Fondo Sectorial de Investigación Ambiental Semarnat-Conacyt

1 y 2 de junio de 2017

SEMARNAT
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

Fondo Sectorial de Investigación Ambiental Semarnat-Conacyt

1 y 2 de junio de 2017

SEMARNAT
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

Contenido

CONTAMINACIÓN DEL AIRE

Mortalidad asociada a la temperatura en zonas metropolitanas de México 15
- Introducción 15
- Planteamiento y desarrollo de la investigación 16
  - Diseño y población de estudio 16
  - Recolección de datos 16
- Análisis estadístico 18
- Principales resultados 18
- Aprovechamiento para el sector ambiental 21
  - Bibliografía 21

Análisis de polen atmosférico, bioindicador de los efectos del cambio climático en la calidad del aire en Sonora 23
- Introducción 23
- Planteamiento y etapas de la investigación 24
  - Etapa 1 (primer año) 24
  - Etapa 2 (segundo año) 24
  - Etapa 3 (tercer año) 25
- Resultados de la etapa 1 25
  - Diversidad de aeroalérgenos registrados durante 2016 25
  - Calidad biológica del aire durante 2016 en Hermosillo, Sonora 27
  - Aplicación de los resultados e impactos en la comunidad 27
  - Bibliografía 30

Biomarcadores de disfunción endotelial en población que utiliza biomasa como fuente de energía 31
- Introducción 31
- Desarrollo y resultados de la investigación 32
- Conclusión y perspectivas 35
  - Bibliografía 36

Impacto económico y en salud asociado a contaminación atmosférica en ciudades mexicanas 37
- Introducción 37
- Resultados 39

Exposición a $PM_{2.5}$ y asociación entre salud y nivel socioeconómico en la ZMVM con datos ENSANUT 2006-12 45
Introducción 46
Objetivo 46
ENSANUT y eventos de salud 46
Medición y asignación de la exposición 47
1. Red de monitoreo ambiental 47
2. Modelo satelital 47
Análisis de asociación 48
Avances y resultados preliminares 48
Resultados esperados 48
Bibliografía 51

CAMBIO CLIMÁTICO

Los lagos del Nevado de Toluca, México ante los impactos del cambio ambiental global 53
Introducción 53
Planteamiento y desarrollo de la investigación 54
Principales resultados de la investigación 56
Limnología 56
Paleolimnología 56
El socioecosistema 56
Potencial de aprovechamiento para el sector ambiental 58
Bibliografía 58

Vulnerabilidad y resiliencia al cambio climático en sistemas socioecológicos periurbanos 59
Introducción 59
Desarrollo de la investigación 60
La investigación consistió en tres etapas: 60
Resultados 60
Primera etapa 60
Segunda etapa 62
Tercera etapa 64
Conclusiones 64

Efecto del cambio climático en la contracción del hábitat de mamíferos endémicos de alta montaña 65
Introducción 65
Objetivo 67
Bibliografía 70

Construcción de un índice de vulnerabilidad climática para el estado de San Luis Potosí 71
Introducción 71
Diagnóstico cuantitativo de vulnerabilidad 72
Índices cuantitativos de vulnerabilidad climática (IVC) 72
Condición de vulnerabilidad climática en San Luis Potosí 73
Potencial de aprovechamiento 76
Bibliografía 76

La fenología de frutos de la duna costera de la península de Yucatán 77
Introducción 77
Desarrollo de la investigación 78
Resultados 78
Aplicaciones 82
Bibliografía 82

La heterogeneidad de superficie en la valoración del cambio climático. Altiplano mexicano 83
Introducción 83
Tendencias climáticas y heterogeneidad de superficie 84
Área de Estudio 85
Fuentes de información y variables de estudio 86
Resultados 86
Uso potencial 89
Bibliografía 89

Variabilidad temporal y espacial de dióxido de carbono y metano en México 91
Introducción 91
Planteamiento y desarrollo de la investigación 92
Resultados 92
Potencial de aprovechamiento para el sector ambiental 94
Bibliografía 94

Impactos del cambio climático en la distribución potencial del maíz nativo en Tlaxcala, México 95
Introducción 95
Materiales y métodos 96
Resultados 96
Recomendaciones 97
Potencial 98
Bibliografía 98

Monitoreo y estudios forestales basados en vehículos aéreos no tripulados en el estado de Nuevo León 99
Introducción 99
Acerca de los VANT 100
Estudios forestales utilizando VANT 101
Estudios con VANT en el Parque Ecológico Chipinque 101
Conclusiones 102
Bibliografía 104

El cambio climático y la población de medusa *Stomolophus meleagris* en el Golfo de California 105
Introducción 105
Planteamiento y desarrollo de la investigación 106
Principales resultados de la investigación 107
Variabilidad interanual en la dinámica, abundancias y distribución de la medusa 108
Papel ecológico de la medusa 110
Potencial de aprovechamiento para el sector ambiental 110
Bibliografía 111

Cambio del patrón de lluvias en la concentración de elementos traza en agua subterránea de zonas áridas 113
Introducción 113
Principales resultados de la investigación 116
Potencial de aprovechamiento para el sector ambiental 118
Bibliografía 118

Impactos socioambientales del cambio climático en las cuencas de los ríos Conchos y Usumacinta 119
Introducción 119
Procedimientos y resultados 120
Potencial de aplicación 124
Bibliografía 124

Las inundaciones en Veracruz y Boca del Río: ¿qué hacer? 125
Introducción 125
Planteamiento y desarrollo de la investigación 126
Principales resultados 126
Los flujos de agua en la cuenca baja 126
Capacidad del suelo para almacenar agua 127
Los humedales y las áreas naturales protegidas 128
Cambio de uso del suelo y mapeo de vegetación 128
Utilidad de la información generada 130
Bibliografía 130

Respuesta de la flora del Desierto Chihuahuense al cambio climático 131
Introducción 131
Hipótesis 132
Material y métodos 132
Resultados 133
Potencial de aprovechamiento 136
Bibliografía 136

Modelos de distribución de especies, hábitats y poblaciones humanas ante el cambio climático 137
Introducción 137
Planteamiento y desarrollo de la investigación 138
Resultados 142
¿Qué se tiene hasta ahora? 142
Usuarios potenciales de resultados y productos 143
Bibliografía 144

Vulnerabilidad del sistema socioambiental del Golfo de Ulloa ante escenarios de cambio climático 145
Introducción 145
Definición del problema 146
Planteamiento y desarrollo de la investigación 147
Principales resultados de la investigación 147
Metas alcanzadas al término de la primera etapa del proyecto: 147
Meta 1 147
Meta 2 149
Meta 3 149
Meta 4 149
Meta 5 149
Potencial de aprovechamiento 149
Bibliografía 150

Isótopos estables y diversidad de peces en Laguna de Términos: indicadores del cambio climático 151
Introducción 151
Planteamiento y desarrollo de la investigación 153
Principales resultados de la investigación 155
Bibliografía 157

Recubrimiento sustentable a base de fibras naturales para muros interiores de viviendas 159
Introducción 159
Planteamiento y desarrollo 160
Discusión y resultados de la primera etapa 160
Bibliografía 162
Conclusiones de esta primera etapa 162

Programa de innovación científica dentro de la actividad pesquera en Bahía Magdalena, BCS 163
Introducción 163
Planteamiento y desarrollo de la investigación 164
Principales resultados de la investigación 164
Compilación de información pesquera 164
Generación de datos espaciales y pesqueros 166
Análisis de información espacial 167
Redes de mercado[6] 168
Aprovechamiento para el sector ambiental 170
Bibliografía 170

Aprovechamiento sustentable del maguey sacatoro (*Agave angustifolia* Haw.) en el estado de Guerrero 171
Introducción 172
Planteamiento y desarrollo de la investigación 172
Metodología 173
Resultados 174
Aprovechamiento 176
Bibliografía 176

Valorización del pelo de desecho de la industria de la curtiduría para la alimentación avícola 177
Introducción 177
Planteamiento y desarrollo de la investigación 178
Principales resultados de la investigación 179
Generación de valor 180
Bibliografía 181

Sistema inteligente aplicado a la restauración de suelos con producción de caña de azúcar 183
Introducción 183
Desarrollo del proyecto 184
Resultados 184
Mecanismo de extracción de muestras 184

Sensor capacitivo 186
Análisis de color y textura del suelo mediante visión artificial 187
Sistema inteligente de correlación de variables 187
Bibliografía 188
Potencial de aprovechamiento 188

Materiales compuestos poliméricos a partir de fibras de *Agave cupreata* para fabricar mobiliario escolar sustentable 189
Introducción 189
Etapa 1 190
Materiales y métodos 190
Tratamiento superficial de las fibras de agave 191
Peróxido de dicumilo (DCP) 191
N-[3-(trimetoxisilil) propil] etilendiamina (TEVS) 191
DCP y TEVS 191
Caracterización de las fibras mediante FTIR, microscopía óptica y ATG 191
Resultados 192
Potencial de aprovechamiento 194
Bibliografía 194

Desarrollo tecnológico de *Cordia elaeagnoides* en el municipio de Tumbiscatío, Michoacán, México 195
Introducción 195
Planteamiento y desarrollo de la investigación 196
Etapas 196
Evaluación de rodales semilleros 196
Estudio dasonómico 196
Selección de árboles 196
Recolección del material vegetativo 197
Pruebas de viabilidad 197
Pruebas de germinación 197
Resultados 197
Evaluación de RS 197
Características densitométricas de los RS 197
Pruebas de viabilidad y germinación 199
Aprovechamiento 201
Bibliografía 201

VALORACIÓN ECONÓMICA

Valoración económica de los servicios ecosistémicos de las islas del Golfo de California 203
Introducción 203

Planteamiento y desarrollo de la investigación 204
Principales resultados preliminares 206
Bibliografía 208
Aprovechamiento para el sector ambiental 208

Biodiversidad y servicios ambientales en una cuenca periurbana de la Ciudad de México 209
Introducción 209
Principales resultados 213
Transferencia de información 213
Formación de recursos humanos 213
Bibliografía 213

Integridad ecosistémica de una comunidad indígena frente al crecimiento de la ciudad de Ixmiquilpan, Hidalgo 215
Introducción 215
Área de estudio 217
Materiales y métodos 219
Sitios de muestreo 219
Preparación del suelo 219
Caracterización fisicoquímica del suelo 220
Inventario florístico 221
Estructura florística 221
Creación de viveros 221
Fortalecimiento 221
Valoración económica 222
Resultados y discusión 222
(Avance: mayo de 2017; 50%) 222
Inventario florístico 222
Calidad de los suelos de la comunidad 224
Bibliografía 226
Creación de vivero con tres especies autóctonas 226

Valoración de servicios ecosistémicos en áreas naturales protegidas de la Sierra Madre de Chiapas 227
Introducción 227
Aspectos metodológicos 228
Área de estudio 228
Propuesta metodológica 230
Servicios ecosistémicos 230
Modelación prospectiva 231
Valoración económica 231

Resultados 232
Aprovechamiento para el sector ambiental 232
Bibliografía 233

GESTIÓN ECONÓMICA

Expansión urbana de Ciudad Obregón en relación con la tenencia de la tierra en el Valle del Yaqui, Sonora 235
Introducción 235
Planteamiento y desarrollo de la investigación 236
Resultados 237
Potencial de aprovechamiento 240
Bibliografía 241

Ubicación de futuros rellenos sanitarios intermunicipales en el Estado de México y entidades aledañas 243
Introducción 243
Planteamiento y desarrollo de la investigación 244
Resultados 245
Aprovechamiento para el sector ambiental 246
Bibliografía 247

Impacto de emisiones móviles y fijas en una zona urbana, una suburbana y una periurbana del centro de México 249
Introducción 250
Planteamiento 250
Desarrollo 251
Resultados 252
Potencial de aprovechamiento 255
Bibliografía 256

Ubicación de futuros rellenos sanitarios, considerando aspectos físicos, ecológicos y socioeconómicos 257
Introducción 257
Planteamiento y desarrollo de la investigación 258
Resultados 260
Potencial de aprovechamiento para el sector ambiental 262
Bibliografía 263

Siglas, acrónimos y abreviaturas 265

Mortalidad asociada a la temperatura en zonas metropolitanas de México

Magali Hurtado Díaz[1]
RESPONSABLE TÉCNICA

Julio César Cruz de la Cruz[a]
Iván Gutiérrez Ávila[a]
Horacio Riojas Rodríguez[a]
Nenetzen Saavedra Lara[a]
José L. Texcalac Sangrador[a]
Aurelio Tobías[b]

[1] Licenciada en Informática, egresada del Instituto Tecnológico de Zacatepec. Maestra y candidata a doctora en Ciencias en Salud Ambiental por la Escuela de Salud Pública de México. Investigadora en Ciencias Médicas del Centro de Investigaciones en Salud Poblacional del Instituto Nacional de Salud Pública. Participó en la 3ª y la 4ª Comunicación Nacional de México ante el Convenio Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático y en el grupo de trabajo para la revisión y análisis de las normas NOM-025-SSA1-1993 y NOM-020-SSA1-1993 para evaluar la calidad del aire ambiente (PST, PM_{10} y $PM_{2.5}$ y O_3).

[a] Instituto Nacional de Salud Pública, Cuernavaca, Mor., México.

[b] Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Barcelona, España.

RESUMEN

Estudio ecológico que emprende la evaluación del efecto de la temperatura en la mortalidad por causas vasculares, respiratorias y no accidentales, en adultos mayores de 65 años que viven en diez conglomerados urbanos, que corresponden a ciudades de México con más de un millón de habitantes.

PALABRAS CLAVE

mortalidad; cardiovasculares; temperatura; variabilidad climática

Introducción

En el siglo xx la población mundial aumentó de 1,600 millones a 7,000 millones y, por vez primera, más de la mitad se asentó en entornos urbanos. América Latina es la región más urbanizada del mundo, con aproximadamente 75% de la población viviendo en zonas urbanas (UNEP 2007). En México, a partir de 2010, 78% de la población vive en localidades urbanas (INEGI 2010). El desarrollo urbano tiene un efecto sobre el clima local, documentado ampliamente en la literatura científica (Steward 2012). Jáuregui ha argumentado que las diferencias observadas

de temperatura del aire urbano-rural se atribuyen al fenómeno llamado "isla de calor", y que hay otros elementos, como la humedad, el viento y la radiación solar, que se modifican en centros urbanos (Jáuregui 1988). La temperatura, humedad, velocidad y dirección del viento juegan un rol importante en los patrones de calidad del aire (Bernard *et al.* 2001; Kinney *et al.* 2008), por lo que estudios recientes han comenzado a evaluar la influencia de los factores climáticos sobre la salud de las poblaciones que viven en ciudades con problemas de contaminación atmosférica. En México, el interés por el efecto de la temperatura sobre la salud se ha centrado en el sistema respiratorio, y en años recientes en enfermedades cardiovasculares, que constituyen la primera causa de muerte en el país, con una tasa de 125 muertes por cada 100 mil habitantes, y 141, 141 y 137 muertes por cada 100 mil habitantes en las zonas metropolitanas del Valle de México, Monterrey y Guadalajara, respectivamente (SS-SEED 2010).

Estas consideraciones hacen urgente la generación de evidencia científica acerca del riesgo por influencia de los cambios de temperatura sobre las enfermedades cardiovasculares en entornos urbanos. Por ello, el objetivo de este estudio es evaluar la asociación entre la temperatura y la mortalidad diaria por causas cardiovasculares y cerebrovasculares en la población mayor de 65 años en zonas metropolitanas de México.

Planteamiento y desarrollo de la investigación

Diseño y población de estudio

Se realizó un estudio ecológico, con análisis retrospectivo de series de tiempo, de mortalidad, temperatura y calidad del aire en zonas metropolitanas nacionales con más de un millón de habitantes según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI 2010).

Recolección de datos

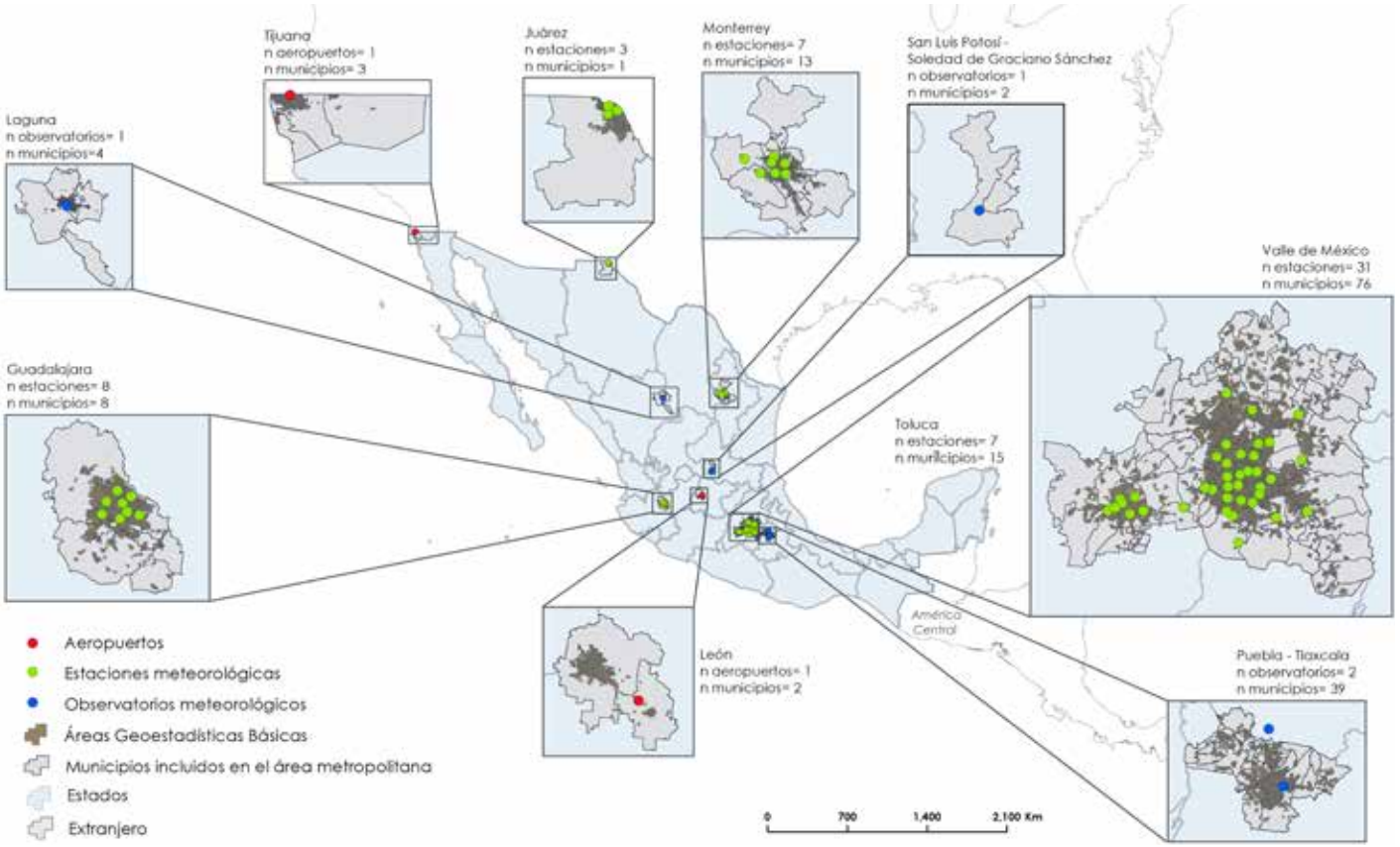
De las once ciudades con más de un millón de habitantes, se consideraron aquellas con Redes Automatizadas de Monitoreo Atmosférico con información disponible de 1998 a 2014 (temperatura, humedad, O_3, PM_{10}, $PM_{2.5}$) en el Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA) del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) (FIGURA 1). Se obtuvieron también para estas ciudades datos horarios de temperatura ambiente y humedad relativa en el Banco Nacional de Datos Climatológicos del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Adicionalmente se utilizaron registros diarios de todas las causas de mortalidad (excluyendo las causas externas, es decir, la

mortalidad por accidentes y lesiones), las cardiovasculares y cerebrovasculares, provenientes de INEGI, para la población residente en las ciudades de estudio.

Para los datos ambientales se consideraron sólo aquellas estaciones meteorológicas y/o de monitoreo atmosférico que cumplieron con 75% de suficiencia de información para el periodo de estudio (1998-2014) y con al menos 75% de mediciones horarias (18 horas). En cuanto a los registros de mortalidad, en cada ciudad se contabilizó el número de muertes diarias por las causas descritas previamente y codificadas según la décima revisión de la Clasificación Internacional de Enfermedades (CIE-10).

FIGURA 1

Zonas metropolitanas y estaciones meteorológicas y de monitoreo de calidad del aire utilizadas en este estudio



A partir de la Zona Metropolitana del Valle de México y la Zona Metropolitana del Valle de Toluca, en sentido directo: San Luis Potosí, SLP; Monterrey, NL; Ciudad Juárez, Chih.; Tijuana, BC; La Laguna de Gómez Palacio, Dgo., Guadalajara, Jal.; León, Gto., y Puebla-Tlaxcala.

Análisis estadístico

Con la información recolectada se estimó la temperatura de mínima mortalidad (TMM), es decir, aquella temperatura en la que ocurre la mínima incidencia de muerte en cada una de las ciudades. Para estimar la relación temperatura-mortalidad se ajustaron modelos Poisson o quasi-Poisson[3] de regresión no lineales con rezagos distribuidos (DLNM, por sus siglas en inglés).[4]

Los rezagos o días previos de exposición evaluados fueron de 0-1, 0-3 y 0-7. En los modelos se incluyeron las variables O_3, PM_{10} o $PM_{2.5}$ (según su disponibilidad), humedad relativa, días de la semana y días festivos. Se utilizaron *"splines"* para controlar tendencias estacionales y a largo plazo (Gasparrini 2015). Finalmente se obtuvo el riesgo relativo (RR) por cada unidad de cambio (incremento o decremento de 1°C) en la temperatura de mínima mortalidad en días previos.

Principales resultados

Las ciudades de estudio, así como las temperaturas y características poblacionales, se presentan en la TABLA 1.

Los resultados del análisis mostraron una asociación no lineal entre la temperatura y la mortalidad en *forma* de J invertida en las ciudades analizadas, excepto para Tijuana, una ciudad con temperaturas extremas en la que la asociación de las variables de interés es en forma de U; es decir, la mortalidad aumenta o disminuye a medida que lo hace la TMM (FIGURA 2).

La TMM en cada ciudad se ubica aproximadamente en el percentil 75 de la temperatura local (FIGURA 3).

En términos de la asociación entre mortalidad y temperatura, el efecto de las temperaturas frías mostró una relación consistente con un rezago 0-7 (exposición del día del evento o día 0 hasta 7 días previos al evento) en la mortalidad por enfermedad cardiovascular.

