que se conserven los servicios ecosistémicos que brinda esta importante área de conservación y que, a su vez, se asegure el principal medio de vida, el turismo, del cual dependen las comunidades dentro de la ANP. También consideramos relevante que se sigan fomentando espacios como el Orquideario y Jardín Botánico de Comitán, ya que estos sitios ayudan a conservar ecosistemas clave como los humedales, que son ecosistemas de gran importancia biológica y ecológica, en particular para las aves. La apertura de estos espacios también permite que la población de la cuenca pueda conocer más al respecto de la importancia biológica de la región que habitan.

Los proyectos con enfoque transdisciplinario representan una oportunidad de co-construcción entre la academia, sociedad civil, gobierno y comunidades para la aproximación de soluciones más reales, que impulsen beneficios para la población y los ecosistemas. A través de la información obtenida a lo largo de estos años de investigación en la zona, se pueden crear planes de acción para la mejora no solamente en acceso a agua, sino en desarrollo social y conservación de la cuenca.

La aguda transformación de los elementos biofísicos que forman parte de la cuenca Río Grande de Comitán-Lagos de Montebello ha tenido como consecuencia un llamado de atención cada vez mayor por parte de todos los que en ella habitan e intervienen, desde los usuarios y usufructuarios hasta servidores públicos de los tres niveles de gobierno, sociedad civil organizada y la academia. Por ello, contribuir a formar una sociedad cada vez más informada deberá permitir una reflexión social hacia una reconstrucción de la realidad.

Este trabajo ha sido el esfuerzo de 10 años de investigación y colaboración en la cuenca. A lo largo de este tiempo hemos ido creciendo, consolidándonos como equipo y colaborado cada vez más con las comunidades para entender de manera integrada y con la visión de socioecosistema las problemáticas y áreas de oportunidad en las que podemos seguir trabajando en conjunto con ellos. Creemos que el trabajar como equipo, inter, multi o transdisciplinario puede acelerar los procesos para promover el bienestar para los pobladores de territorios tan diversos e importantes a nivel estatal y nacional, desde el punto de vista social, cultural, ecológico, paisajístico, hidrológico, geográfico y geológico.

## Lista de participantes y afiliaciones

1. Aguirre Cortés, Efrain. Instituto de Investigaciones Sociales (IIS), Universidad Nacional Autónoma de México.  
**aguirre\_efrain@yahoo.com.mx**
2. Alcocer Durand, Javier. Grupo de Investigación en Limnología Tropical, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. **jalcocer@unam.mx**
3. Alvarado Velázquez, Jannice. Posgrado de Ciencias de la Sostenibilidad, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. **jazz.alvarado.velazquez@gmail.com**
4. Ávila García, Daniela. Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza (FMCN); Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). **davilag@ciencias.unam.mx**
5. Bonifaz Alfonso, María del Rosario. Secretaria de Medio Ambiente e Historia Natural del Estado de Chiapas.  
**marirros.bonifaz@gmail.com**
6. Bonifaz Alfonso, Roberto. Estación BSRN Selegua, Servicio Solarimétrico mexicano, Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México. **bonifaz@unam.mx**
7. Campos López, Marcela. Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad (LANCIS), Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. **maclo0228@gmail.com**
8. Carmona Jiménez, Javier. Laboratorio de Ecosistemas de Ribera, Departamento de Ecología y Recursos Naturales. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.  
**jcj@ciencias.unam.mx**
9. Caro Borrero, Angela Piedad. Laboratorio de Ecosistemas de Ribera. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. **angelacaro@ciencias.unam.mx**
10. Castro Miguel, Rutilio. Escuela Nacional de Ciencias de la Tierra (ENCIT), Universidad Nacional Autónoma de México.  
**rutilio.castro@encit.unam.mx**
11. Cervantes Bieletto, María O. Dirección Regional Frontera Sur, Istmo y Pacífico Sur, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). **ocervantes@conanp.gob.mx**
12. De la Vega Rivera, Alfonso. Coordinación Universitaria para la Sustentabilidad, Universidad Nacional Autónoma de México.  
**alfonso.delavega@unam.mx**
13. Escolero, Óscar<sup>1</sup>. Departamento de Dinámica Terrestre Superficial. Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México. **escolero@geologia.unam.mx**
14. Espinosa García, Ana Cecilia. Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad (LANCIS), Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. **anna.espinosa.garcia@gmail.com**
15. Espinosa García, Stephanie Paola. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).  
**stephanie.espiga@gmail.com**
16. Fernández, Rocío. Grupo de Investigación en Limnología Tropical, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. **biol.fernandez@gmail.com**