El porcentaje de cambio en el riesgo fluctuó de 2.3% ($IC_{95\%}$ 0.99-5.3) a 2.9% ($IC_{95\%}$ 2.7-3.3); para las causas respiratorias, de 1.5% ($IC_{95\%}$ 0.96-6.4) a 4.5% ($IC_{95\%}$ 3.9-5.1), y para la mortalidad total, de 2.7% ($IC_{95\%}$ 2.1-2.4) a 2.8% ($IC_{95\%}$ 1.0-4.5).

El efecto de las temperaturas elevadas mostró asociaciones consistentes principalmente con la mortalidad general y rezagos 0-3 en un rango de 0.4% ($IC_{95\%}$ 0.96-5.4) a 4.7% ($IC_{95\%}$ 2.1-2.4) (FIGURA 4).

[3] En el caso de sobredispersión en el conteo de muertes.

[4] *Distributed Lag Non-linear Models.*

TABLA 1

Estadísticas descriptivas de temperatura y mortalidad de las zonas metropolitanas estudiadas

ZM*	Temperatura						Mortalidad total**	Población 2010	Altitud (m.s.n.m.)
	Mín.	$P_{1\%}$	$P_{50\%}$	$P_{99\%}$	Máx.	Periodo			
Valle de México	6.23	10.00	16.56	22.2	25.00	1998-2012	853,240	20,116,842	2,240
Toluca	5.73	8.17	14.15	18.92	20.29	1998-2008	63,251	1,936,126	2,701
San Luis Potosí	2.41	7.75	18.34	24.9	27.78	1998-2010	44,944	1,040,443	1,864
Monterrey	1.19	6.75	23.15	30.76	33.26	2003-2009	166,666	4,106,054	530
Juárez	0.42	4.54	20.98	32.71	35.29	2002-2009	44,704	1,332,131	1,137
Tijuana	7.00	9.00	18.00	27.00	32.00	1998-2014	43,035	1,751,430	31
La Laguna	3.2	9.22	24.35	32.43	33.82	1998-2009	55,766	1,215,817	1,200
Guadalajara	7.57	12.03	20.96	26.81	28.04	1998-2010	198,597	4,434,878	1,566
León	8.00	12.00	20.00	26.00	33.00	1998-2014	28,046	1,609,504	1,815
Puebla-Tlaxcala	5.89	10.34	16.88	21.97	23.99	1998-2010	100,194	2,728,790	2,160

*Zona metropolitana; se presentan en el mismo orden que en la FIGURA 1, en sentido directo.
**Excepto mortalidad por causas externas.

TABLA 2

Rangos de las TMM por causas de mortalidad

Las TMM estimadas fluctuaron entre:			Para la mortalidad por:
16.1°C ($IC_{95\%}$ 15.7-16.9)	–	27.4°C ($IC_{95\%}$ 27.1-27.9)	Todas las causas
16.2°C ($IC_{95\%}$ 15.5-18.9)	–	27.6°C ($IC_{95\%}$ 27.1-28.5)	Causas cardiovasculares
15.5°C ($IC_{95\%}$ 15-20)	–	27.5°C ($IC_{95\%}$ 3-30)	Causas cerebrovasculares
16.5°C ($IC_{95\%}$ 13.2-20.2)	–	27.7°C ($IC_{95\%}$ 26.9-30.8)	Causas isquémicas
16.1°C ($IC_{95\%}$ 15.7-17.5)	–	27.7°C ($IC_{95\%}$ 27.2-29)	Causas respiratorias

FIGURA 2

Estimación de la TMM ($IC_{95\%}$) a partir de la asociación temperatura ambiente-mortalidad por todas las causas, en adultos mayores de 65 años en Tijuana y la zona metropolitana del Valle de México

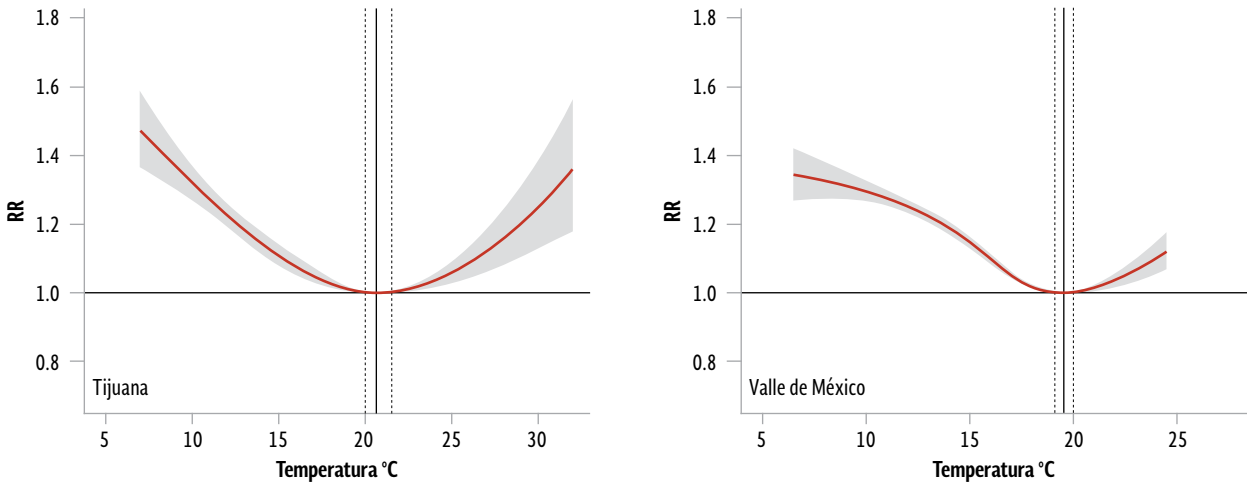


FIGURA 3

Temperatura de mínima mortalidad por todas las causas en población mayor de 65 años, residentes en zonas metropolitanas de México

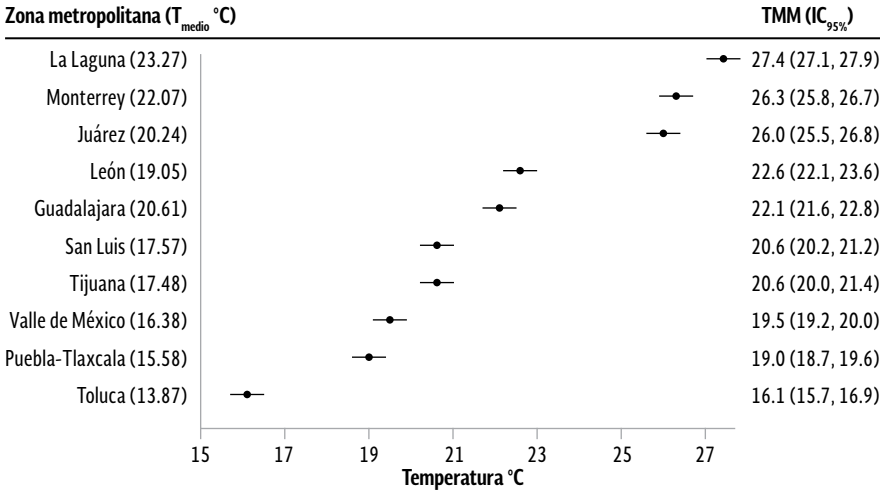
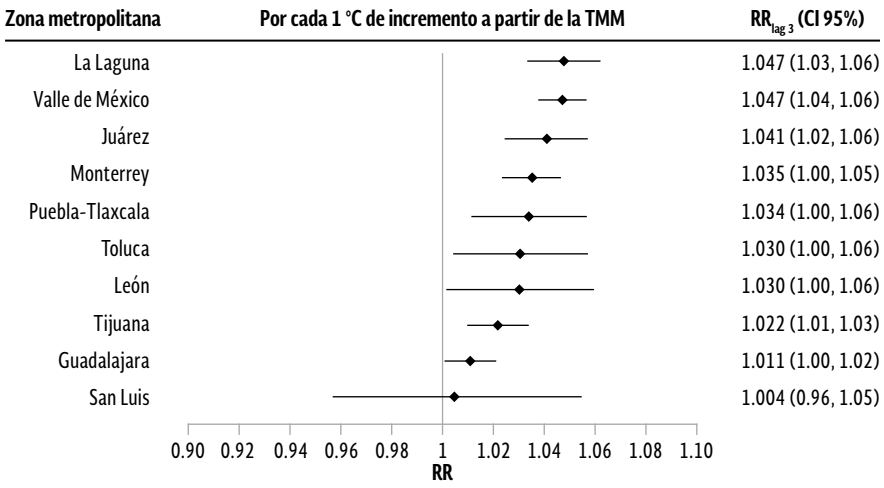
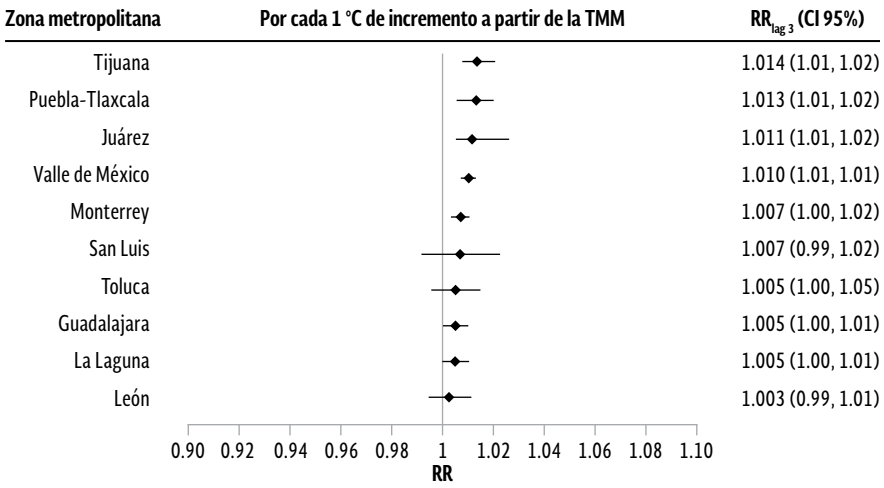


FIGURA 4

Riesgos relativos por todas las causas de mortalidad en mayores de 65 años, residentes en zonas metropolitanas de México





Aprovechamiento para el sector ambiental

Los resultados observados tienen relevancia para el desarrollo de estrategias de planeación, intervención, generación de alertas y disminución de la mortalidad, especialmente en grupos vulnerables, como los adultos mayores. La sensibilidad de las ciudades mexicanas a los diferentes patrones de asociación entre temperatura y mortalidad puede ser útil a las autoridades de salud para implementar medidas de adaptación, con el propósito de reducir al mínimo la carga de la mortalidad atribuible al cambio climático.

Bibliografía

Gasparrini, A., Guo, Y., Hashizume, M., Lavigne, E., Zanobetti, A., Schwartz, J. & Leone, M. (2015). Mortality risk attributable to high and low ambient temperature: a multicountry observational study. *The Lancet*, 386(9991), 369-375.

INEGI 2010. Base de datos en internet. Disponible en: http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?e=09

Jáuregui, E. (1988). Efectos de la urbanización en el clima del valle de México. *Momento Económico* (41-42), 6-7.

Secretaría de Salud. Sistema Estadístico y Epidemiológico de Defunciones (SEED) 2010.

Stewart, I.D., & Oke, T.R. (2012). Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society* 93(12), 1879-1900.

Análisis de polen atmosférico, bioindicador de los efectos del cambio climático en la calidad del aire en Sonora

Carmen Isela Ortega Rosas[1]

[1] Licenciada en Ecología por la Universidad Estatal de Sonora (UES), con doctorado en Geociencias del Ambiente, en Francia, dos años de posdoctorado en la UNAM y siete años de experiencia en la UES. Ha sido miembro del SNI (2009-2011). Las líneas de investigación de su interés son: palinología, paleoecología, cambio climático global, aerobiología y vegetación urbana. Actualmente es responsable técnico del proyecto sobre calidad biológica del aire, financiado por el FSIA Conacyt-Semarnat (263413). Es asesora del gobierno del estado de Sonora para la elaboración del Plan de Acción ante el Cambio Climático y del gobierno municipal para el desarrollo urbano, resiliente y sustentable de la ciudad de Hermosillo, Sonora.

RESUMEN

Resultados del primero de tres años de un proyecto en el que se analiza la variación anual de la concentración de polen y esporas de hongos en la atmósfera de la ciudad de Hermosillo, Sonora, México, para determinar la calidad del aire y sus consecuencias en la salud humana. Se analizan 45 taxones (32 polínicos y 13 de hongos).

PALABRAS CLAVE

aeroalérgenos; calidad del aire; salud humana; cambio climático.

Introducción

El cambio climático influye en la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas (cambios en la fenología, composición y estructura de las comunidades) (Peñuelas *et al.* 2004). El efecto puede ser negativo si llega a alterar la biología de las plantas (Ziska *et al.* 2008) y provoca que éstas emitan partículas que quedan suspendidas en la atmósfera y causen trastornos en la salud humana, como es el caso de algunos tipos de granos de polen y de esporas de hongos que son alérgenos. Según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), cada año ocurren

250,000 muertes por asma. Esto se observa tanto en comunidades rurales como urbanas (WAO 2011). En particular, la incidencia de fiebre y asma en la población de niños y adultos mayores a través del mundo se ha correlacionado con esos alérgenos (D'Amato *et al.* 2007).

Planteamiento y etapas de la investigación

La medición del polen suspendido en la atmósfera puede utilizarse como modelo experimental para estudiar el efecto de la variación climática sobre la salud. En tal contexto, el objetivo de este proyecto es evaluar los cambios en la concentración de partículas atmosféricas de origen biológico a través del tiempo, para predecir los efectos potenciales del cambio global en la calidad del aire.

El estado de Sonora se localiza dentro de una región desértica. El aumento de la temperatura y la disminución en la precipitación pueden afectar a la fenología de floración de las plantas regionales (Lorente *et al.* 2004). Esas modificaciones influirán en la cantidad y distribución estacional de la producción de polen y, por lo tanto, en la concentración de éste en el aire, lo que influye directamente en la salud de la población de la ciudad de Hermosillo y zonas aledañas, a juzgar por la elevada frecuencia de casos de alergia.

La presente investigación se desarrolla en tres etapas anuales. La metodología utilizada es estandarizada a nivel global, según lo indicado por la Red Española de Aerobiología (REA) y la Red Mexicana de Aerobiología (REMA). Las actividades y metas de cada etapa se describen a continuación:

Etapa 1 (primer año)

- Iniciar una red de estaciones de monitoreo aéreo-biológico para el estado de Sonora.
- Determinar la diversidad de tipos polínicos de la atmósfera de la ciudad de Hermosillo e identificar cuáles son alergénicos para los humanos.
- Generar bases de datos de los tipos y concentraciones polínicas para determinar su variación intradiaria y estacional.
- Monitorear todas las variables meteorológicas en las estaciones.

Etapa 2 (segundo año)

- Vincularse con el Sector Salud por medio del Hospital Infantil del Estado de Sonora (HIES) y la Secretaria de Salud del Estado de Sonora, para correlacionar la información aeropolínica obtenida con el registro de pacientes que son tratados por problemas respiratorios (alergias, asmas, etc.).

- Determinar los principales alérgenos causantes de enfermedades en la población muestra para el tratamiento oportuno y recomendar medidas preventivas para la población.

Etapa 3 (tercer año)

- Generar asociaciones climáticas relacionadas con las concentraciones de polen y esporas de tipo alergénico.
- Realizar simulaciones con modelos de dispersión de partículas para explicar las tendencias entre las correlaciones de las variables climáticas y alérgenos en la atmósfera, y poder simular los efectos en la salud humana bajo escenarios de cambio climático.
- Trazar mapas de riesgo para la salud, a partir de la calidad del aire de Hermosillo.
- Generar el primer calendario polínico para Sonora, con cinco años de información.

Resultados de la etapa 1

Diversidad de aeroalérgenos registrados durante 2016

En la TABLA 1 se presentan las concentraciones totales mensuales y la diversidad de polen y esporas de hongos encontrados en la atmósfera de Hermosillo durante el primer año del proyecto (2016).

TABLA 1

Diversidad de polen y esporas encontrados en la atmósfera de Hermosillo durante el año 2016

Polen	Concentración (polen/m³ aire)
Acacia	1.62
Agavaceae	281.40
Alnus	7.0216
Amaranthaceae	690.19
Ambrosia	743.42
Asteraceae Helianthus	54.012
Asteraceae Lactucaea	19.98
Betulaceae	14.04
Burseraceae	194.82
Cactaceae	1.080
Caesalpinioideae	14.583
Celtis	131.25
Cupressaceae	232.01
Euphorbiaceae	38.18
Fabaceae	32.40
Fraxinus	3.08

Polen	Concentración (polen/m³ aire)
Iridiaceae	18.90
Lobeliaceae	54.01
Mimosaceae	2.02
Myrica (Myricaceae)	7.56
Myrtaceae	22.60
Nyctaginaceae	990.50
Parkinsonia	189.58
Pinus	29.16
Poaceae	2337.39
Prosopis	16.74
Quercus	324.61
Rubiaceae	75.07
Scrophulariaceae	143.67
Solanaceae	75.07
Urticaceae	761.93
Zygophyllaceae	44.29

Esporas de hongos	Concentración (esporas/m³ aire)
Agaricus	2071
Alternaria	10,883
Ascospora	8422
Bipolaris	667
Boerlagella	59
Cladosporium	38,857
Dyatripaceae	72
Leptosphaeria	11,761
Myxomicetes	190
Phytomices	56
Smuts	1317
Spormiella	174
Torula	27,059
Otros	49

En la FIGURA 1 se muestran los principales taxones polínicos de tipo alergénico hallados. Para los pólenes: *Poaceae* (pastos), con 31% del total; *Chenopodiaceae-Amarantaceae* (quelites), 10%; *Ambrosia* (fiebre del heno), 9.8%; *Nyctaginaceae* (buganvilia), 13%, y *Fabaceae* (leguminosas), 7%. Para las esporas de hongos suspendidas en la atmósfera: *Cladosporium* con 38.2%; *Dyatripaceae*, 26.6%; *Boerlagella,* 11.5%; *Alternaria,* 10.7%, y *Ascospores*, 8.2%. En ambos casos se trata de taxones altamente alergénicos.

El comportamiento anual de las concentraciones de aeroalérgenos varía considerablemente (FIGURA 2). Para el caso de pólenes hay dos periodos pico: uno de marzo a abril, con concentraciones de 500 granos polen/m^3 aire, y otro de junio a octubre, con concentraciones entre 800 y 2,450 granos polen/m^3 aire.

El comportamiento anual de las esporas de hongos presenta un solo periodo crítico, con concentraciones muy elevadas de junio a agosto: entre 19,000 y 33,000 esporas de hongos/m^3 aire. Cabe remarcar que estas concentraciones sobrepasan por mucho a las de polen.

FIGURA 1

Diversidad y concentraciones de polen y esporas de hongos en la atmósfera de Hermosillo, Son., en 2016

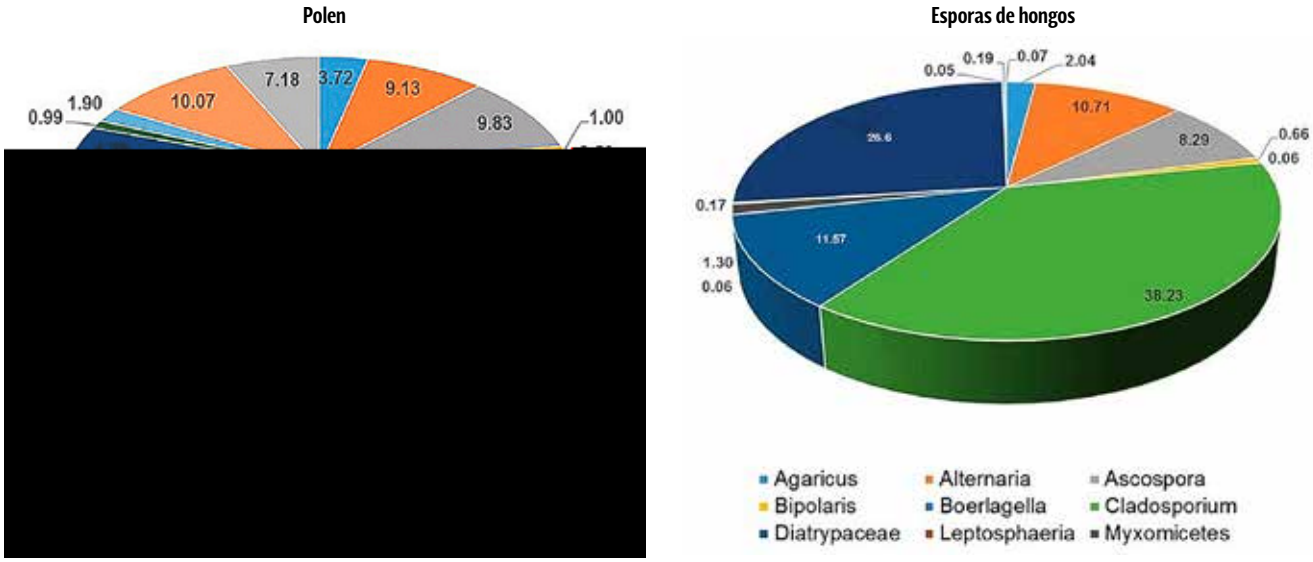
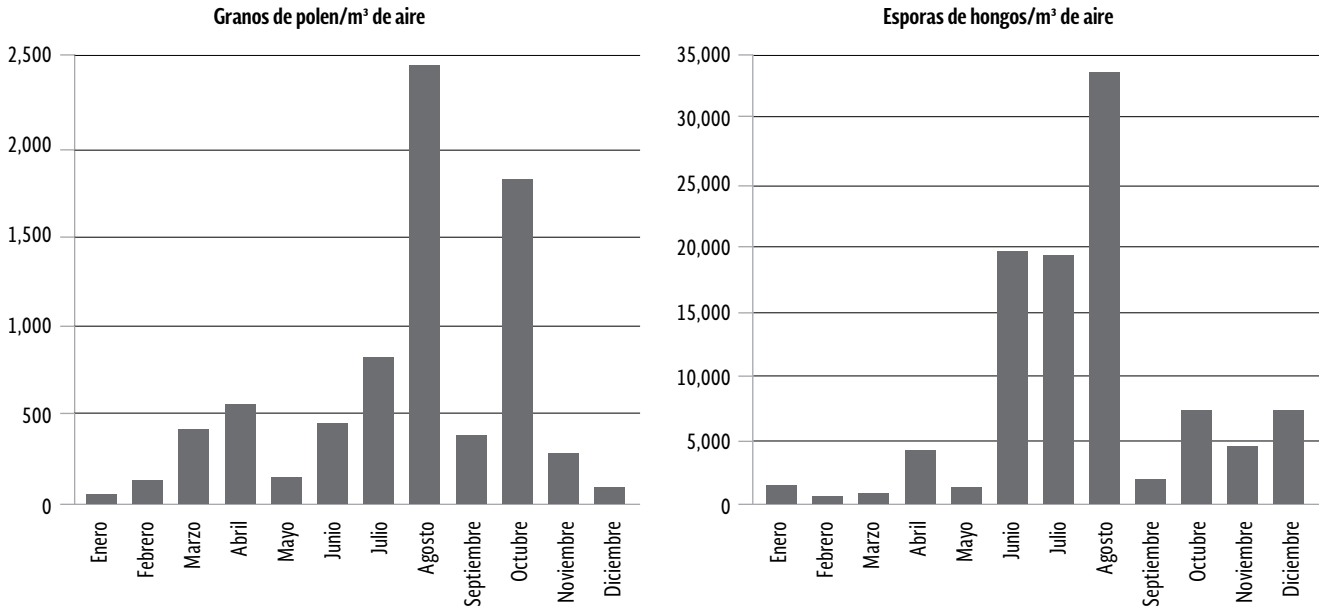


FIGURA 2

Comportamiento mensual de los aeroalérgenos presentes en la atmósfera de Hermosillo, Son., en 2016



Calidad biológica del aire durante 2016 en Hermosillo, Sonora

Según las concentraciones registradas de polen y esporas de hongos en el aire, se concluye que la calidad de éste fue muy mala en los meses de abril, junio, julio y agosto, en comparación con los valores que reportan la REMA y la REA. Esos meses coinciden con el periodo de verano, cuando se combinan las más altas temperaturas y humedades en el ambiente, lo que indica que estos dos parámetros son contundentes en la calidad biológica del aire para esta ciudad.

Aplicación de los resultados e impactos en la comunidad

1. Los resultados de esta investigación impactan directamente sobre varios sectores de la población de Hermosillo y la estatal. Se están generando sistemáticamente semáforos semanales de alerta sobre calidad biológica del aire (véase ejemplo en la FIGURA 3), en los que se informa al público acerca de los tipos de aeroalérgenos que están presentes y se recomiendan medidas preventivas y de precaución para minimizar los efectos negativos ambientales en la salud.
2. El sector académico hará uso de estos datos, ya que proveen información novedosa sobre fenología de las plantas y su relación con el cambio climático.
3. El Sector Salud se ve también beneficiado por esta investigación, ya que se generará el primer calendario polínico con al menos tres años de datos continuos que será útil a los médicos alergólogos del estado y a la población en general para la atención de problemas alérgicos.

FIGURA 3

Dos ejemplos de semáforos de alerta, a propósito de la calidad biológica del aire en Hermosillo, Sonora.

REMA Estación Sonora	Alergenicidad	Actualización en Base de datos							Pronóstico
		03-abr-17	04-abr-17	05-abr-17	06-abr-17	07-abr-17	08-abr-17	09-abr-17	Del 12 al 18 de abril de 2017
Burseraceae (Bursera)	B	Bajo	Nulo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Cactaceae	?	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Caesalpinioideae	B	Nulo	Bajo	Bajo	Nulo	Bajo	Bajo	Nulo	Bajo
Cupressaceae (Ciprés, Junípero, Tuya)	A	Nulo	Nulo	Bajo	Bajo	Nulo	Nulo	Bajo	Bajo
Nyctaginaceae	?	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo	Bajo	Bajo
Parkinsonia	?	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Quercus (Roble, Encino)	A	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Amaranthaceae (Quintonil, Cenizo, Quelite)	A	Muy Alto	Muy Alto	Muy Alto	Muy Alto	Moderado	Muy Alto	Muy Alto	Bajo / Muy Alto
Ambrosia (Ambrosia, Amargosa)	A	Muy Alto	Muy Alto	Muy Alto	Muy Alto	Moderado	Moderado	Muy Alto	Bajo / Muy Alto
Asteraceae-Helianthus (Girasol, Mirasol, Acahual)	A	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Moderado	Moderado
Fabaceae	M	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo	Nulo	Nulo	Bajo
Lobeliaceae	?	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Moderado	Muy Alto	Bajo / Muy Alto
Poaceae (Pastos)	A	Muy Alto	Bajo	Moderado	Muy Alto	Moderado	Moderado	Moderado	Bajo / Muy Alto
Scrophulariaceae	?	Nulo	Bajo	Bajo	Bajo	Moderado	Bajo	Bajo	Moderado
Solanaceae	?	Moderado	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo	Moderado	Moderado
Urticaceae (Ortiga, ortiguilla, Hierba de muro)	A	Bajo	Nulo	Nulo	Nulo	Nulo	Bajo	Bajo	Bajo
Alternaria (Alternaria)	A	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Ascospora (Ascospora)	?	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Cladosporium (Cladosporium)	?	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Myxomicetes (Myxomicetes)	?	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Nulo	Nulo	Bajo
Smuts (Smuts)	?	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Torula (Torula)	?	Bajo	Nulo	Bajo	Nulo	Bajo	Nulo	Nulo	Bajo

Niveles de concentración para granos de polen / m^3 de aire (gp/m^3)

Nulo	Bajo	Moderado	Alto	Muy Alto

Niveles de alergenicidad	
Baja	(B)
Moderada	(M)
Alta	(A)

12 al 18 de abril de 2017

Se pronostica mala calidad biológica del aire respecto a la concentración de granos de polen suspendidos en la atmósfera: los tipos polínicos mantendrán concentraciones bajas, excepto *Amaranthaceae*, *Ambrosia*, *Asteraceae-Helianthus*, *Lobeliaceae*, *Poaceae*, *Scrophulariaceae* y *Solanaceae*, que podrían alcanzar concentraciones moderadas o altas en días soleados o sin lluvia. En el caso de las esporas de hongos, todos los tipos mantendrán concentraciones bajas.

REMA Estación Sonora	Alergenicidad	Actualización en Base de datos							Pronóstico
		24-abr-17	25-abr-17	26-abr-17	27-abr-17	28-abr-17	29-abr-17	30-abr-17	Del 03 al 09 de mayo de 2017
Burseraceae (Bursera)	B	●	○	○	●	●	●	○	●
Cactaceae	?	●	○	●	●	●	●	●	●
Caesalpinioideae	B	●	○	●	○	●	○	○	●
Cupressaceae (Ciprés, Junípero, Tuya)	A	●	●	●	○	○	○	○	●
Nyctaginaceae	?	●	○	○	●	○	○	●	●
Pinus (Pino)	M	○	●	●	○	○	●	○	●
Quercus (Roble, Encino)	A	●	○	●	●	●	●	●	●
Amaranthaceae (Quintonil, Cenizo, Quelite)	A	●	●	●	●	●	●	●	◐
Ambrosia (Ambrosia, Amargosa)	A	●	●	●	●	○	●	●	◐
Asteraceae-Helianthus (Girasol, Mirasol, Acahual)	A	○	○	●	●	●	●	●	●
Fabaceae	M	●	●	●	●	●	○	●	●
Lobeliaceae	?	●	●	●	●	●	○	○	●
Poaceae (Pastos)	A	●	●	●	●	●	●	●	●
Rubiaceae	?	○	●	○	●	○	●	○	●
Scrophulariaceae	?	●	○	○	●	●	○	○	●
Solanaceae	?	●	●	●	●	●	●	○	●
Alternaria (Alternaria)	A	●	●	●	●	●	●	●	●
Arthrinium (Arthrinium)	?	●	○	●	○	●	●	●	●
Ascospora (Ascospora)	?	●	●	●	●	●	●	●	●
Cladosporium (Cladosporium)	?	●	●	●	●	●	●	●	●
Myxomicetes (Myxomicetes)	?	●	●	●	●	●	●	●	●
Smuts (Smuts)	?	●	●	●	●	●	●	●	●
Torula (Torula)	?	○	○	●	●	●	○	○	●

Niveles de concentración para granos de polen / m³ de aire (gp/m³)

Nulo ○	Bajo ●	Moderado ●	Alto ●	Muy Alto ●

Niveles de alergenicidad	
Baja	(B)
Moderada	(M)
Alta	(A)

03 al 09 de mayo de 2017.
Se pronostica mala calidad biológica del aire respecto a la concentración de granos de polen suspendidos en la atmósfera: los tipos polínicos mantendrán concentraciones bajas excepto *Amaranthaceae*, *Ambrosia* y *Poaceae*, que podrían alcanzar concentraciones moderadas o altas en días soleados o sin lluvia. Las concentraciones de esporas de hongos serán bajas.

Bibliografía

D'Amato, G., Cecchi, L., Bonini, S., Nunes, C., Annesi-Maesano, I., Behrendt, H., *et al.* (2007). "Allergenic pollen and pollen allergy in Europe". *European Journal of Allergy and Clinical Immunology* 62(9), 976-990.

Lorente, I., D. Gamo, J.L. Gómez, R. Santos, L. Flores, A. Camacho, L. Galindo, J. Navarro (2004). "Los efectos biológicos del cambio climático". *Ecosistemas* 13(1), 103-110.

Peñuelas, J., S. Sabaté, I. Filella y C. Gracia (2004). "Efectos del cambio climático sobre los ecosistemas terrestres: observación, experimentación y simulación". En: Valladares, F. 2004. *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante.* Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, S.A., Madrid. 425-460 pp.

World Allergy Organization, WAO (2011). *Libro blanco sobre alergia de la WAO*. WAO editors.

Ziska L.H., P.R. Epstein y C.A. Rogers (2008). "Climate change, aerobiology, and public health in the Northeast United States". *Mitig Adapt Strat Glob Change* 13, 607-613.

Biomarcadores de disfunción endotelial en población que utiliza biomasa como fuente de energía

Iván Nelinho Pérez Maldonado[1]
RESPONSABLE TÉCNICO

[2]Tania Ruiz-Vera[a,b]
Ángeles C. Ochoa Martínez[a,b]
Lucía G. Pruneda Álvarez[a,b]

[1] Unidad Académica Multidisciplinaria Zona Media, UASLP, Rioverde, SLP, México. Egresado de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP) en el año 2000. Cursó (2000-2004) la maestría y el doctorado en el Posgrado en Ciencias Biomédicas de la Facultad de Medicina de la misma institución, donde es profesor de tiempo completo, nivel VI, con reconocimiento a perfil deseable PRODEP desde el año 2007. SNI-II. En su producción académica se cuentan 60 artículos científicos publicados en revistas internacionales indizadas, aproximadamente 900 citas totales a sus trabajos publicados y 22 tesis dirigidas (una de licenciatura, trece de maestría y ocho de doctorado).

[2] [a] Laboratorio de Toxicología Molecular, Centro de Investigación Aplicada en Ambiente y Salud, Coordinación para la Innovación y Aplicación de la Ciencia y la Tecnología. [b] Facultad de Medicina. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, SLP, México.

RESUMEN

La exposición a hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)[3] del humo de biomasa es uno más de los factores de riesgo para desarrollar enfermedades cardiovasculares (ECV), esencialmente por inducir disfunción endotelial y aterosclerosis. Implementar formas para obtener energía sin comprometer la salud humana es de suma importancia.

PALABRAS CLAVE

biomasa; HAP; disfunción endotelial; DMAA; FABP4; miR-126

Introducción

Aproximadamente 40% de la población mundial aún depende de los combustibles de biomasa para cocinar y calentar sus viviendas. En México, 22.5 millones de personas utilizan leña como principal fuente de energía. La quema de biomasa

[3] PAH en inglés, por *polycyclic aromatic hydrocarbons*.

en estufas tradicionales como los fogones produce altos niveles de contaminantes, tales como partículas en suspensión (PM) e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), entre otros. La contaminación del aire por el uso doméstico de biomasa es considerada un riesgo a la salud humana. Según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), se estiman 4.3 millones de muertes prematuras anuales, por padecimientos atribuibles a este tipo de contaminación, como son enfermedades respiratorias, cáncer y ECV (WHO 2017).

Según datos de salud en México, las ECV de tipo isquémico –principal causa de mortalidad– son precedidas por disfunción endotelial y aterosclerosis. La primera corresponde a la pérdida de la homeostasis vascular (Deanfield 2007), lo que induce cambios en los niveles de moléculas tales como la dimetilarginina asimétrica (DMAA),[4] la proteína de unión a ácidos grasos (FABP4)[5] y los micro ARN,[6] como miR-126, a través de diferentes vías biológicas.

Desarrollo y resultados de la investigación

En mujeres que cocinan con leña, se evaluó la relación entre la exposición a HAP y la función vascular, utilizando el 1-hidroxipireno (1-OHP) como biomarcador de exposición, cuantificado en orina por cromatografía de líquidos de alta presión (CLAP).[7] Se midió la vasodilatación dependiente del endotelio mediante prueba de reactividad vascular de la arteria braquial, visualizada por ultrasonografía de alta resolución. La concentración media de 1-OHP fue de 0.46 ± 0.32 µmol/mol creatinina.

El 40% de las mujeres presentó disfunción vascular, y se encontró una asociación positiva entre los niveles de 1-OHP mayores a 0.24 µmol/mol creatinina (valor de referencia para población no expuesta ocupacionalmente a HAP y no fumadora) y disfunción vascular ($p= 0.034$; $R^2= 0.13$). Se encontró que es 4.33 veces más probable que se presente disfunción vascular si los niveles de 1-OHP son mayores a 0.24 µmol/mol creatinina (OR= 4.33; CI 95%: 1.11–19.75) (FIGURA 1) (Ruiz Vera *et al.* 2015).

La homeostasis vascular depende en gran parte de la biodisponibilidad de óxido nítrico, cuya formación en el endotelio es catalizada por la enzima óxido nítrico sintasa. Hay un inhibidor endógeno de dicha enzima, DMAA, cuyos niveles aumentados se han asociado al desarrollo de ECV.

[4] ADMA, en inglés.

[5] *Fatty acid binding protein 4.*

[6] miRNA, en inglés.

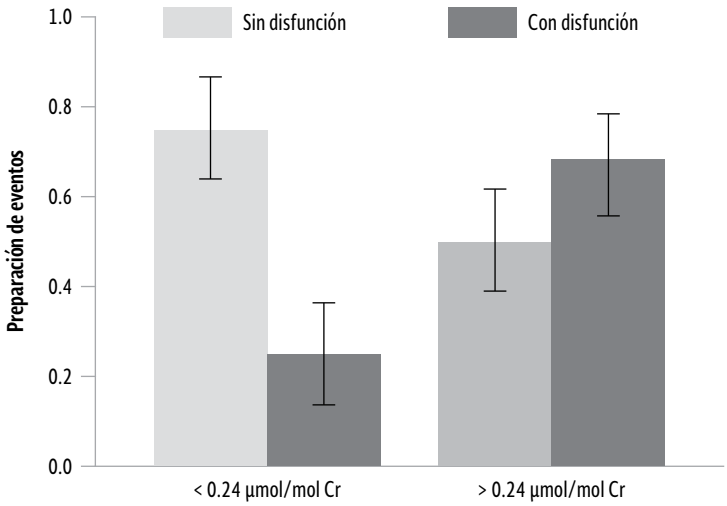
[7] HPLC, en inglés.

Se evaluaron las concentraciones de DMAA en plasma de mujeres de tres diferentes escenarios de exposición a HAP (A: combustión de biomasa; B: industria petroquímica, y C: zona urbana).

FIGURA 1

Función vascular y niveles de 1-OHP en orina (µmol/mol creatinina) en las mujeres evaluadas

Se muestra la proporción de mujeres según presentaran o no disfunción vascular.
Las líneas sobre las barras representan los intervalos de confianza al 95%.

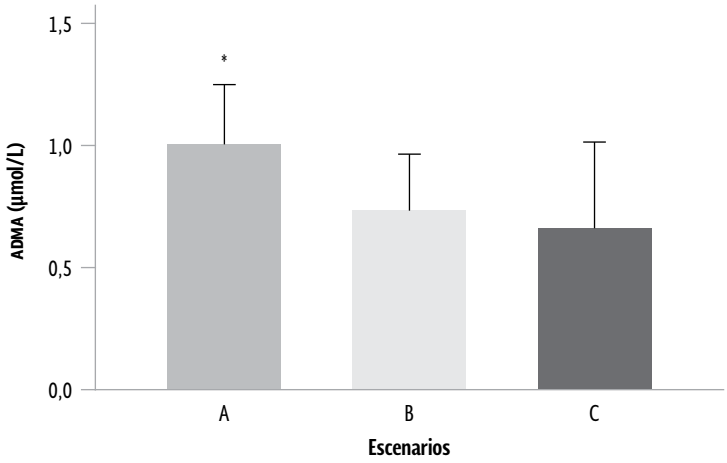


Se cuantificó 1-OHP en orina por CLAP y DMAA en plasma mediante un ensayo por inmunoabsorción ligado a enzimas (ELISA). Las concentraciones de 1-OHP fueron más altas en el escenario A (3.14 µmol/mol) que en el B y el C (0.22 y 0.14 µmol/mol creatinina, respectivamente); asimismo, los niveles de DMAA fueron más altos en las mujeres que usaban biomasa (FIGURA 2), y se encontró una correlación positiva entre los niveles de 1-OHP y las concentraciones de DMAA ($p< 0.01$; r de Spearman= 0.39.) (Pruneda Álvarez *et al.* 2016).

FIGURA 2

Niveles de DMAA en mujeres de los escenarios evaluados (µmol/L)

*p< 0.05 al comparar con los otros escenarios.

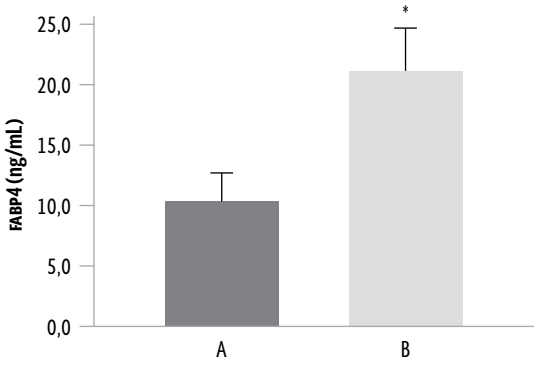


El progreso de disfunción endotelial hacia aterosclerosis es orquestado por un proceso de inflamación vascular mediada por lípidos. En este contexto, hay moléculas reguladoras, como FABP4, que es un mediador del transporte intracelular de ácidos grasos, y miR-126, que actúa como regulador de la inflamación vascular a nivel epigenético. Según lo anterior, se evaluaron los niveles séricos de FABP4 en mujeres de diferentes escenarios de exposición a HAP. Se cuantificó 1-OHP en orina por CLAP y FABP4 en suero mediante ELISA. La concentración media de 1-OHP fue 1.30 ± 1.10 μmol/mol creatinina, y aquellas mujeres que tenían concentraciones de 1-OHP mayores a 0.24 μmol/mol creatinina, a su vez, tenían niveles más elevados de FABP4 (FIGURA 3). Se encontró una asociación positiva entre niveles de 1-OHP y concentraciones de FABP4 después de ajustar por variables de confusión (β: 4.99; $p < 0.001$; R^2: 0.26.) (Ochoa Martínez *et al.* 2016). Respecto a miR-126, se evaluó su expresión en mujeres que cocinan con leña y mujeres que cocinan con gas LP.

FIGURA 3

Concentraciones séricas de FABP4 (ng/mL) en las mujeres evaluadas

Media de los niveles de FABP4 de las mujeres que tenían niveles de 1-OHP en orina:
A < 0.24 μmol/mol creatinina < B; *p <0.05.



Se formaron grupos de mujeres según el tipo de combustible que utilizan, y se realizó una cuantificación relativa de miR-126 en plasma mediante PCR en tiempo real (qRT-PCR).[8] Las mujeres que cocinaban con leña tuvieron los niveles de expresión de miR-126 más altos (FIGURA 4).

Se encontró una asociación positiva entre el uso de leña y los niveles de expresión de miR-126 en plasma después de ajustar por variables de confusión (β: 0.91; $p < 0.01$; R^2: 0.33).

El índice de exposición acumulada al humo de leña (producto del número de años cocinando con leña y el promedio de horas diarias en tal actividad) correlacionó de manera positiva con los niveles de expresión de miR-126 ($p < 0.001$; r de Pearson= 0.57) (FIGURA 5), demostrando que la asociación podría ser dependiente del tiempo de exposición.

[8] Reacción en cadena de la polimerasa; PCR *(polymerase chain reaction)*.

FIGURA 4

Expresión de miR-126 en plasma de mujeres que utilizan leña y en las que utilizan gas LP

Se muestran media geométrica e intervalo de confianza al 95%.
** p < 0.01 al comparar con las mujeres que usan gas LP.

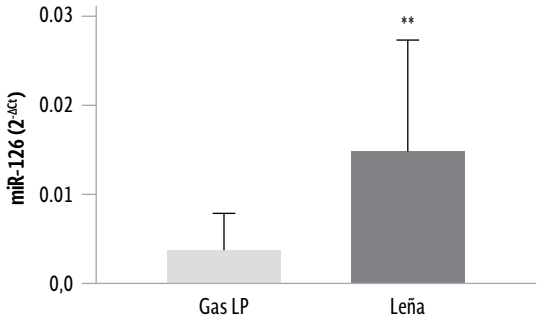
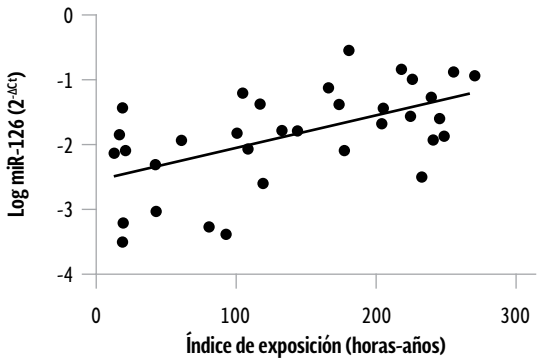


FIGURA 5

Correlación de Pearson entre el índice de exposición acumulada a humo de leña y la expresión de miR-126 en plasma

r= 0.57; p< 0.001.



Conclusión y perspectivas

Los resultados obtenidos contribuyen al conocimiento ya existente acerca del riesgo cardiovascular asociado a la exposición a HAP que se generan en la combustión incompleta de biomasa. La siguiente fase del proyecto será realizar una intervención con estufas ecológicas, para posteriormente evaluar los biomarcadores ya mencionados y el efecto que produce sobre los mismos una reducción en los niveles ambientales de contaminantes del humo de leña.

México enfrenta dos grandes problemáticas: la prevalencia de ECV y la exposición a contaminantes del aire por el uso de biomasa como combustible. Por lo tanto, es de suma importancia la implementación de formas de obtención de energía que no comprometan la salud humana, pero tomando en cuenta los aspectos económicos, geográficos y sociales involucrados en el contexto del uso de combustibles de biomasa por gran parte de la población nacional.

El presente trabajo está enfocado totalmente al área de salud, pero si se considera la quema de biomasa desde un punto de vista global, queda claro que es una práctica que contribuye a la deforestación, por ejemplo, haciendo la problemática más compleja, lo que refuerza la necesidad de un programa integral para enfrentarla.