17. Fernández Reyes, Jesús Adrián. Posgrado de Ciencias de la Sostenibilidad, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. **adrianfdezreyes@gmail.com**
18. García Meneses, Paola Massyel. Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad (LANCIS), Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México.  
**paola.garcia@ecologia.unam.mx**
19. Gress Carrasco, Fabiola. Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad (LANCIS), Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. **fabiola.gress.carrasco1@gmail.com**
20. Haro, Gemma Abisay. Posgrado de Ciencias de la Sostenibilidad, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México.  
**abisay@gmail.com**
21. Hernández Bautista, Blanca E. Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad (LANCIS), Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. **bautista@ecologia.unam.mx**
22. Hernández Magaña, Elisa A. Nordcee, Department of Biology, University of Southern Denmark, Odense M, Denmark.  
**elisa@biology.sdu.dk**
23. Hjort Colunga, Erick. Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad (LANCIS), Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. **erick.hjort@icloud.com**
24. León Mendoza, Jesús Alejandro. Parque Nacional Lagunas de Montebello (PNLM), Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). **jesus.leon@conanp.gob.mx**
25. López Anaya, Elizabeth Alessandra. Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad (LANCIS), Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México.  
**alessandra.lopez.anaya@gmail.com**
26. Mazari Hiriart, Marisa. Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad (LANCIS), Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. **mazari@unam.mx**
27. Mejía Ciro, Juan David. Posgrado de Ciencias de la Sostenibilidad, Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México.  
**juanmejia89@gmail.com**
28. Merino Ibarra, Martín. Unidad Académica de Ecología y Biodiversidad Acuática, Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. **mmerino@cmarl.unam.mx**
29. Merino Pérez, Leticia. Instituto de Investigaciones Sociales, Universidad Nacional Autónoma de México. **merinoleticia@gmail.com**
30. Monzón Zavalza, Diana Guadalupe. Cátedra Unesco de Sostenibilidad (CUS), Instituto de Sostenibilidad, Universidad Politécnica de Cataluña. **dianamonzon1@gmail.com**
31. Mora Palomino, Lucy. Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía (LANGEM), Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México. **lmora@geologia.unam.mx**
32. Olea Olea, Selene. Departamento de Dinámica Terrestre Superficial. Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México. **selene.olea.olea@ciencias.unam.mx**
33. Orozco Martínez, Claudia Lina. **clomtz@ciencias.unam.mx**

**34.** Oseguera, Luis A. Grupo de Investigación en Limnología Tropical, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México. **loseguera@unam.mx**

**35.** Prado Pano, Blanca. Programa Universitario de Estudios Interdisciplinarios del Suelo, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México. **bprado@geologia.unam.mx**

**36.** Rivera, Erika M. Programa de Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. **montserrat\_rh@ciencias.unam.mx**

**37.** Rodríguez Izquierdo, Emilio. Instituto de Investigaciones Sociales (IIS), Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad, Instituto de Ecología (LANCIS-IE), Universidad Nacional Autónoma de México. **13emil@gmail.com**

**38.** Salas Sánchez, Aída Isabel. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. **aidasan@ciencias.unam.mx**

**39.** Sánchez Montero, Pedro. Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural, Chiapas. **psanchez@semahn.gob.mx**

**40.** Sosa Aranda, Inari. Departamento de Geografía, Universidad de British Columbia. **inaris\_sosa91@hotmail.com**

**41.** Vargas, Mariana. Programa de Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México. **marianavs@me.com**

**42.** Vega Sánchez, Haydeé. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. **hvegasanchez@hotmail.com**

**43.** Zambrano González, Luis. Laboratorio de Restauración Ecológica, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. **zambrano@ib.unam.mx**









## ÍNDICE FOTOGRÁFICO

### Portada

© Adrián Fernández Reyes.

### Fotografía 1

© Jannice Alvarado Velázquez. 1

### Fotografía 2

© Marisa Mazari Hiriart. 2

### Fotografía 3

© Marisa Mazari Hiriart. 4

### Fotografía 4

© Jannice Alvarado Velázquez. 6

### Fotografía 5

© Jannice Alvarado Velázquez. 9

### Fotografía 6

© Marisa Mazari Hiriart. 10

### Fotografía 7

© Jannice Alvarado Velázquez. 14

### Fotografía 8

© Abisay Ortíz Haro. 38 - 39

### Fotografía 9

© Jannice Alvarado Velázquez. 46

### Fotografía 10

© Jannice Alvarado Velázquez. 64 - 65

### Fotografía 11

© Marisa Mazari Hiriart. 76

### Fotografía 12

© Adrián Fernández Reyes. 82 - 83

### Fotografía 13

© Jannice Alvarado Velázquez. 90 - 91

### Fotografía 14

© Marisa Mazari Hiriart. 102 - 103

### Fotografía 15

© Jannice Alvarado Velázquez. 128

### Fotografía 16

© Adrián Fernández Reyes. 136 - 137

### Fotografía 17

© Adrián Fernández Reyes. 148 - 149

### Fotografía 18

© Marisa Mazari Hiriart. 162 - 163

### Fotografía 19

© Jannice Alvarado Velázquez. 178 - 179

### Fotografía 20

© Marisa Mazari Hiriart. 184 - 185

### Fotografía 21

© Jannice Alvarado Velázquez. 198

### Fotografía 22

© Adrián Fernández Reyes. 204 - 205

### Fotografía 23

© Marisa Mazari Hiriart. 206