Bibliografía

WHO | Household (Indoor) Air Pollution. *WHO* [Internet]. 2016 [cited 2017 May 23]; Available from: http://www.who.int/indoorair/en/#

Deanfield J.E., Halcox J.P., Rabelink T.J. Endothelial function and dysfunction: Testing and clinical relevance. *Circulation*. 2007;115:1285–1295.

Ruiz Vera, T., Pruneda Álvarez, L.G., Ochoa Martínez, Á.C., Ramírez GarcíaLuna, J.L., Pierdant Pérez, M., Gordillo Moscoso, A.A., Pérez Vázquez, F.J., Pérez Maldonado, I.N. Assessment of vascular function in Mexican women exposed to polycyclic aromatic hydrocarbons from wood smoke. *Environ Toxicol Pharmacol*. 2015; 40:423-429.

Pruneda Álvarez, L.G., Ruiz Vera, T., Ochoa Martínez, A.C., Pérez Vázquez, F.J., González Palomo, A.K., Ilizaliturri Hernández, C.A., Pérez Maldonado, I.N. Plasma asymmetric dimethylarginine (ADMA) levels in Mexican women exposed to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs): A preliminary study. *Sci Total Environ*. 2016, 572:1195-1202.

Ochoa Martínez, Ángeles C., Ruiz Vera, T., Pruneda Álvarez, L.G., González Palomo, A.K., Almendarez Reyna, C.I., Pérez Vázquez, F.J., Pérez Maldonado, I.N. Serum adipocyte-fatty acid binding protein (FABP4) levels in women from Mexico exposed to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). *Environ Sci Pollut Res*. 2016:1-9.

Impacto económico y en salud asociado a contaminación atmosférica en ciudades mexicanas

Horacio Riojas Rodríguez[1]
RESPONSABLE TÉCNICO

[2]Karla Cervantes Martínez[a]
Angélica García Martínez[a]
Carlos Manuel Guerrero López[a]
Magali Hurtado Díaz[a]
Luz Angélica de la Sierra de la Vega[a]
José Luis Texcalac Sangrador[a]
Pamela Estrellita Zúñiga Bello[a]

[1] Licenciado en Medicina por la UNAM y doctor en ciencias de la salud pública por la Escuela de Salud Pública de México, con área de concentración en epidemiologia. SNI-II. Investigador en ciencias médicas "E" por los institutos nacionales de salud; director de Salud Ambiental, perteneciente al Centro de Investigación en Salud Poblacional del Instituto Nacional de Salud Pública. Coordinador titular del Doctorado en Ciencias en Salud Ambiental. Línea de investigación: ambiente y salud.

[2] [a] Instituto Nacional de Salud Pública.

RESUMEN

Se realizó una evaluación de impacto en salud en México, enfocado sobre doce ciudades del Sistema Urbano Nacional. Los resultados preliminares señalan que alrededor de 17,700 muertes son atribuibles a la contaminación atmosférica y a agentes como PM_{10}, $PM_{2.5}$, SO_2, NO_2 y O_3. Se reporta la primera etapa del proyecto.

PALABRAS CLAVE

contaminación atmosférica; impacto económico; salud pública

Introducción

A la contaminación del aire, un problema sanitario creciente en el país, se le han atribuido más de 20 mil muertes prevenibles.[3] Para refinar ese cálculo, se seleccionaron eventos en salud asociados a ese fenómeno, a partir de una revisión de

[3] Centro Mario Molina. Instituto Nacional de Salud Pública. *Beneficios sociales por mejorar la calidad del aire en México: Impactos a la salud su valoración económica.* Informe, diciembre de 2015, en prensa.

estudios epidemiológicos y la selección de la Función de Concentración Respuesta (FCR). Se determinó la población en función de la cobertura de las redes de monitoreo atmosférico del país, y se estimó su exposición para el año designado (2013). Con esa base de datos se calcularon muertes evitables y años potenciales de vida perdidos, y se actualizaron los métodos para estimar costos derivados de las exposiciones ambientales. Fue también un objetivo la evaluación del impacto económico en doce ciudades del Sistema Urbano Nacional. Con los resultados se realizará una estimación de costos económicos en salud. Los objetivos específicos son:

1. Estimar, mediante análisis espacial, la población en riesgo en cada zona de estudio y la exposición a los contaminantes de interés con base en la información de monitoreo ambiental disponible;
2. identificar los principales efectos que la contaminación del aire tiene sobre la morbilidad y mortalidad y su relación cuantitativa de tipo FCR, así como la frecuencia de estos efectos en la población;
3. identificar y seleccionar el método de estimación de exposición crónica a contaminantes atmosféricos para la evaluación del impacto en cáncer;
4. calcular la carga de morbilidad y mortalidad por causas y grupos de edad, atribuibles a la contaminación del aire, y
5. estimar los costos asociados a la carga de morbilidad y mortalidad atribuible a la contaminación del aire.

Para obtener las estimaciones se utilizó el método de Evaluación de Impacto en Salud adaptado de la Organización Mundial de la Salud (OMS).[4] Consiste básicamente en seleccionar las zonas según la información disponible en las redes de monitoreo y combinar las tasas de incidencia de las enfermedades de interés, los riesgos relativos atribuidos al incremento de los contaminantes y escenarios deseables, que en este caso son el cumplimiento de la norma actual y los lineamientos de la OMS. El método se describe en siete pasos:

1. Gestión y obtención de datos de monitoreo ambiental, considerando información demográfica, mortalidad, de monitoreo y cartográfica.
2. Datos poblacionales de las zonas de estudio; se seleccionaron 213 municipios pertenecientes a diez estados.
3. Limpieza, revisión de consistencia y análisis exploratorio de los datos obtenidos. En este aspecto se realizaron estimaciones del valor anual de las PM_{10}, $PM_{2.5}$ y ozono.

[4] Health risk assessment of air pollution – general principles. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2016.

4. Definición de zona y población de estudio mediante análisis espacial de la información obtenida. Se realizaron diversos geoprocesos empleando como cartografía las capas de estaciones de monitoreo, estados, municipios y áreas geoestadísticas básicas.
5. Revisión de la información epidemiológica para la determinación de los efectos en salud y las respectivas funciones, considerando los contaminantes criterio.
6. Asignación de la exposición por zona urbana en estudio mediante la combinación de dos métodos de análisis espacial: el inverso de la distancia ponderada y análisis de proximidad.
7. Estimación del número de eventos atribuibles a los contaminantes.

La revisión de la más reciente literatura científica permitió identificar y seleccionar las mejores medidas de asociación o Funciones de Concentración Respuesta (FCR), que muestran el impacto de contaminantes como PM_{10}, $PM_{2.5}$, SO_2, NO_2 y O_3 sobre la exposición a largo plazo en la mortalidad por todas las causas y algunas específicas. Entre los criterios para la selección se dio preferencia a aquellas FCR con efecto en la mortalidad por exposición a largo plazo a contaminantes, obtenidas de investigaciones con diseños epidemiológicos de cohorte y/o metaanálisis, año de publicación, rigurosidad metodológica y mayor estimación de la exposición. Los resultados se muestran en la TABLA 1.

Por cuanto a la morbilidad, se revisaron las investigaciones nacionales e internacionales acerca de los daños a la salud por contaminantes del aire, lo que permitió la identificación y selección de las mejores medidas de asociación o las FCR entre los contaminantes y las causas de ingresos hospitalarios. La selección preliminar de las FCR para morbilidad se presenta en la TABLA 2.

Resultados

Para el año 2013 se obtuvieron datos de once redes de monitoreo que medían PM_{10}, ocho para $PM_{2.5}$ y veinte para ozono. En total, siete de las doce ciudades preseleccionadas del Sistema Urbano Nacional registraron mediciones: de PM_{10}, todas; de $PM_{2.5}$, cinco, y de ozono, once. La TABLA 3 muestra el número de municipios por estado para cada contaminante.

Se obtuvieron datos de 67 estaciones de PM_{10}; en 57 de ellas se calculó el promedio anual. Para $PM_{2.5}$ se realizaron mediciones en 39 estaciones de monitoreo, y en 24 de ellas fue posible calcular el promedio anual. En el caso del ozono hubo 91 mediciones de 91 estaciones, y en 66 se obtuvo el valor anual.

TABLA 1

Función de Concentración Respuesta (FCR) seleccionada por contaminante y evento en salud (mortalidad)

Efectos en salud

Contaminante	General				Cardiovascular			
	Media (original)	Unidad	Edad	Autor	Media (original)	Unidad	Edad	Autor
$PM_{2.5}$	1.06 (1.04, 1.08)	10 µg/m³	≥15 años	(Hoek *et al.* 2013)	1.11 (1.05, 1.16)	10 µg/m³	≥15 años	(Hoek *et al.* 2013)
O_3	1.02 (1.01, 1.04)	10 ppb	≥30 años	(Turner *et al.* 2015)	1.014 (1.005, 1.024)	>35 ppb (>70 µg/m³)	-	(Jerrett *et al.* 2009)
SO_2	1.0081 (1.0071, 1.0091)	10 µg/m³	Todas las edades	(Shang *et al.* 2013)	1.0085 (1.0070, 1.01)	10 µg/m³	Todas las edades	(Shang *et al.* 2013)
NO_2	1.05 (1.03, 1.08)	10 µg/m³	Todas las edades	(Hoek *et al.* 2013)	1.048 (1.010, 1.087)	10 µg/m³	-	(Jerrett *et al.* 2013)

Contaminante	Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC)				Cáncer de pulmón			
	Media (original)	Unidad	Edad	Autor	Media (original)	Unidad	Edad	Autor
$PM_{2.5}$	-	-	-	-	1.37 (1.07, 1.75)	10µg/m³	25-74 años	(Lepeule, J. 2012)
O_3	1.14 (0.08, 1.21)	10 ppb	≥30 años	(Turner *et al.* 2015)	-	-	-	-
SO_2	-	-	-	-	-	-	-	-
NO_2	-	-	-	-	1.11 (1.020, 1.21)	10µg/m³	-	(Jerrett *et al.* 2013)

$PM_{2.5}$= material particulado con un diámetro aerodinámico menor a 2.5 µm; O_3 =ozono; NO_2=dióxido de nitrógeno; SO_2= dióxido de azufre.
Nota: Las estimaciones referentes a SO_2 se realizarán en forma diaria debido a que se identificó que los principales efectos observados por este contaminante son agudos.
Fuente: Elaboración propia.

TABLA 2

Selección preliminar de FCR de ozono y evento en salud (morbilidad)

Efecto en salud	Media (original)	Unidad	Edad	Autor
Infecciones respiratorias agudas bajas	1.061 (1.0406, 1.021)	10 ppb*	<5 años	Hernández Cadenal *et al.* 2007
Infecciones respiratorias agudas altas	1.104 (1.061, 1.021)	10 ppb	<5 años	Hernández Cadenal *et al.* 2007
Asma	1.082 (1.04, 1.0009)	10 ppb	<5 años	Hernández Cadenal *et al.* 2007

* ppb= partes por billón= $1x10^{-9}$.
Fuente: Elaboración propia.

Efectos en salud

Contaminante	Enfermedades isquémicas del corazón				Respiratorias			
	Media (original)	Unidad	Edad	Autor	Media (original)	Unidad	Edad	Autor
$PM_{2.5}$	1.18 (1.14, 1.23)	10μg/m³	≥30 años	(Pope *et al.* 2004)	1.07 (0.75, 1.52)	10mg/m³	60-67 años	(Beelen *et al.* 2008)
O_3	-	-	-	-	1.04 (1.013, 1.067)	0.01ppm	Todas las edades	(Jerrett *et al.* 2009)
SO_2	-	-	-	-	1.018 (1.0083, 1.0152)	10 μg/m³	Todas las edades	(Shang *et al.* 2013)
NO_2	1.066 (1.015, 1.119)	10μg/m³	-	(Jerrett *et al.* 2013)	1.022 (1.0156, 1.0284)	10 μg/m³	-	(Lai *et al.* 2013)

Contaminante	Cardiopulmonar			
	Media (original)	Unidad	Edad	Autor
$PM_{2.5}$	1.09 (1.03, 1.16)	10μg/m³	≥30 años	Pope 2002
O_3	-	-	-	-
SO_2	-	-	-	-
NO_2	1.0155 (1.0049, 1.0261)	10μg/m³	-	(Lai *et al.* 2013)

TABLA 3

Municipios y población por estado y por contaminante

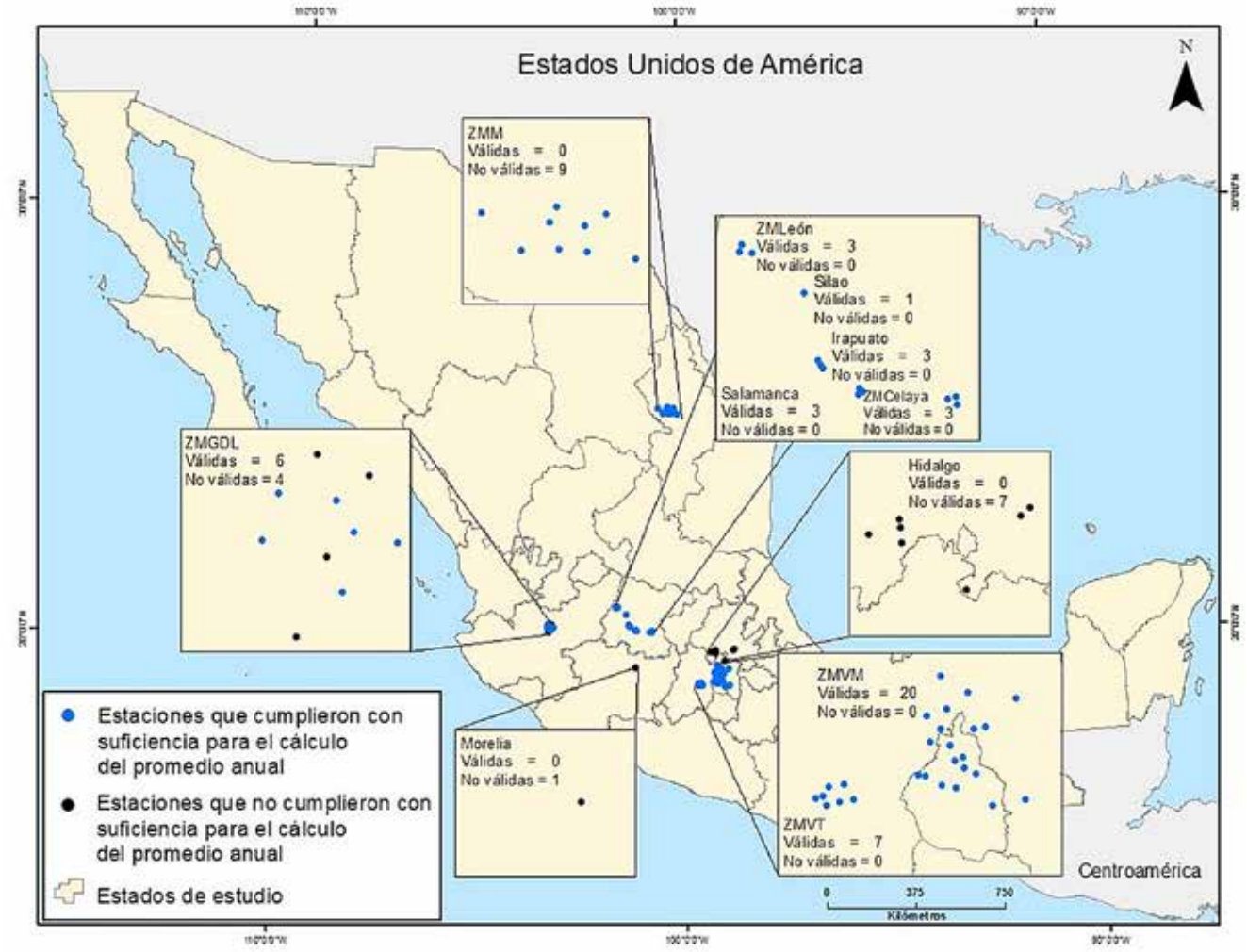
Entidad	PM_{10}		$PM_{2.5}$		Ozono	
	Municipios	Población 2013	Municipios	Población 2013	Municipios	Población 2013
CDMX	16	8,893,742	15	8,758,085	16	8,893,742
Guanajuato	7	3,148,808	1	271,911	6	3,090,642
Jalisco	6	4,612,769	3	3,442,781	8	4,186,216
Estado de México	39	11,678,184	18	8,365,402	42	12,800,520
Nuevo León	10	4,254,982			7	3,975,273
Yucatán	0	-	3	44,591	3	44,591
Michoacán	-	-	-	-	1	607,703
Chihuahua	-	-	-	-	1	1,387,675
Puebla	-	-	-	-	7	1,722,139
Hidalgo	-	-	-	-	3	266,165
Municipios/población total	**78**	**32,588,485**	**40**	**20,882,770**	**95**	**36,974,666**

Fuente: Elaboración propia.

La FIGURA 1 muestra de forma espacial la distribución de las estaciones de monitoreo (en este caso para PM_{10}) en las ciudades del Sistema Urbano Nacional. La FIGURA 2 muestra la concentración promedio anual estimada para cada una de las estaciones de monitoreo del país, también para PM_{10}.

FIGURA 1

Estaciones de monitoreo de PM_{10} en México



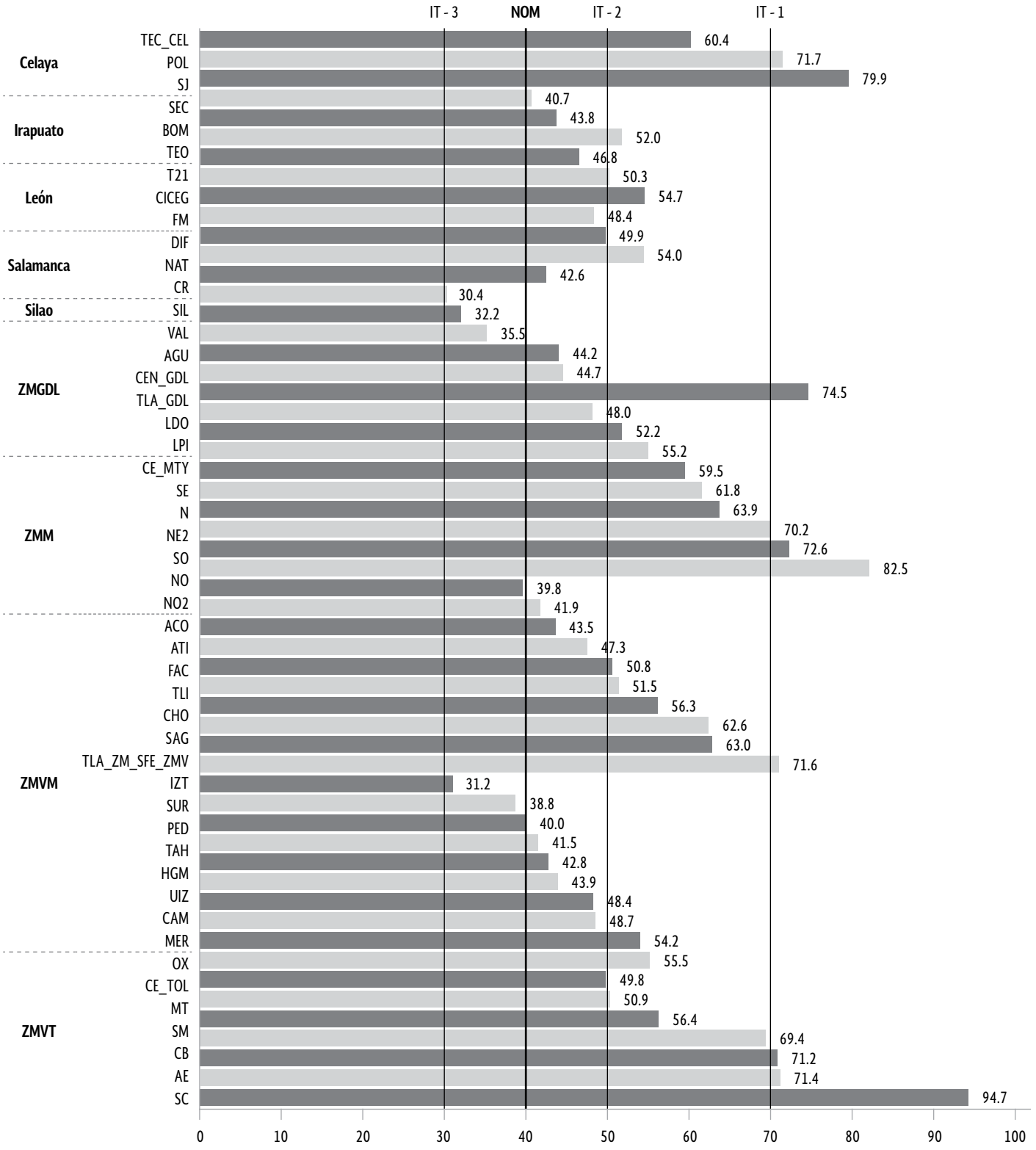
Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de 78 municipios analizados muestran que la concentración calculada de PM_{10} no cumple, en 77 casos, con lo establecido por la norma nacional.

Para $PM_{2.5}$ sólo los municipios de Yucatán cumplen con lo establecido por la normatividad mexicana, mientras que el resto de los municipios del país sobrepasan los valores actuales recomendados para la protección a la salud.

FIGURA 2

Estimación de la concentración promedio anual de PM_{10} (µg/m³) en municipios de México



ZM= Zona Metropolitana. Gdl= Guadalajara; M= Monterrey; VM= Valle de México; VT= Valle de Toluca.
Fuente: Elaboración propia.

En la medición de ozono no hay un indicador que resuma la concentración anual a través de un promedio. La concentración en los municipios se estimó promediando el valor máximo de cada día por trimestre y no hubo un solo municipio que en 2013 sobrepasara 0.110 ppm (como lo exige la normatividad mexicana).

Según los resultados preliminares, alrededor de 17,700 muertes anuales podrían evitarse si, en las ciudades analizadas, se cumpliera con las recomendaciones de calidad del aire de la OMS, y 6,704 si se cumpliera la norma mexicana para PM_{10}. De ellas, alrededor de 13,000 (escenario OMS) y 12,229 (cumplimiento de la norma oficial mexicana, NOM) son atribuibles a las altas concentraciones de partículas 2.5. Hemos obtenido el desglose de este número de muertes evitables por zona metropolitana por causa. El cálculo inicial indica la pérdida de más de 169,000 años potenciales de vida, debido a la exposición a partículas respirables. En los siguientes pasos se estimará la mortalidad atribuible al resto de los contaminantes, la morbilidad atribuible contabilizada como hospitalizaciones evitables, así como los años de vida saludables perdidos, y se realizará la evaluación económica de acuerdo con los procedimientos ya revisados.

Exposición a $PM_{2.5}$ y asociación entre salud y nivel socioeconómico en la ZMVM con datos ENSANUT 2006-2012

Martha María Téllez Rojo[1]
RESPONSABLE TÉCNICA

[2]Luis F. Bautista[a]
Olivia Chilian[a]
Magali Hurtado[a]
Horacio Riojas[a]
Martín Romero[a]
Stephen Rothenberg[a]
Marcela Tamayo Ortiz[a]
José Luis Texcalac[a]
Diego Giunta[b]
Paloma Rojas[b]
Itai Kloog[c]
Allan C. Just[d]
Robert O. Wright[d]
Joel Schwartz[e]

[1] Doctora en Ciencias. Bioestadística y epidemióloga ambiental. Investigadora sénior en el Centro de Investigación en Nutrición y Salud del Instituto Nacional de Salud Pública. Su investigación se centra en los factores de riesgo epidemiológicos, ambientales y sociales sobre resultados de salud materno-infantil. Desde 2002 es investigadora principal en México de la cohorte de nacimiento ELEMENT, y ha sido responsable en México del estudio de cohorte PROGRESS desde su inicio en 2006.

[2] [a] Instituto Nacional de Salud Pública. [b] Hospital Italiano de Buenos Aires. [c] Ben-Gurion University of the Negev. [d] Icahn School of Medicine, Mount Sinai. [e] Harvard School of Public Health.

RESUMEN

El proyecto estima cambios en eventos en salud asociados a la exposición a $PM_{2.5}$ en una muestra representativa de residentes de la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) durante el periodo 2006-2012. Se utilizan datos cartográficos, estadísticos e información ambiental proveniente del Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México.

PALABRAS CLAVE

salud, ZMVM, partículas $PM_{2.5}$, nivel socioeconómico (NSE).

Introducción

La literatura científica documenta ampliamente los daños a la salud asociados a la exposición a contaminantes atmosféricos: padecimientos perinatales, cardiovasculares, neurológicos y metabólicos. Documenta asimismo la relación entre una menor exposición y el incremento de la esperanza de vida o la disminución en la mortalidad y morbilidad poblacional (Brunekreef *et al.* 2002; Pope *et al.* 2009).

La ZMVM abarca 16 delegaciones (Ciudad de México) y 60 municipios (Estado de México e Hidalgo). La población estimada es de 21 millones de habitantes. La mala calidad del aire ha sido objeto de múltiples estudios que documentan un efecto negativo, a corto y a largo plazo, sobre eventos cardiorrespiratorios y cardiovasculares (Romieu *et al.* 2012).

Objetivo

El objetivo general del proyecto es estimar los cambios en eventos en salud, agudos y crónicos, asociados a la exposición a partículas suspendidas menores que 2.5 micras ($PM_{2.5}$) en una muestra representativa de residentes de la ZMVM durante el periodo 2006-2012, y evaluar posibles efectos diferenciados por nivel socioeconómico (NSE) de los hogares.

Se plantean dos etapas: una para la integración de fuentes de información, revisión de literatura, análisis de asignación de la exposición a $PM_{2.5}$ y creación de bases de datos; y otra de análisis de asociación entre la exposición y los desenlaces de salud. En este artículo se presentan el diseño del estudio y los resultados preliminares de la primera etapa del proyecto.

ENSANUT y eventos de salud

El proyecto utiliza la información sobre condiciones de salud de las Encuestas Nacionales de Salud y Nutrición (ENSANUT) 2006 y 2012. Tienen un diseño muestral probabilístico, polietápico y estratificado (Romero Martínez *et al.* 2013). Este proyecto utiliza información de la ZMVM para 2,921 hogares y 5,378 individuos, en 2006, y 3,191 hogares y 5,698 individuos, en 2012.

Los desenlaces de salud que se utilizarán se seleccionaron por su relevancia nacional y los antecedentes de su asociación con la exposición a $PM_{2.5}$.

- **Niños**
  Antecedentes de infección respiratoria aguda (prevalencia en 2012, <5 años: 44.8%, 5-9 años: 37.3%), asma (prevalencia 8-10%) y neumonía.
- **Adolescentes**
  Antecedente de diabetes (en 2012 para la población de adolescentes, el diagnóstico previo de diabetes se reportó en 0.7%), e hipertensión (prevalencia 1.8%).
- **Adultos**
  Antecedente de diabetes (9.17% ha recibido un diagnóstico), hipertensión (prevalencia de 31%) y enfermedad cardiaca.
  En todos los grupos de edad se estimarán las asociaciones con sobrepeso y obesidad.

Medición y asignación de la exposición

1. Red de monitoreo ambiental

El modelo de estimación de la exposición a $PM_{2.5}$ utiliza datos cartográficos, estadísticos y de las redes de monitoreo de aire locales (Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México, SIMAT). La información se gestiona en capas espaciales de geoinformación en un sistema de información geográfica (SIG). La estimación de la exposición a $PM_{2.5}$ obtenida es resultado de procesos de análisis espacial basados en la superposición de capas de información, análisis de proximidad y el uso del inverso de la distancia ponderada (IDW)[3] como método de cálculo.

2. Modelo satelital

El proyecto utiliza el modelo de estimación desarrollado por el grupo de investigación. Genera estimaciones validadas de $PM_{2.5}$ con alta resolución espacial y temporal en la Ciudad de México durante los periodos que cubren las ENSANUT, e integra información de los SIG en un modelo de regresión LUR (*land-use regression*), junto con determinantes temporales tales como altura de la capa de mezcla y meteorología, y mediciones basadas en teledetección satelital de la profundidad óptica de aerosoles AOD,[4] que mide la cantidad de partículas en la columna atmosférica en una cuadrícula de 1x1 km. Las exposiciones a $PM_{2.5}$ para cada individuo se calcularán vinculando la georreferencia de los hogares a la celda de resolución a la que pertenecen, o a la más cercana, según sea el caso, del modelo satelital. Posteriormente, con base en la información espacial y la fecha de la visita, se utilizarán QGIS 2014 y el *software* R 2014 para calcular la ventana de exposición individual a $PM_{2.5}$.

[3] *Inverse distance weighting.*

[4] *Aerosol optical Depth.*

Análisis de asociación

La asociación entre la exposición a $PM_{2.5}$ y los diversos eventos en salud que serán considerados se estimará utilizando modelos lineales mixtos generalizados que permitirán considerar la posible correlación geográfica entre los participantes cuyas residencias sean cercanas. Se utilizarán modelos de respuesta normal con diferentes ligas para desenlaces continuos, y modelos Poisson de respuesta para desenlaces de conteo binomial negativa para desenlaces dicotómicos.

Avances y resultados preliminares

Se realizó la georreferenciación de hogares ENSANUT utilizando Google Maps, y se integraron las coordenadas a las bases de datos. Se seleccionó y extrajo la información de características demográficas de la población y desenlaces de salud relevantes para los fines del proyecto. Se generó también un índice para caracterizar **el** NSE de los hogares utilizando la metodología de componentes principales.

Se revisó la literatura para identificar el periodo de latencia de los desenlaces en salud de tipo agudo y crónico con la finalidad de proponer una ventana etiológica que permita vincular la información de las ENSANUT con el periodo de exposición relevante para cada padecimiento. En la FIGURA 1 y la TABLA 1 se muestran la distribución de la exposición a $PM_{2.5}$ para todos los individuos incluidos en las ENSANUT usando ambas metodologías, y la cobertura geográfica.

A partir de la asignación de la exposición, se generaron promedios acumulados de los valores de exposición de 1, 3, 7, 30 y 365 días para relacionar con los desenlaces correspondientes en ambas metodologías.

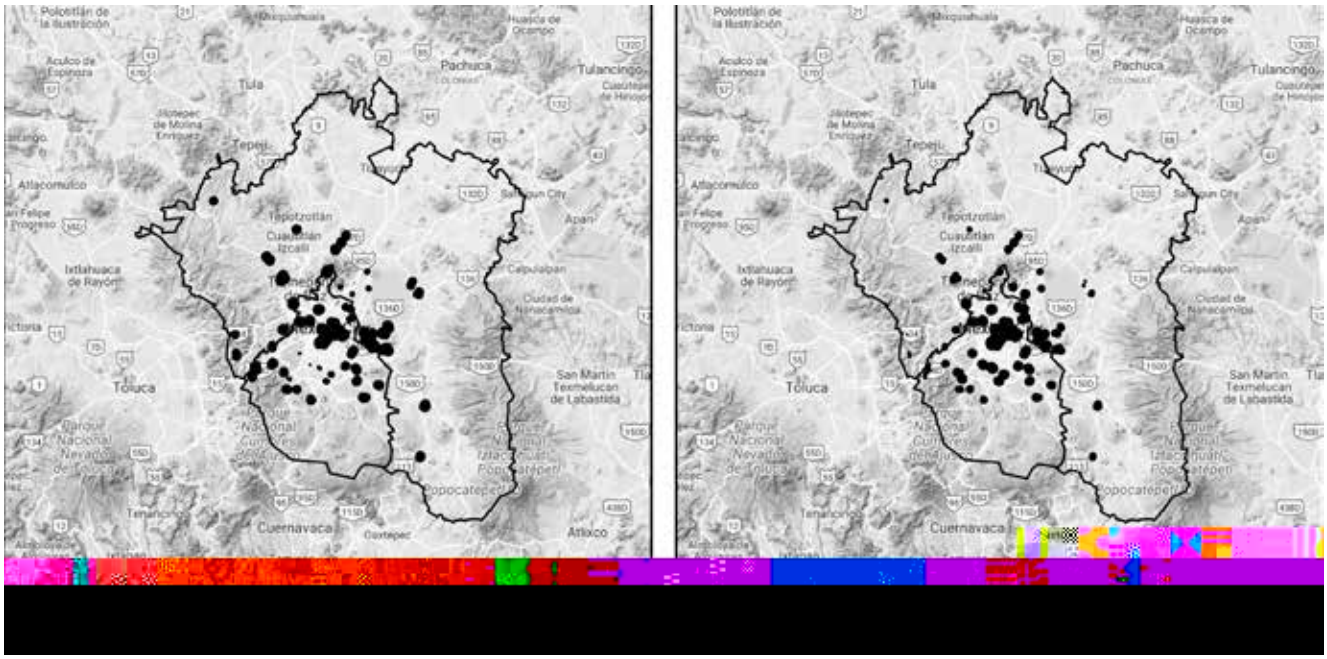
Finalmente, se generó una base maestra de datos de la ZMVM con información demográfica; desenlaces en salud; exposición a $PM_{2.5}$ por ambos métodos de asignación y los promedios acumulados antes mencionados; coordenadas e índice de NSE. En la TABLA 2 se muestran los resultados principales de la base de datos.

Resultados esperados

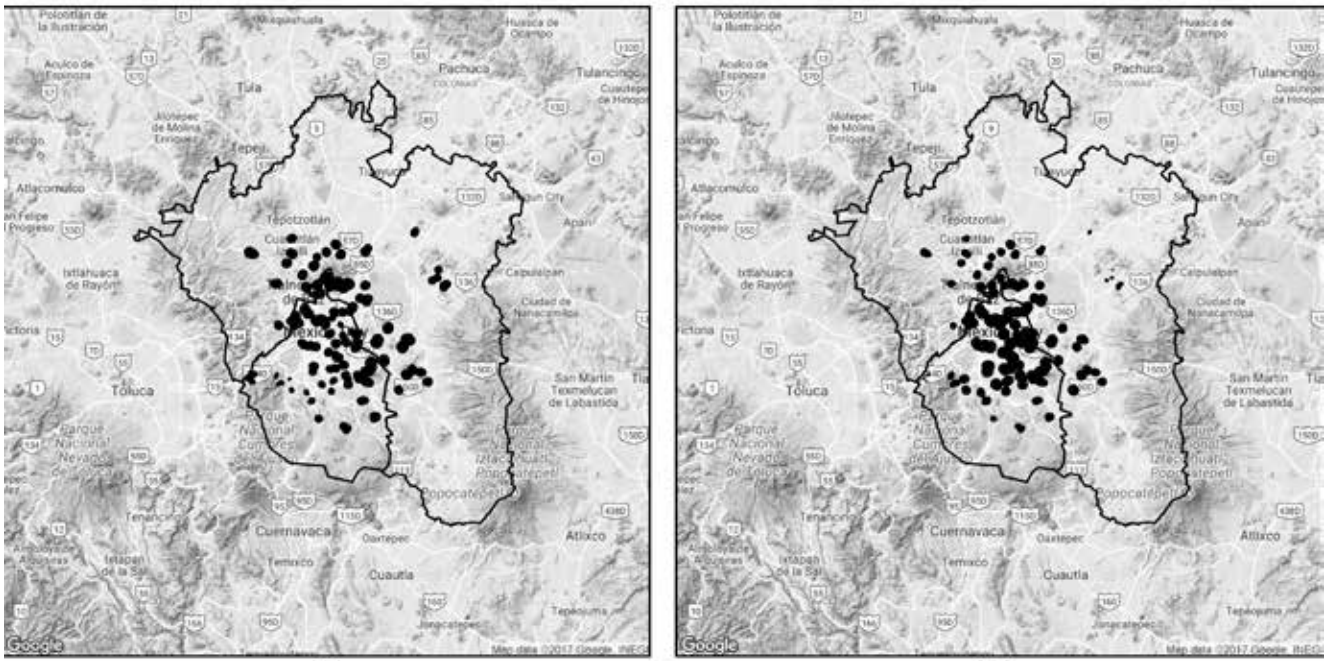
En la fase final del proyecto se realizarán los análisis de asociación entre exposición a $PM_{2.5}$ y los distintos desenlaces de salud. Los resultados de este proyecto contribuirán con conocimiento nuevo a la literatura científica internacional sobre la aplicación de una metodología innovadora para realizar estimaciones de efectos en salud por la contaminación del aire en una muestra representativa de la población, y a su vez generarán evidencia relevante para documentar y sustentar la mejora, así como desarrollar programas y políticas públicas ambientales y de salud.

FIGURA 1

Cobertura geográfica del modelo de estimación satelital y por monitores



(A) (B)



(C) (D)

Concentración estimada de $PM_{2.5}$ en hogares, utilizando:
Datos de monitores (A) 2006; (C) 2012 y datos de satélite (B) 2006; (D) 2012

· 20 ● 22 ● 24 ● 26 ● 28

TABLA 1

Distribución de promedios de $PM_{2.5}$ (µg/m³) en hogares ENSANUT 2006 y 2012 por distintos promedios acumulados de exposición

Grupo de análisis	Promedio acumulado (días)	2006		2012	
		Monitor	Satélite	Monitor	Satélite
Adolescentes					
Estimación por monitor					
2006 (n= 1224)	1	36.4 (13.8)	33.7 (6.4)	20.1 (11.1)	22.1 (6.4)
2012 (n= 1082)	3	36.1 (11)	33.6 (4.6)	18 (10.4)	20.5 (6.2)
Estimación por satélite	7	38.3 (8)	35.3 (2.7)	15.7 (7.7)	18.9 (3.8)
2006 (n= 1050)	30	39.4 (6.1)	34.1 (2.1)	15.7 (6.5)	18.8 (3.7)
2012 (n= 986)	365	27.6 (2.5)	25.8 (2.4)	17.7 (7.6)	24.7 (1.5)
Adultos					
Estimación por monitor					
2006 (n= 2508)	1	35.6 (13.3)	33.5 (6.3)	19.9 (11)	22.4 (6.5)
2012 (n= 2415)	3	35.4 (10.5)	33.4 (4.5)	17.6 (10.3)	20.6 (6.3)
Estimación por satélite	7	38.3 (7.5)	35.6 (2.8)	15.5 (7.6)	19 (3.9)
2006 (n= 2281)	30	39.2 (5.7)	34.4 (2.1)	15.6 (6.7)	18.8 (3.7)
2012 (n= 2302)	365	27.5 (2.4)	26.1 (2.4)	17.6 (7.5)	24.9 (1.5)
Menor					
Estimación por monitor					
2006 (n= 1149)	1	36.9 (13.7)	33.7 (6.2)	19.8 (11)	22 (6.3)
2012 (n= 1325)	3	36.4 (11)	33.5 (4.5)	17.6 (10.2)	20.3 (6)
Estimación por satélite	7	38.2 (8)	35.2 (2.7)	15.6 (7.6)	18.8 (3.7)
2006 (n= 1005)	30	39.2 (6.1)	34 (2)	15.7 (6.5)	18.7 (3.6)
2012 (n= 1233)	365	27.6 (2.6)	25.6 (2.3)	18.1 (7.5)	24.7 (1.5)

TABLA 2

Demografía y desenlaces en salud

ENSANUT	2006				2012			
	N	Población representada	Edad	Media	N	Población representada	Edad	Media
Adultos	2,508	13,227,780	20-99	42.5±16.2	2,415	14,136,199	20-102	44.6±16.3
Adolescentes	1,224	3,843,553	10-19	14.4±2.8	1,050	3,794,696	10-19	14.3±2.9
Niños	1,149	3,341,001	0-9	4.7±2.9	1,325	3,702,773	0-9	4.6±2.7

Grupo de edad*	Desenlaces en salud	2006		2012	
		N	%	N	%
Adultos	Diabetes	209	8.33	301	12.46
	Hipertensión arterial	443	17.66	501	20.75
	Hipertensión en embarazadas	47	16.26	79	24.31
	Enfermedades cardiacas:				
	Dolor fuerte en el pecho	271	10.81	260	10.77
	Infarto	29	1.16	58	2.4
	Angina de pecho	19	0.76	35	1.45
	Insuficiencia cardiaca	22	0.88	43	1.78
	Se considera con sobrepeso	1,128	44.98		
	Se considera con obesidad	75	2.99		
Niños	Infección respiratoria	552	48.04	512	38.64
	Dificultad para respirar	271	23.59	261	19.7
	Asma	35	3.05	-	-
	Neumonía	-	-	6	0.45

* No se incluyen eventos de salud para adolescentes porque en la muestra no se registraron casos para este grupo de edad.

Bibliografía

Brunekreef B. & Holgate S.T., 2002. *Air pollution and health. Lancet*, 360(9341), pp. 1233-1242.

Pope, C.A. *et al*. 2009. *Fine-particulate air pollution and life expectancy in the United States. The N Engl J Med,* 360(4), pp. 376-86.

Romieu I., *et al*. 2012. *Multicity study of air pollution and mortality in Latin America (the ESCALA study). Research report* (Health Effects Institute), (171), pp. 5-86.

Romero Martínez M. *et al.* 2013. Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2012: diseño y cobertura. *Salud Pública Méx,* 55, pp. S332-S340.

Just, A.C., Wright, R.O., Schwartz, J., Coull, B.A., Baccarelli, A.A., Téllez Rojo, M.M., Moody E., Wang. Y., Lyapustin, A., Kloog, I. Using High-Resolution Satellite Aerosol Optical Depth To Estimate Daily PM2.5 Geographical Distribution in Mexico City. *Environ Sci Technol.* 2015 Jul 21; 49(14):8576-8584.

Los lagos del Nevado de Toluca, México ante los impactos del cambio ambiental global

Javier Alcocer Durand[1]
RESPONSABLE TÉCNICO

Ángela P. Caro Borrero[a]
Javier Carmona Jiménez[a]
María Fernanda Figueroa Escobar[a]
Margarita Caballero Miranda[b]
Martín Merino Ibarra[c]
Ana Carolina Ruiz Fernández[c]
Joan Albert Sánchez Cabeza[c]
María del Socorro Lozano García[d]
Luis A. Oseguera Pérez[e]
Gloria Vilaclara Fatjó[e]

[1] Doctorado en Biología en 1995. Reconocido por el Sistema Nacional de Investigadores con el nivel II por su contribución a la ciencia (130 artículos, 68 libros y capítulos de libros), formación de recursos humanos (27 de pregrado, 34 de posgrado) y líder de 28 proyectos financiados de investigación. Otros reconocimientos incluyen la Medalla Gabino Barreda y Mención Honorífica por los estudios de posgrado, el Mérito Académico y la Cátedra Alexander I. Oparin de la FES Iztacala, UNAM, y el Premio Estatal de Ciencia y Tecnología, Área Ciencias Naturales del Estado de México.

[a] Facultad de Ciencias
[b] Instituto de Geofísica
[c] Instituto de Ciencias del Mar y Limnología
[d] Instituto de Geología
[e] FES Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México.

RESUMEN

Los lagos de alta montaña del volcán Nevado de Toluca como centinelas para la detección y análisis de la vulnerabilidad socioecosistémica ante los impactos del cambio ambiental global.

PALABRAS CLAVE

lagos tropicales, lagos de alta montaña, cambio climático, socioecosistema

Introducción

Las regiones montañosas ocupan aproximadamente una cuarta parte de la superficie de la Tierra, son hogar de alrededor de un décimo de la población mundial y fuente de bienes y servicios para casi la mitad de la humanidad (Messerli e Ives 1997). La magnitud de su importancia está reflejada en el programa para el

[2] Conferencia de las Naciones Unidas para el Ambiente y el Desarrollo (UNCED por sus siglas en inglés).

FIGURA 1

El volcán Nevado de Toluca.

Se aprecia el límite del crecimiento arbóreo o "tree line". La cima, a 4,600 msnm, tiene un pico a 4,660 msnm. Los lagos El Sol y La Luna, dentro del cráter, están a 4,209 y 4,216 msnm, respectivamente. Fotografía de Jitka Jezberová.

desarrollo sustentable en este siglo –la "Agenda 21"–, adoptado por la Cumbre de la Tierra,[2] llevada a cabo en junio de 1992 en Río de Janeiro.

Las regiones alpinas o de alta montaña son los sitios más remotos y menos perturbados de la superficie del planeta, pero a pesar de tal ubicación no se encuentran exentas de las amenazas producto de la precipitación ácida, los contaminantes atmosféricos tóxicos y el cambio climático. En particular, los lagos localizados en estas regiones son especialmente sensibles a los factores de cambio mencionados, al grado de comportarse como indicadores de perturbación ambiental.

Planteamiento y desarrollo de la investigación

El presente proyecto persigue el objetivo de evaluar la factibilidad de que México proponga a estos lagos como sitios tropicales y alpinos de investigación y monitoreo participativo (referencia/comparación) para el estudio del Cambio Ambiental Global (GEC),[3] así como a escala regional.

[3] *Global Environmental Change.*

FIGURA 2

Red de arrastre para la obtención de muestras de zooplancton.

En la biota de los dos lagos se han hallado compuestos fotoprotectores como respuesta a la intensa radiación ultravioleta propia de las grandes altitudes. Fotografía de Ana Regina Salazar Santiago.

Para alcanzar los objetivos propuestos debe hacerse un monitoreo sistemático que muestre el potencial de los lagos del cráter del Nevado de Toluca como referentes de los programas mundiales de estudio del GEC. Los registros serán de invaluable interés tanto en México como en el ámbito internacional, por referirse a una zona tropical para la que hay un número de datos mucho menor que el de la zona templada. El estudio permitirá determinar cuáles son los parámetros fisicoquímicos y biológicos que responden a las alteraciones del sistema, información de gran relevancia porque generará productos que servirán a los tomadores de decisiones para la implementación de estrategias locales y regionales a través de las diferentes políticas públicas de conservación que se aplican en la zona. Desde la perspectiva social, contribuirá a que las comunidades locales tomen decisiones informadas sobre el uso de los recursos, contribuyendo de esta manera a mejorar la resiliencia de los socioecosistemas en los que desarrollan sus actividades cotidianas.

El estudio contempla tres campos de investigación: limnología contemporánea o actual, limnología del pasado o paleolimnología y una aproximación socioecosistémica. Estos enfoques permitirán entender cómo el GEC afecta en el presente y de qué manera ha afectado en el pasado, reconociendo los aspectos vulnerables de estos socioecosistemas, así como la relación actual de los pobladores locales con sensores del cambio global, como son los lagos de alta montaña.

Principales resultados de la investigación

Limnología

Desde la perspectiva climatológica, no se ha encontrado una tendencia clara que indique aumento en la temperatura ambiental o disminución de la precipitación. De forma análoga al ambiente, la temperatura del agua tampoco mostró una tendencia de cambio a largo plazo.

La dinámica estacional define dos periodos asociados a la época cálida de lluvias y a la fría de secas, separadas por dos fases de transición. Parece que la variación estacional (o "intra anual") resulta ser más importante que la interanual en la mayoría de las variables limnológicas, salvo en el pH, la conductividad eléctrica y la concentración del nitrógeno inorgánico disuelto.

A pesar de tener un mismo origen y edad, y de estar ubicados a escasos metros uno del otro, los lagos El Sol y La Luna son diferentes. Esta diferencia se torna más evidente en su biota (por ejemplo, fitoplancton, zooplancton, bentos), la cual muestra muy pocas especies en común (por ejemplo, Dimas-Flores *et al*. 2008, Oseguera *et al*. 2016).

Paleolimnología

El registro paleoclimático de los núcleos sedimentarios de los lagos muestra claramente, para los 800 últimos años, la misma tendencia a la variación climática reconocida en el mundo para latitudes templadas —por ejemplo, la Anomalía Climática Medieval, la Pequeña Edad de Hielo y el Mínimo de Maunder—, pero que ha sido poco registrada de forma tan clara para lagos tropicales.

Los registros evidencian que, alrededor de 1910, comenzaron las condiciones climáticas "modernas", que resultan similares a las de 500 años atrás (Anomalía Climática Medieval). Y, por otro lado, al momento, no se muestran evidencias claras de cambio ambiental inducido por el hombre (Cuna *et al*. 2014). Es necesario mencionar que hay una concordancia en la relevancia que muestran los registros paleolimnológicos respecto al cambio del pH en los lagos, con los cambios de esta misma variable en los registros modernos.

El socioecosistema

Los resultados preliminares de la valoración socioecosistémica arrojan la importancia de informar y educar a las comunidades para que participen en las acciones legales dirigidas a conservar y recuperar zonas boscosas del Nevado de Toluca; por ejemplo, una nueva categorización del área natural protegida. Los lugareños dependen de los recursos naturales, principalmente el agua y el mantenimiento del bosque, que dejan beneficios asociados a la conservación; sin embargo, la falta de herramientas y la ausencia institucional del go-

FIGURA 3

"El Ombligo", domo dacítico, separa los lagos.

El Sol (frente), La Luna (fondo, detrás de El Ombligo y a la derecha de la Estrellita) y La Estrellita (fondo, izquierda), una pequeña charca que se forma tras el deshielo o fuertes lluvias. Fotografía de Jitka Jezberová.

bierno local y estatal dificultan la coordinación de acciones con las comunidades locales.

La zonificación del área natural protegida Nevado de Toluca es un tema desconocido por los pobladores (la definición de la zona donde viven y qué actividades están permitidas), condición que dificulta la implementación de políticas de conservación y, por lo tanto, la correcta ejecución de programas de gobierno que apunten hacia la mejora del área y la preservación de sectores en buen estado y los recursos hídricos que abastecen a la población y que dependen de la montaña y de los lagos. La falta de contacto con las dependencias de gobierno dificulta la transferencia de información y el establecimiento de lazos de confianza que favorezcan la implementación y transversalidad de las nuevas medidas de conservación.

Potencial de aprovechamiento para el sector ambiental

Los resultados de esta investigación están dirigidos principalmente al sector académico y al gubernamental. Con relación a este último, la caracterización socioecosistémica se realiza con la finalidad de establecer el nivel de dependencia y, por lo tanto, la vulnerabilidad de las comunidades humanas ante posibles cambios ambientales locales, regionales y globales, como estrategia para diseñar medidas de mitigación y adaptación socioecosistémica.

Bibliografía

Cuna, E., E. Zawisza, M. Caballero, A.C. Ruiz Fernández, M.S. Lozano García & J. Alcocer. 2014. Environmental impact of the Little Ice Age cooling in Central Mexico: the record from a tropical alpine lake. *Journal of Paleolimnology* 51: 1-14.

Dimas Flores, N., J. Alcocer y J. Ciros Pérez. 2008. The structure of the zooplankton assemblages from two neighboring tropical high mountain lakes. *Journal of Freshwater Ecology* 23 (1): 21-31.

Messerli, B. y J.D. Ives (eds.). 1997. *Mountains of the world: a global priority*. The Parthenon Publishing Group. Nueva York y Carnforth. 495pp.

Oseguera, L.A., J. Alcocer y E. Escobar. 2016. Macroinvertebrados bentónicos de dos lagos tropicales de alta montaña en el volcán Nevado de Toluca, en el centro de México. *Hidrobiológica* 26(3): 419-432.

Vulnerabilidad y resiliencia al cambio climático en sistemas socioecológicos periurbanos

Miriam Alfie C.[1]
RESPONSABLE TÉCNICA

Rafael Calderón[a]
Gustavo Cruz[a]
Socorro Flores[a]
Flor Yunuén García[a]
Salomón González[a]
Laura Quiroz[a]
Gloria Soto[a]

[1] Doctora en Ciencias Sociales por la Universidad Iberoamericana, Campus Santa Fe. SNI-II. Líneas de investigación: gobernanza, riesgo ambiental y movimientos ambientalistas. Profesora-Investigadora del Departamento de Ciencias Sociales de la UAM-Cuajimalpa.

[a] Universidad Autónoma Metropolitana Campus Cuajimalpa.

RESUMEN

El estudio evalúa el nivel de vulnerabilidad al cambio climático en sistemas socioecológicos periurbanos. Analiza estrategias de adaptación para reducir la vulnerabilidad e incrementar la resiliencia comunitaria. Como parte del estudio se documentaron observaciones por parte de habitantes de las comunidades, en talleres colectivos.

PALABRAS CLAVE

cambio climático; vulnerabilidad; resiliencia; sistemas socioecológicos periurbanos

Introducción

En el diseño de estrategias para mitigar los impactos del cambio climático es importante estudiar la vulnerabilidad de los ecosistemas naturales y de las comunidades. El análisis de riesgos sociales y naturales (amenazas y exposiciones) y activos (resiliencia y capacidades de adaptación) es punto de partida para las estrategias formales e informales dirigidas a reducir la vulnerabilidad social y ecológica, cuestión particularmente relevante en las zonas periurbanas, cuyo funcionamiento y comprensión se tornan complejos debido a la concurrencia de un

sinnúmero de características sociales y ecológicas de los ambientes rurales, naturales y urbanos.

La vulnerabilidad en sistemas socioecológicos periurbanos, como proceso temporal, espacial, progresivo y acumulativo, se explica por la magnitud de los riesgos para la sociedad y por las capacidades de ésta para su manejo, mediante tácticas y estrategias en los procesos de adaptación; y éstos exigen el desarrollo de una cultura resiliente, un proceso óptimo y autónomo (empoderamiento) y la posibilidad de ejercer acciones que fortalezcan las aptitudes individuales, la identidad, la participación y el aprendizaje colectivo.

Desarrollo de la investigación

La investigación consistió en tres etapas:

1 Tipificación de las zonas periurbanas de México. Identificación y evaluación de elementos ambientales que definen el grado de vulnerabilidad social y ecológica. Selección de casos emblemáticos.
2 Distinción de percepciones sociales y culturales sobre el cambio climático y vulnerabilidad en las comunidades de análisis. Metodologías participativas para identificar estrategias de adaptación.
3 Soluciones tecnológicas sustentables que promuevan la resiliencia.

Resultados

Primera etapa

Tras considerar las cartas de uso de suelo 1:50,000, los Censos de Población y Vivienda 2010, el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) y la Red Nacional de Caminos (todo ello de INEGI), se construyó una tipificación de la periurbanidad, definida como espacios localizados en las periferias urbanas que sirven de interfase entre lo urbano y lo rural. Espacios híbridos donde se conjuga lo moderno con lo tradicional (FIGURA 1). Se distinguieron tres tipos: los espacios construidos, los de cultivo y los naturales.

Se identificó la relación entre indicadores de vulnerabilidad –como el número de muertos provocados por eventos climáticos o las Declaratorias de Emergencia y de Desastre– y variables sociales, económicas y ambientales. Los resultados obtenidos no mostraron evidencia estadística de relación lineal entre el número de defunciones por factores naturales o el número total de declaratorias y las variables sociales, económicas y ambientales.

El segundo resultado indicó que algunas declaratorias no están relacionadas con las características de vulnerabilidad de una comunidad ni con las zonas de alta recurrencia de eventos climatológicos extremos (TABLA 1). A partir de estos

elementos se definieron casos de estudio en zonas periurbanas con alto grado de peligro a eventos climatológicos (TABLA 2).

FIGURA 1

Zonas periurbanas

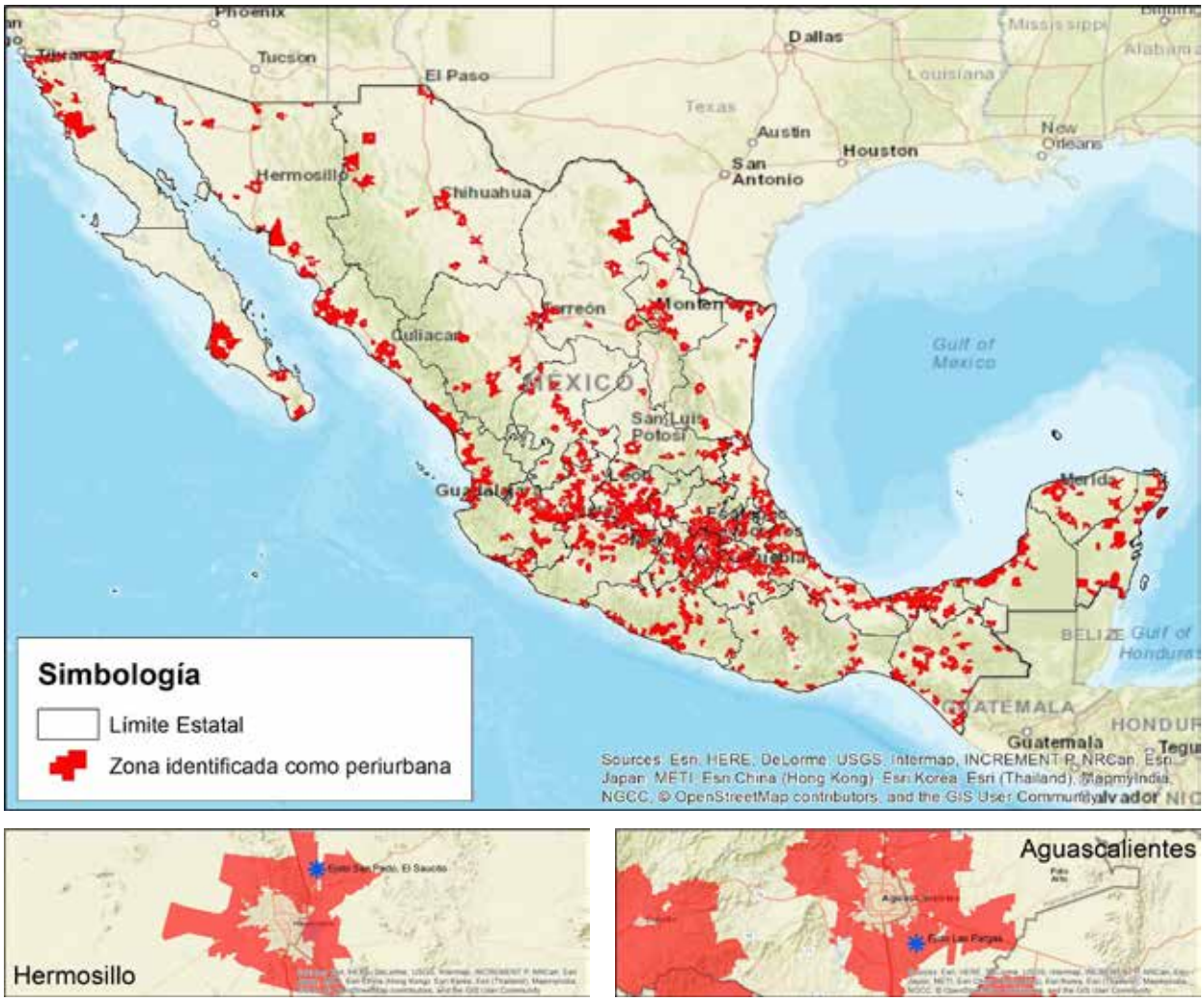


TABLA 1

Correlación entre índice de peligro y número de declaratoria de emergencia o desastre

Evento	p*
Ciclones	0.462
Sequías	0.256
Nevadas	0.535
Granizadas	0.046

* p= Coeficiente de correlación de Pearson.

TABLA 2

Casos de estudio según los tipos de peligro[2]

Zona Urbana	Peligro
Aguascalientes	Sequía
Hermosillo	Sequía
Ciudad de México	Inundación
Mérida	Ciclones
La Paz	Ciclones

Segunda etapa

Una vez reconocida la problemática ambiental, sociodemográfica y económica de los casos de estudio, se realizó un taller de participación colectiva (FIGURA 2). En el análisis de la percepción de vulnerabilidad al cambio climático en las comunidades elegidas, se consideraron cinco dimensiones:

1 Estrategias de vida y cambio climático: efectos positivos y negativos;
2 bienestar y estrategias de vida: afectación por impactos del cambio climático;
3 capacidad adaptativa de personas y hogares: acceso y distribución de recursos;
4 capacidad adaptativa comunitaria o colectiva: normas, prácticas, instituciones, y
5 gobernanza: capacidad, responsabilidad y sensibilidad de actores para impulsar la capacidad adaptativa y la reducción de la vulnerabilidad.

FIGURA 2

Talleres participativos

[2] Las comunidades de estudio fueron: Dzununcán, en Mérida, Yucatán; Esteritos y Chametla, en La Paz, BCS; Las Pargas, en Aguascalientes; Ejido San Pedro, El Saucito, en Hermosillo, Sonora, y la colonia Las Golondrinas de la delegación Álvaro Obregón, en la Ciudad de México.

En todos los casos se identificó variabilidad climática, con periodos de lluvias o calor intenso en épocas no habituales del año. Los grupos que participaron en los distintos talleres reportaron un aumento tanto en sequías como en inundaciones y mayor cantidad de huracanes. La percepción es que ahora se presenta un mayor número de ciclones, que son más frecuentes, más intensos cuando tocan tierra y provocan inundaciones y encharcamientos. En relación con las sequías aseguran que se ha reducido el periodo de lluvia o comienza fuera de temporada, o bien que llueve intensamente en pocas ocasiones.

Por otra parte, se estableció que los grupos más afectados son aquellos cuyas actividades económicas dependen del clima, como la pesca, la agricultura y la ganadería. La pérdida de cosechas (inundación, granizada, sequía), la pesca impracticable (huracanes) o la inutilidad de territorio para la ganadería (sequía) han obligado a estas poblaciones a reajustar sus ingresos a partir de una transformación de las actividades económicas: corredores turísticos gastronómicos, cría de caballos, comercio formal e informal o subcontratación en empleos temporales.

Los cambios climáticos afectan de manera diferenciada a aquellos que presentan condiciones de vulnerabilidad en asentamientos irregulares, con viviendas de autoconstrucción, carentes de servicios públicos. Hay un grado de vulnerabilidad importante sobre todo en aquellos sectores que viven en condiciones de pobreza (ingreso bajo y precariedad económica). La ubicación territorial es un factor clave en relación con las amenazas. Aquellos que están más expuestos son pobladores asentados cerca de ríos o del mar (ciclones, inundaciones) o que, frente a temperaturas elevadas, carecen de agua (sequías).

En general, la infraestructura comunitaria es poca o nula para hacer frente a los desastres. Hay indicios de una cultura de la prevención, pero se carece de una organización comunitaria robusta. Se manifiesta una actitud pasiva frente a los cambios ambientales, aunque se reconocen los riesgos en diferentes zonas de las localidades estudiadas. No obstante, se halló que, a partir del contacto con los eventos climáticos extremos, las comunidades aprenden y desarrollan medidas para enfrentar tales situaciones. Algunas de éstas les exigen modificar viviendas, construir bardas, fumigar, realizar tandeos de agua e identificar refugios, lugares de riesgo y autoridades competentes. Las comunidades incorporan este saber a su vida cotidiana y, en algunos casos, refuerzan sus redes de apoyo.

La capacidad de respuesta y las estrategias de adaptación de la comunidad frente al riesgo se relacionan con factores sociales, políticos, económicos y ecológicos. En términos de capacidades existe la idea de que el Estado debe asumir la responsabilidad y dotar a la comunidad de satisfactores antes y después del desastre. Sin embargo, en la mayoría de los casos la población de estudio carece de capacidad para anticipar y prevenir desastres, aunque posee la habilidad de lidiar, resistir y recuperarse del impacto.

Por otra parte, se identificaron enfermedades relacionadas con la variabilidad climática. Destacan los padecimientos respiratorios y gastrointestinales, así como enfermedades transmitidas por vectores.

Tercera etapa

En esta etapa se utilizarán metodologías participativas y se reforzarán prácticas resilientes según las necesidades de cada comunidad. Se plantearán diversas ecotecnias como reforestación, tratamiento de aguas grises, paneles solares, cosecha de lluvia, huertos comunitarios y baños secos, con la intención de reducir la vulnerabilidad e incrementar la resiliencia ante el cambio climático.

Conclusiones

El estudio permite reconocer la importancia de implementar políticas e instrumentos ambientales que faciliten la adaptación a los impactos del cambio climático y la mitigación de los mismos, en espacios periurbanos. Marca asimismo pautas ante la necesidad de fortalecer la gobernanza ambiental en la toma de decisiones, la cooperación entre diversos sectores y la cultura de la prevención, así como robustecer el uso de ecotecnias como un elemento de resiliencia.

Efecto del cambio climático en la contracción del hábitat de mamíferos endémicos de alta montaña

Sergio Ticul Álvarez-Castañeda[1]
RESPONSABLE TÉCNICO

Miguel Briones Salas[a]
Consuelo Lorenzo[b]

[1] Biólogo por el IPN y Doctor en Biología por la UNAM. Colaborador del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (investigador titular "E"), en La Paz, BCS, que trabaja en diferentes aspectos de mamíferos. Actualmente es SNI-III. Sus trabajos se enfocan en el estudio de sistemática, ecología, biología evolutiva, genética y conservación de mamíferos, con especial énfasis sobre las especies de las regiones desérticas del noroeste de México. Su producción académica es cercana a dos centenares de artículos, capítulos de libros y libros publicados.

[a] Laboratorio de Vertebrados Terrestres, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca, Instituto Politécnico Nacional.

[b] Departamento de Conservación de la Biodiversidad, El Colegio de la Frontera Sur, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas.

RESUMEN

En la alta montaña, el cambio climático está afectando a las especies endémicas y en peligro, lo que, aunado a las actividades antrópicas, puede llevarlas a la extinción en el corto plazo. Esta información será útil para comprender mejor las componentes climáticas, ecológicas y sociales del problema y en esa medida adecuar las políticas de mitigación y adaptación.

PALABRAS CLAVE

mamíferos endémicos; alta montaña; ecosistemas; extinción; hábitat; cobertura vegetal

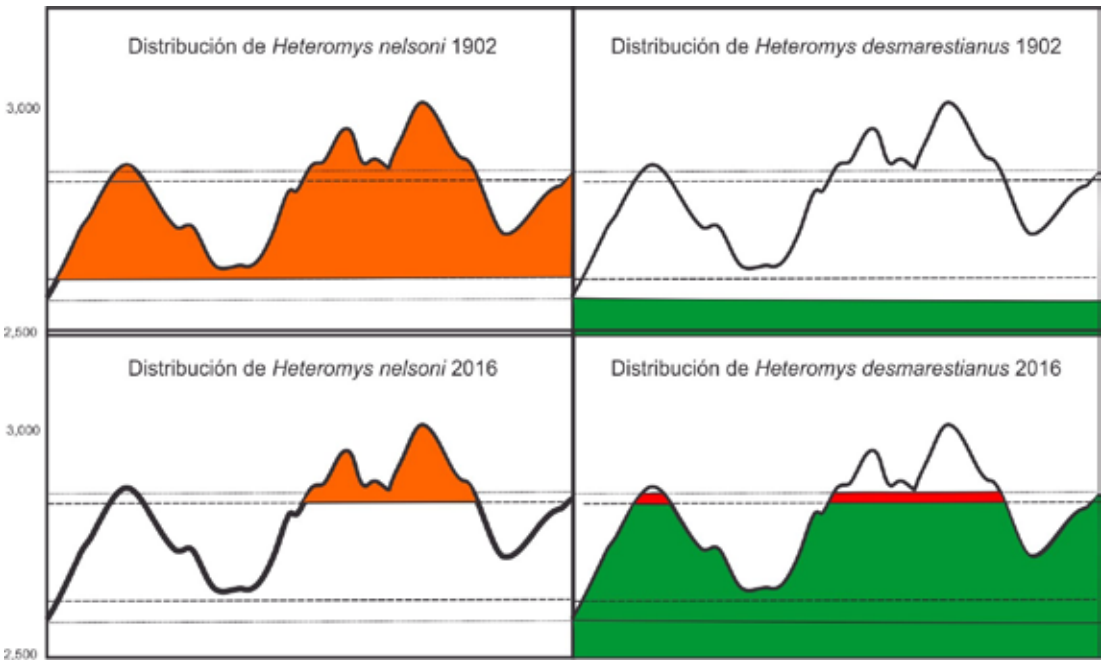
Introducción

El cambio climático asociado al incremento de temperatura, afecta directamente a muchas especies o, al alterar el ambiente, modifica también la distribución de las mismas. El uso y manejo humanos alteran los ecosistemas; en México, esto se acentúa en las regiones más pobladas y con ingresos económicos marginales.

Acerca de la variación altitudinal de especies de mamíferos, en las zonas altas de California, Estados Unidos (Moritz *et al.* 2008), y Chiapas, México (Ríos *et al*. 2016), hay registros de hace un siglo que muestran una constricción significativa del área de distribución de las especies con relación a la altitud y estiman una reducción de aproximadamente 500 m en el intervalo altitudinal –del límite inferior de distribución de las especies de alta montaña–, lo que implica una fuerte restricción en el área total de distribución. Por añadidura, las especies de altitudes menores encuentran hábitats adecuados y se convierten en competidores directos de las endémicas (FIGURA 1).

FIGURA 1

Variación en la distribución altitudinal de los ratones espinosos *Heteromys nelsoni* y *H. desmarestianus* a través del tiempo*



* En la que se observa expansión y contracción de hábitat (Modificado de Ríos *et al*. 2017).

La variación en la cobertura vegetal de los ambientes de montaña es un efecto directo del incremento de la temperatura media de la superficie mundial, de aproximadamente 0.6°C durante el siglo XX (IPCC 2001), y estimado en 1.0 a 2.5°C para el año 2030. En la actualidad se prevé que el aumento se ubique entre 1.4 y 5.8°C para el año 2100 (IPCC 2007).

En México hay pocos estudios acerca de las especies de mamíferos endémicas de montaña, sobre todo relativos a la distribución histórica y a la tasa de re-

ducción de sus áreas de distribución altitudinal (FIGURA 1), lo que tiene importantes implicaciones en los programas de conservación.

La mayoría de las especies endémicas de montaña tienen una distribución muy restringida, en algunos casos a un sistema orográfico e incluso a una montaña, con requerimientos especiales de hábitat, por lo que son extremadamente vulnerables a ser extintas (Muñoz *et al*. 2000) y figuran en las listas de especies amenazadas. Durante mucho tiempo se ha considerado que la presión antropogénica es la única causa de la contracción del área de distribución de las especies antedichas, pero los resultados de California y Chiapas dejan claro que el proceso de cambio climático global es un componente muy importante y que ha sido soslayado.

Objetivo

El presente proyecto está enfocado en determinar la variación de las áreas de distribución altitudinal de especies de mamíferos endémicos y amenazados de los sistemas montañosos de Chiapas y Oaxaca. La finalidad es generar recomendaciones inmediatas, mediatas y de largo tiempo para la conservación de esas especies. Los estados de Chiapas y Oaxaca son ricos en especies de mamíferos endémicos y la mayoría en categoría de riesgo.

En Oaxaca hay actualmente 216 especies. De ellas, 49 son endémicas de México, 14 exclusivas y 61 están enlistadas en la norma oficial mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010.[2] Un caso particular se da en las montañas de la Sierra Madre de Oaxaca (Sierra Juárez), donde se distribuyen varias especies endémicas de roedores en altitudes superiores a 3000 msnm (p. ej., *Microtus mexicanus, Habromys ixtlani, H. chinanteco* y *H. lepturus*).

Chiapas cuenta con 210 especies de mamíferos terrestres; 66 de ellas están consideradas en alguna categoría de protección dentro de la NOM-059-SEMARNAT-2010 y nueve son especies endémicas del estado (tres musarañas, dos murciélagos y cuatro roedores). Algunas de las especies endémicas se encuentran en altitudes cercanas a 3000 msnm en las regiones de los Altos de Chiapas y la porción este de la Sierra Madre de Chiapas, y seis son conocidas solamente de la localidad tipo (*Rhogeessa bickhami, Rhogeessa genowaysi, Tylomys tumbalensis, Cryptotis lacandonensis, Sorex stizodon* y *Sorex sclateri*).

Las especies de alta montaña tienen requerimientos especiales del hábitat y se encuentran en altitudes mayores que 2000 msnm. La mayoría de las especies

[2] Protección ambiental. Especies nativas de México de flora y fauna silvestres. Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio en la lista de especies en riesgo.

se asocian con el bosque templado, ecosistema sujeto al aprovechamiento humano y, por lo tanto, más susceptible de ser modificado y fuertemente alterado, lo que causaría en mayor medida la contracción del área de distribución de las especies consideradas (FIGURA 2).

El objetivo es entender el efecto que tienen las componentes antrópica y climática de manera independiente en las especies endémicas y en peligro de extinción. El uso de las diferentes especies como réplicas del mismo fenómeno mostrará un panorama de la situación actual en las altas montañas de Oaxaca y Chiapas, e incrementar los datos para tener soluciones plausibles que lleven a la preservación.

Los resultados del proyecto permitirán formarse una idea de cuáles son las variables climáticas y ecológicas que actúan sobre las especies en específico. Ofrecerán un abanico de variables que pueden ser mitigadas para la conservación de las especies, y de las que continuarán afectando a las poblaciones. La conciencia del efecto de este conjunto de variables y sus acciones específicas puede insertar un cambio en las políticas y estrategias de conservación de las especies y sus hábitats en los próximos años. La información ayudará también a contar con resultados óptimos para la conservación, atendiendo las variables que tengan mayor efecto positivo y que impliquen el mejor esfuerzo para su implementación.

FIGURA 2

Vista de la Sierra Madre del Sur en Chiapas, desde la localidad tipo del ratón espinoso *Heteromys nelsoni*.

Foto de Ernesto Pérez.

Estos planteamientos se basarán en los estudios específicos de las especies endémicas consideradas en el desarrollo del proyecto, pero sólo serán la base para entender un problema con componentes climáticas, ecológicas y sociales cuyas resultantes incluyen un conjunto de efectos indeseables. Las buenas políticas de conservación se deben basar en aspectos de la biología y ecología de las especies a conservar y esto sólo se obtendrá mediante altos niveles de conocimiento científico de los ambientes y de cada uno de los actores. La investigación de los mamíferos endémicos del sur de México debe apoyarse y enfocarse en evaluar las áreas poco exploradas, para con ello ampliar el conocimiento de su distribución, biología y ecología, y conocer el estado de conservación que guardan sus poblaciones. Es de igual importancia evaluar los cambios en los procesos ecológicos y evolutivos de las especies resultantes de actividades humanas, tales como la transformación del hábitat, la extracción de especies y los efectos del cambio climático.

Son urgentes la protección del hábitat (bosques tropicales y de montaña; FIGURA 3) y el impulso a opciones realistas de uso sustentable de la fauna silvestre a través de la integración de grupos organizados que creen unidades de manejo para la conservación de la vida silvestre (UMA) bien administradas, asesoradas y financiadas, y que mejoren la economía de las comunidades rurales para hacerlas partícipes de este proceso.

FIGURA 3

Bosque mesófilo de la parte alta de Oaxaca.

Foto de Ernesto Pérez.

Bibliografía

IPCC 2001. Climate change 2001: the scientific basis. http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/pdf/wg1_tar-front.pdf

IPCC 2007. Climate change 2001 https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf

Moritz, C., J.L. Patton, C.J. Conroy, J.L. Parra, G.C. White, S.R. Beissinger. 2008. Impact of a century of climate change on small-mammal communities in Yosemite National Park, USA. *Science* 322:261-264.

Muñoz, A., A. Horvath, R. Vidal, R. Percino, E. González, V. Larrañaga. 2000. Efectos de la fragmentación del hábitat sobre la biodiversidad de la Reserva de la Biosfera El Triunfo. Inf final –CONACYT–TNC. Ecosur.

Ríos, E., C. Lorenzo, S.T. Álvarez Castañeda. 2016. Genetic evaluation of a microendemic and threatened rodent (*Heteromys nelsoni*) from Southern Mexico. *Mamm*. DOI 10.1515/mammalia-2015-0173.

Construcción de un índice de vulnerabilidad climática para el estado de San Luis Potosí

Gabriela Domínguez Cortinas[1]

[1] Posdoctorado en Desarrollo Comunitario y Doctorado en Ciencias Ambientales. Programas Multidisciplinarios de Posgrado en Ciencias Ambientales de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Profesora-Investigadora de tiempo completo. SNI-I. Facultad de Medicina, CIACYT, Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

RESUMEN

Esta investigación presenta una caracterización cuantitativa de vulnerabilidad climática, integrando fenómenos locales provenientes de procesos ocurrentes a diferentes escalas espaciales. A partir de 13 indicadores y con los datos de 106 estaciones meteorológicas, se calculan y estratifican los índices cuantitativos de vulnerabilidad climática de los municipios de la entidad.

PALABRAS CLAVE

cambio climático; vulnerabilidad climática; sistemas socioecológicos; fenómenos hidrometeorológicos.

Introducción

A partir de las condiciones actuales de cambio climático se han proyectado escenarios que prevén aumento de las temperaturas y alteración del régimen de fenómenos hidrometeorológicos ordinarios y extremos, entre otros eventos que amenazan a los sistemas socioecológicos y sus mecanismos de subsistencia. De ahí la necesidad de evaluar los posibles impactos del cambio en diferentes escalas geoespaciales, sin perder de vista que el análisis a escalas de baja resolución (regional, subregional) solamente permitiría establecer tendencias generales, mientras que su expresión en alta resolución (local) permitirá revelar la medida en que algunos procesos –deforestación, cambios de uso del suelo, fragmentación

de ecosistemas, contaminación ambiental y otros– pueden potenciar las consecuencias al aumentar la vulnerabilidad o reducir la capacidad de resiliencia de los sistemas socioecológicos.

Diagnóstico cuantitativo de vulnerabilidad

Para la integración de los diagnósticos cuantitativos de vulnerabilidad socioeconómica, socioambiental y sanitaria se construyó una batería de indicadores sustentados teóricamente por su posible dependencia directa o indirecta de alteraciones climáticas, como son: estado de salud –que puede ser afectado por enfermedades de incidencia temporal, cíclica o de tipo crónico–; tenencia de sistemas productivos de autoabastecimiento; fuentes de ingreso salarial; dependencia económica de programas de transferencias; condiciones del hogar y la vivienda, y condiciones subclínicas de riesgo. Se realizó asimismo un análisis de datos meteorológicos, con énfasis sobre procesos de ocurrencia de largo plazo, para identificar cambios en los patrones de variables climáticas, como temperatura y precipitación, a partir de sus registros históricos. Y se efectuó la integración cuantitativa de indicadores de vulnerabilidad socioeconómica, sociodemográfica, socioambiental y sanitaria para el estado de San Luis Potosí en escala regional (Sierra Madre Oriental, Llanura Costera, Serranías Meridionales, Llanura de Rioverde, Región Bóreo-Central y Planicie Occidental) mediante un análisis estadístico multifactorial.

Índices cuantitativos de vulnerabilidad climática

Para la construcción de índices cuantitativos de vulnerabilidad climática (IVC) se realizó un análisis de factores aplicando el método de componentes principales para identificar relaciones multivariadas entre los indicadores climáticos (temperatura máxima, mínima y precipitación) e indicadores socioambientales, socioeconómicos y sanitarios para obtener pesos específicos de atribución respecto a las condiciones vulnerables identificadas en los diferentes municipios y regiones. La información de estos indicadores provino de las bases de datos de INEGI, CONAPO y CONEVAL para los años 2000, 2005 y 2010, a un nivel de desagregación municipal. Los indicadores seleccionados fueron:

1. Habitantes por unidad de consulta externa;
2. unidades de hospitalización;
3. habitantes por personal médico;

4. población no derechohabiente a servicios de salud;
5. población con pobreza alimentaria;
6. población con pobreza de capacidades;
7. población con pobreza patrimonial;
8. población analfabeta de 15 años y más;
9. ocupantes en viviendas sin drenaje ni servicio sanitario exclusivo;
10. ocupantes en viviendas sin agua entubada;
11. viviendas con hacinamiento;
12. ocupantes en viviendas con piso de tierra, y
13. población ocupada con bajos ingresos.

Por otro lado, a partir de los datos diarios de las series de tiempo de 106 estaciones meteorológicas ubicadas en las cabeceras municipales o colindantes con las principales manchas poblacionales de cada municipio del estado, se calcularon los valores promedio de las temperaturas máximas y mínimas y los valores totales de la precipitación para cada estación.

Condición de vulnerabilidad climática en San Luis Potosí

Los resultados del análisis multivariado de componentes principales mostraron un porcentaje de varianza total explicada de 79.9%, extraída en los primeros cuatro componentes, de los cuales el primero explicó el 49.3% de la varianza de los datos; el segundo, 15.3%; el tercero, 8.7%, y el cuarto, 6.6% (TABLA 1).

TABLA 1

Extracción de componentes, mostrando la varianza explicada en cada uno y la varianza acumulada de cada eigenvalor

Varianza total explicada									
Componente	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	7.896	49.353	49.353	7.896	49.353	49.353	6.177	38.605	38.605
2	2.447	15.291	64.644	2.447	15.291	64.644	2.496	15.600	54.204
3	1.399	8.746	73.390	1.399	8.746	73.390	2.121	13.257	67.461
4	1.054	6.588	79.977	1.054	6.588	79.977	2.003	12.516	79.977

Elaboración propia.

La matriz rotada de componentes mostró las variables que presentaron los mayores coeficientes de correlación (R) en cada uno de los cuatro componentes extraídos, reflejando la intensidad y el peso de contribución en cada uno (TABLA 2).

En el primer componente destacaron ocho variables. Las de mayor importancia fueron el porcentaje de población con pobreza alimentaria (R=0.900; R^2=0.810) y el de ocupantes en viviendas sin agua entubada (R=0.884). En el segundo, las variables con mayor peso fueron el promedio de la temperatura mínima (R=0.875; R^2=0.765), el de la temperatura máxima (R=0.837; R^2=0.700) y la precipitación total (R=0.685; R^2=0.469). En el tercero sólo se identificaron dos variables con altos coeficientes de correlación: unidades de hospitalización en el municipio (R=-0.838; R^2=0.703) y número de unidades hospitalarias (R=-0.784; R^2=0.469).

TABLA 2

Matriz de componentes principales obtenida por el método de rotación Varimax, mostrando las variables con mayor saturación (correlación) por componente extraído

Concepto	Componente				
	1	2	3	4	R^2
% población que sufre pobreza alimentaria	0.900	0.240	0.220	0.143	0.810
% ocupantes en viviendas sin agua entubada	0.884		0.129		0.782
% población que sufre pobreza de capacidades	0.883	0.236	0.272	0.116	0.779
% ocupantes en viviendas con piso de tierra	0.819	0.414			0.671
% población analfabeta de 15 años y más	0.797	0.116	0.271	0.103	0.636
% población que sufre pobreza de patrimonio	0.797	0.213	0.39		0.635
% población ocupada con ingreso ≤ dos salarios mínimos	0.738		0.516	0.125	0.544
% viviendas con algún nivel de hacinamiento	0.733	0.291	0.235	0.288	0.537
Promedio de temperatura mínima	0.25	0.875		-0.115	0.765
Promedio de temperatura máxima	0.165	0.837		0.182	0.700
Precipitación total	0.264	0.685	0.129	-0.423	0.469
Unidades de hospitalización en el municipio	-0.272		-0.838	-0.349	0.703
Número de habitantes por cada unidad de consulta externa	-0.413		-0.784		0.614
Número de habitantes por cada persona (personal médico)			0.251	0.794	0.631
% ocupantes en viviendas sin drenaje ni servicio sanitario exclusivo	0.266	-0.343		0.674	0.454
% población no derechohabiente de servicios de salud	0.549		-0.14	0.637	0.406

Fuente: Elaboración propia.

Los (IVC), obtenidos a partir de las puntuaciones resultantes de las relaciones multivariadas de los 13 indicadores socioambientales y sanitarios asociados a la variabilidad y el cambio climático por municipio (Dalenius y Hodges 1959), quedaron conformados por cinco estratos:

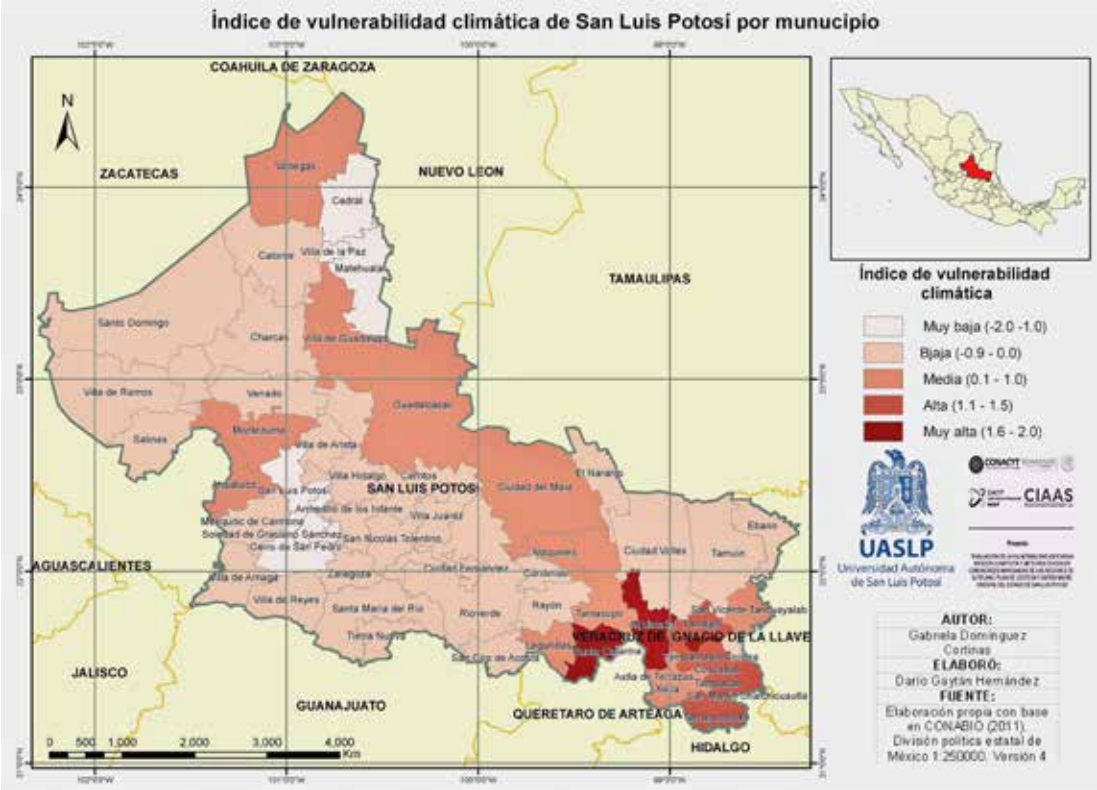
Estrato	IVC	
1	-2.00_-1.0	"muy baja vulnerabilidad"
2	-0.99_0.0	"baja vulnerabilidad"
3	0.01_1.0	"vulnerabilidad media"
4	1.01_1.5	"alta vulnerabilidad"
5	1.55_2.0	"muy alta vulnerabilidad"

Los municipios identificados con índices de "muy alta vulnerabilidad" fueron Santa Catarina (IVC=1.95), de la Llanura de Rioverde (LRV), y Aquismón (IVC=1.91) y San Antonio (IVC=1.69) de la región Sierra Madre Oriental (SME).

La SME y Planicie Costera Nororiental (PCNO) concentran el 100% de los municipios del estado con índices de "alta vulnerabilidad" (FIGURA 1).

FIGURA 1

Índice de vulnerabilidad climática de San Luis Potosí, por municipio.



Por su parte, la región Huasteca (SME y PCNO) presentó un 50% de sus municipios en condiciones de "muy alta y alta vulnerabilidad" (10% y 40% respectivamente).

En la LRV, 67% de los municipios presentaron un índice de "vulnerabilidad media"; 25%, un índice de "baja vulnerabilidad", y sólo uno de "muy alta vulnerabilidad" (8%).

De los municipios de la SME, 91% presentaron condiciones de "baja y muy baja vulnerabilidad" (64% y 27% respectivamente), y 9% (un municipio), "vulnerabilidad media".

En las regiones Bóreo-Central (BC) y Planicie Occidental Altiplano (POA), 73% de los municipios tuvieron "baja y muy baja vulnerabilidad" (53% y 20% respectivamente) y únicamente 27% tuvo "vulnerabilidad media".

Potencial de aprovechamiento

La identificación y evaluación de las condiciones de vulnerabilidad climática en San Luis Potosí permitirán a los tomadores de decisiones –de gobiernos locales y regionales, o académicos que desarrollan trabajo comunitario– la aplicación de programas de adaptación dirigidos a la implementación de actividades que promuevan estilos de vida más sostenibles, en los que los factores resilientes superen a los factores de vulnerabilidad, al tiempo que permitan la construcción de la cultura de la prevención.

Bibliografía

INE (2009) *México Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.* 274 pp.

Shea, K., Corra, L., Pronczuk, J., Brune, M-N. (2008). *Managing chemicals in a changing climate to protect health*. Intergovernmental Forum on Chemical Safety. Global Partnerships for Chemical Safety.

IPCC. Climate Change 2001. *Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

La fenología de frutos de la duna costera de la península de Yucatán

Richard Evan Feldman[1]
RESPONSABLE TÉCNICO

Alfredo Dorantes Euán[2]

[1] Doctor en Biología por la McGill University de Canadá. Unidad de Recursos Naturales, Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., Mérida, Yuc., México.

[2] Unidad de Recursos Naturales, Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., Mérida, Yuc., México.

RESUMEN

Monitoreo de la cantidad de frutos disponibles en dos sitios de la costa de Yucatán durante la migración de aves de otoño. El cambio climático puede afectar la fenología de los frutales que representan la supervivencia de las aves, en el sentido de anticipar o retrasar la maduración de los frutos respecto de la llegada de esas especies.

PALABRAS CLAVE

fenología; migración de aves; interacciones consumidores-recursos; hábitat de parada; áreas naturales protegidas

Introducción

Por su ubicación geográfica, la península de Yucatán resulta ser de increíble importancia para la migración de las aves. En Norteamérica, al menos dos tercios de las aves migratorias neotropicales cruzan o circunnavegan el Golfo de México cada otoño y arriban a la duna costera de la península (Deppe *et al*. 2015). Al llegar, necesitan los recursos alimenticios necesarios para recuperar la energía gastada durante el vuelo de aproximadamente 24 horas a través del Golfo,

para después proseguir con la migración hacia Centro y Sudamérica. Sin embargo, aún no se sabe si hay una sincronía entre el arribo de las aves a la península y el periodo de mayor abundancia de los recursos alimenticios o, por el contrario, su llegada es anterior o posterior al periodo en que los frutales alcanzan la máxima productividad, y por lo tanto, los recursos son escasos. Incluso se sabe menos acerca de cómo las aves usan los sitios de escala durante su ruta de migración en la península, qué tan importantes son los frutos para los individuos que hacen escala, cómo afecta la disponibilidad de frutos el comportamiento de los individuos, y el grado de desajuste que hay entre la época de la migración de las aves y la emergencia de los frutos. El objetivo de este estudio es investigar la variabilidad de frutos disponibles para las aves a través del tiempo en dos sitios que tienen el hábitat de duna costera, pero que difieren en sus características geográficas.

Desarrollo de la investigación

El estudio comenzó en el periodo de migración de aves de 2016 (15 agosto-15 noviembre) con el propósito de comparar los cambios temporales en la composición y disponibilidad de frutos con la diversidad, abundancia y comportamiento de las aves en dos sitios de escala en la costa NE de Yucatán: el Parque Nacional Isla Contoy, en Quintana Roo, y El Cuyo, dentro de la Reserva de la Biosfera Ría Lagartos, en Yucatán (FIGURA 1).

Aquí se presenta la primera descripción de la fenología de los frutos de otoño en el hábitat de duna costera en la península. Para monitorear los frutos, se seleccionaron de manera aleatoria 15 individuos de árboles o arbustos en Isla Contoy y 50 individuos en El Cuyo.

Se eligieron especies que producen frutos carnosos y que probablemente son consumidas por las aves migratorias, y algunas, como *Bursera simaruba*, de las que se sabe son aprovechadas por varias especies migratorias (Scott y Martin 1994). El monitoreo se extendió a especies con frutos carnosos en transectos de 12 m (20 en El Cuyo y 11 en Isla Contoy). Se realizó un conteo semanal del número de frutos maduros presentes en cada individuo.

Resultados

Las diferencias geográficas entre El Cuyo e Isla Contoy –el primero en tierra firme de la costa del Golfo y el segundo, una isla del Caribe– se manifestaron en las comunidades de plantas con frutos: se encontraron dieciocho especies que pueden

FIGURA 1

Ubicación de los sitios de estudio

(Google Maps.)

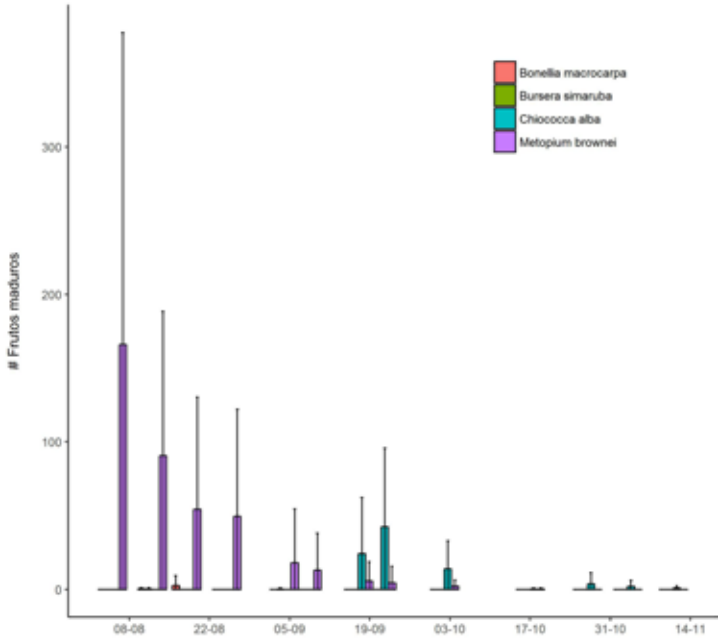
dar frutos en El Cuyo y seis en Isla Contoy. Los dos sitios tuvieron cuatro especies en común: *Bursera simaruba, Coccoloba uvifera, Lantana involucrata L.* y *Thrinax radiata*. Aunque existen estos recursos potenciales, sólo los de una fracción se encontraban en fructificación durante el estudio. Fueron siete especies en El Cuyo: *Pseudophoenix sargentii* H. Wendl. ex Sarg., *Bursera simaruba*, *Thrinax radiata*, *Bonellia macrocarpa* (Cav.) B.Ståhl & Källersjö, *Coccothrinax readii*, *Chiococca alba* Hitchc. y *Metopium brownei*, y tres en Isla Contoy: *Thrinax radiata*, *Lantana involucrata* y *Erithalis fruticosa* L.

En El Cuyo, los individuos de *Metopium brownei* alcanzaron la mayor cantidad y mayor promedio de frutos: produjeron más de cinco veces la cantidad de frutos que las otras especies. Esta especie tuvo un pico de producción al inicio de la temporada de migración que fue declinando hasta finales de septiembre (FIGURA 2A), en tanto que *Chiococca alba* produjo un número menor de frutos, a lo largo de tres semanas, entre mediados de septiembre e inicios de octubre (FIGURA 2A). Se observó un patrón similar en los transectos de El Cuyo: *Metopium brownei* fue la especie que produjo más frutos en promedio a principio del mes de agosto; sin embargo, *Chiococca alba* y *Thrinax radiata* produjeron un mayor número de frutos, la primera con el promedio más alto, con pico máximo a finales de septiembre, en tanto que la segunda tuvo un pico máximo a finales de octubre (FIGURA 2B).

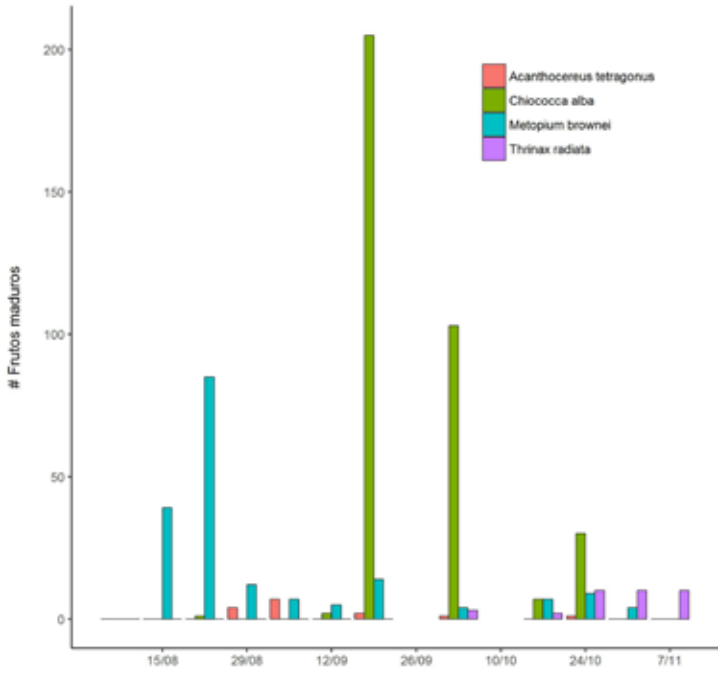
FIGURA 2

Frutos y transectos en El Cuyo.

A



B

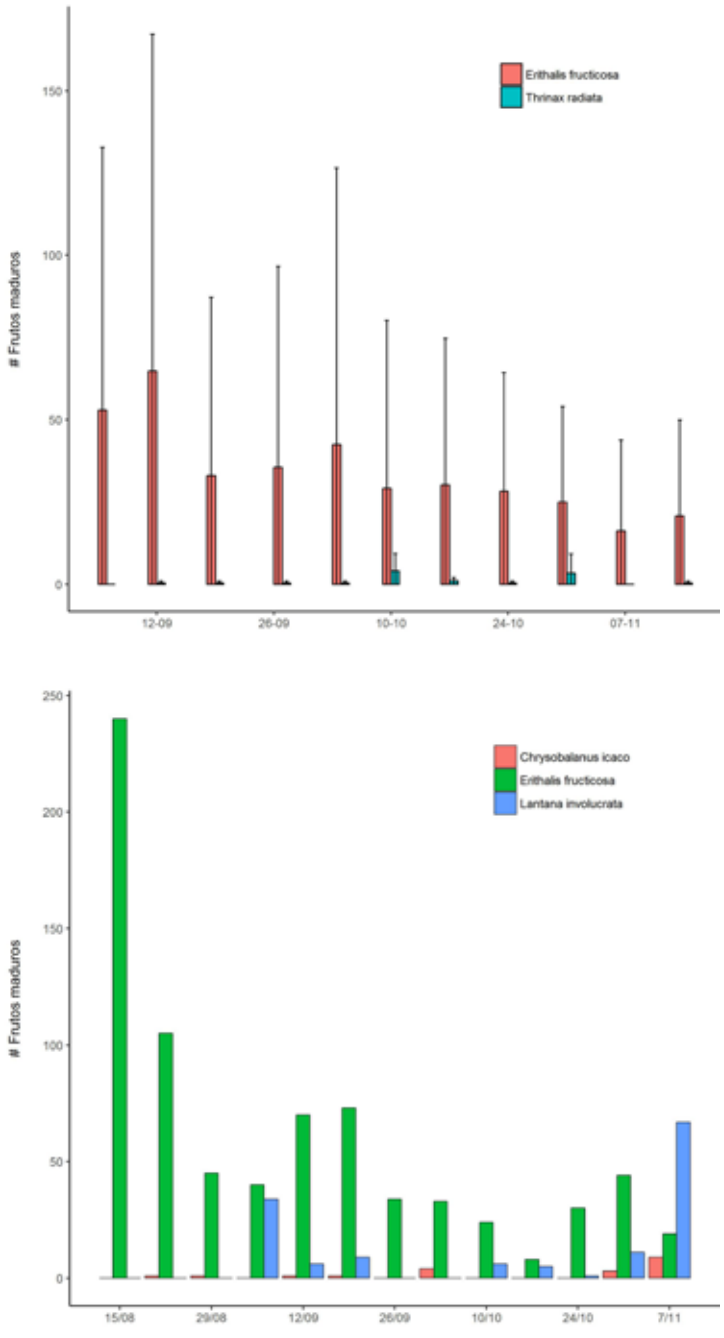


A. Frutos maduros producidos por las especies en los puntos de muestreo. B. Transectos en el sitio de El Cuyo. Los valores son el promedio ± el error estándar. Sólo especies con al menos tres individuos se muestran.

En Isla Contoy, sólo *Erithalis fruticosa* tuvo un pico de producción a principios de septiembre, disminuyendo ligeramente en las siguientes semanas, aunque mantuvo la producción de frutos hasta el final de la temporada de migración de otoño (FIGURAS 3A Y 3B). *Thrinax radiata* añadió frutos casi constantemente

FIGURA 3

Frutos y transectos en Isla Contoy



A. Frutos maduros producidos por las especies en los puntos de muestreo. B. Transectos en el sitio de Isla Contoy. Los valores son el promedio ± el error estándar. Sólo especies con al menos tres individuos se mostraron.

durante el mes de octubre (FIGURA 3A). Cuando se ampliaron los datos para incluir los transectos, se observó también que *Lantana involucrata* y *Chrysobalanus icaco* produjeron frutos, algunas veces en cantidades que excedieron los de *Erithalis* (FIGURA 3B).

Aplicaciones

El estudio está dirigido a los gerentes de áreas naturales protegidas que necesiten conocer la capacidad de los hábitats para sostener la biodiversidad amenazada por el cambio climático. Por ejemplo, los datos muestran que las aves que hacen escala en la duna costera de la costa norte de la península tienen que modificar su dieta durante la migración: primero *Metopium brownei*, luego *Chiococca alba*, y al final *Thrinax radiata*. Es probable que las aves que migran cerca del pico de fructificación puedan ganar energía rápida, pero si la fructificación se adelanta por el cambio climático, como se espera (Gallinat *et al*. 2015), la mayor parte estará disponible prematuramente. Es también importante saber si la diversidad de las aves dentro de las reservas depende de factores locales o de una escala mayor. Por ejemplo, la diversidad y abundancia de frutos en El Cuyo señala que las aves aterrizan expresamente para recuperar energía antes de seguir la migración. Por su parte, la Isla Contoy es pobre en especies frutales, y la especie abundante, *Erithalis fruticosa*, no cuenta con muchos nutrientes y antioxidantes: entonces, es probable que esta isla funcione sólo como una parada de emergencia (*sensu* Mehlman *et al*. 2005): las aves aterrizan sólo cuando están en malas condiciones o cuando hay mal clima, eventos que son independientes de la condición de la isla.

Bibliografía

Deppe, J.L., Ward, M.P., Bolus, R.T., Diehl, R.H., Celis Murillo, A., Zenzal Jr. T.J., Moore, F.R., Benson, T.J., Smolinsky, J.A., Schofield, L.N., Enstrom, D.A., Paxton, E.H., Bohrer, G., Beveroth, T.A., Raime, A., Obringer, R.L., Delaney, D. y Cochran, W.W. 2015. Fat, weather, and date affect migratory songbirds' departure decisions, routes, and time it takes to cross the Gulf of Mexico. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112: E6331- E6338.

Gallinat, A.S., Primack, R.B. y Wagner, D.L. 2015. Autumn, the neglected season in climate change research. *Trends in Ecology & Evolution* 30: 169-176.

Mehlman, D., Mabey, S., Ewert, D., Duncan, C., Abel, B., Cimprich, D., Sutterf, R.D. y Woodrey, M. 2005. Conserving stopover sites for forest-dwelling migratory landbirds. *The Auk* 122: 1281-1290.

Scott, P.E. y Martin, R.F. 1984. Avian consumers of *Bursera*, *Ficus*, and *Ehretia* fruits in Yucatán. *Biotropica* 16: 319-323.

La heterogeneidad de superficie en la valoración del cambio climático. Altiplano mexicano

Enrique González Sosa[1]
RESPONSABLE TÉCNICO

Rocío Becerril Piña[a]
C. Alberto Mastachi Loza[a]
Etienne Leblois[b]
Gabriel López[c]
Mónica Cervantes Jiménez[d]
Aurelio Guevara Escobar[d]
N.M. Ramos Salinas[e]
Francisco Arriola Muñoz[f]

[1] Ingeniero civil por la UNAM. Especialista en Gestión de Cuenca por el Instituto Italo Latinoamericano (IILA)y la FAO, en la Universidad de Trento, Italia. Maestro en Hidráulica por la Universidad Autónoma de Querétaro. DEA (MMGE) por la Universite Joseph Fourier, y doctor en Mecanique de Millieux Geophysiques et Environmental por el Institute Politechnique de Grenoble, Francia. Experiencia en el sector privado y gubernamental (CFE). Investigación en el Instituto de Ingeniería de la UNAM y en el laboratorio de Transferts en Hydrologie et Environment. Estancias de investigación en la Universidad de Nebraska, Lincoln, EUA, y en el Institut National de Recherche en Sciences et Technologies pour l'environnement et l'agriculture (IRSTEA), Francia. Intereses en hidrología de base física, soil vegetation atmosphere transfer (SVAT) y de los procesos de superficie.

[a] Universidad Autónoma del Estado de México CIRA.

[b] IRSTEA, Lyon, Francia.

[c] Universidad de Baja California.

[d] Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ).

[e] Facultad de Ingeniería, UAQ.

[f] Universidad de Nebraska, Estados Unidos de América.

RESUMEN

El estudio de la heterogeneidad de superficie y de los enlaces escalas de la biosfera-atmósfera, mejora la comprensión de los efectos del cambio climático en climas regionales. El área de estudio abarca aproximadamente 5.6 millones de hectáreas, distribuidas en siete entidades federativas.

PALABRAS CLAVE

heterogeneidad de superficie; cambio climático; interacciones biosfera-atmósfera; clima regional

Introducción

El incremento de la heterogeneidad de la superficie terrestre generada por los cambios de usos de suelo, el crecimiento de áreas urbanas y la estructura rugosa de la superficie montañas-valles (Avissar *et al*. 1989) pueden no estar bien re-

presentados cuando se establece una parametrización y entradas —*forcing*— en los Modelos de Circulación Global (MCG), porque un pixel a escala de 200 km agrupa a pixeles de menor tamaño, lo que implica un nuevo grupo de parámetros que responde a una repartición diferente de los flujos de superficie (Bonan *et al*. 1993; González *et al*. 1999, y Calvet *et al*. 1999). En las últimas décadas se han desarrollado diferentes estrategias y también la demanda de nuevas investigaciones sobre la hetereogeneidad de superficie, para intercambiar o proyectar información, de forma pertinente, de una escala mayor a una escala menor o viceversa. En este contexto, el escalamiento, hacia arriba o hacia abajo, de las observaciones satelitales, parece ser la vía adecuada para las aplicaciones y el estudio a escala regional de los procesos hidrológicos, sin importar si es mediante correlaciones estadísticas o leyes físicas, entre grandes escalas y escalas de resolución de decenas de metros a varios kilómetros (Jian Pen *et al*. 2017).

Desde el punto de vista climático e hidrológico, los efectos de escala inciden en la temperatura del aire y del suelo, en el albedo, la repartición de la evaporación y el crecimiento de la vegetación, así como el escurrimiento superficial, que también son dependientes de la heterogeneidad de la humedad del suelo.

Tendencias climáticas y heterogeneidad de superficie

Para establecer los efectos del clima se definió el comportamiento medio de la región de estudio, a partir del análisis de las series de tiempo de la precipitación, la $T_{mín}$, la $T_{máx}$ y la determinación de su tendencia. La tendencia de cambio fue evaluada aplicando la prueba no paramétrica Theil-Sen, que cuantifica el incremento o decremento por unidad de tiempo para la serie estudiada. Definida como:

$$\beta = Media\left(\frac{x_j - x_i}{j - i}\right) para\ toda\ i < j$$

donde x_j y x_i representan los valores de la serie de tiempo para los años i y j y β la magnitud del gradiente de cambio

Además de analizar las temperaturas $T_{máx}$ y $T_{mín}$, también se estudiaron los periodos de ausencia de lluvia con diferentes duraciones (*Dry Spells*; 29, 39, 49 y 59 días), en los que no se presentaron días consecutivos de lluvia y precipitación mayor que 5 mm. Se analizaron los efectos de la heterogeneidad de la superficie con base en la comparación de cuatro imágenes multiespectrales de alta resolución del área de estudio, para un solo día (DOY=82) y de diferente tamaño de pixel: MODIS (250 m) Landsat (30 m), y dos imágenes obtenidas con un vehículo no tripulado (UAV por sus siglas en inglés) *senseFly eBee* '*mapping dron*', a pequeña escala (30 ha). Las imágenes fueron tomadas a una altura de 119 m sobre el

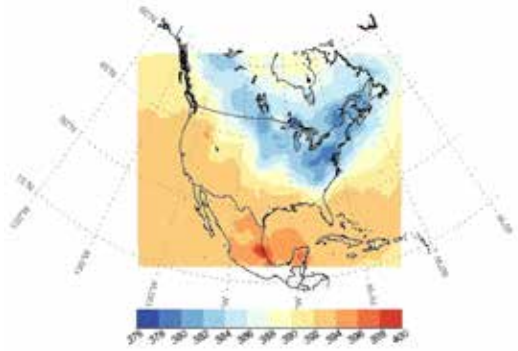
nivel del suelo, con un traslape longitudinal de 80% y transversal de 65%, obteniéndose una resolución de 30 cm y 11 cm.

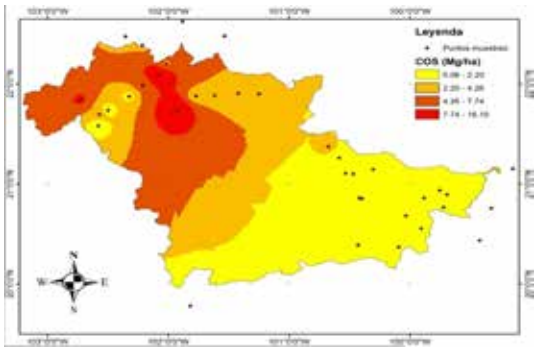
Área de estudio

El área de estudio abarca 5,574,928 ha y está situada en la región sur del Altiplano mexicano. Ocupa parte de los estados de Zacatecas, San Luis Potosí, Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro, Jalisco y Michoacán (FIGURA 1). De manera general, la superficie es una región destinada a la agricultura y corredores industriales, caracterizada por un clima semiseco con precipitaciones anuales entre 400 y 700 mm.

FIGURA 1

Área de estudio (superior) y concentraciones de CO_2, observadas y generadas por la modelación (WFR, fuente http://dx.doi.org/10.3334/ORNLDAAC/1338)



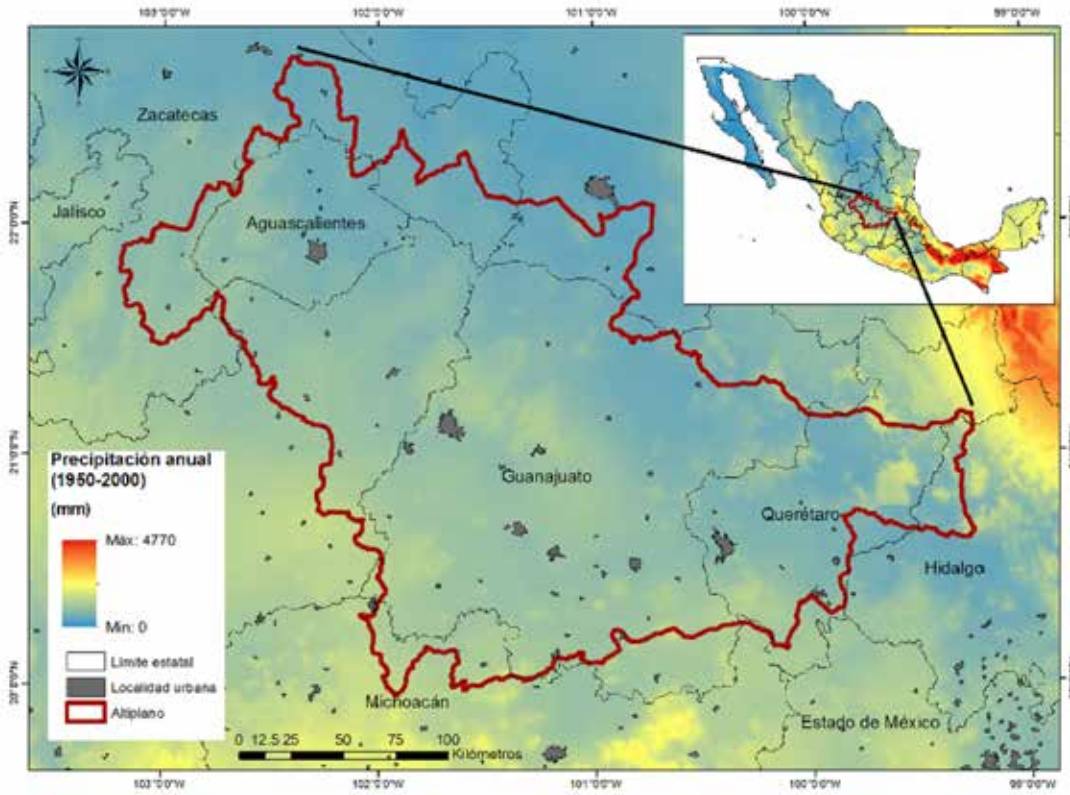


Fuentes de información y variables de estudio

Fueron consideradas dos fuentes de información: Clicom, por parte del SMN, periodo 1957 a 2004 (47 años), y la proveniente de la NASA-ORNL-DAAC-Daymet (https://daac.ornl.gov), con valores medios diarios, generada entre 1980 y 2015 (35 años) con una interpolación intra-extra y datos climáticos con una resolución espacial de mallas de 1 km x 1 km (FIGURA 2). Para la zona de estudio se identificaron 314 estaciones con registros en la base de datos de Clicom de la CONAGUA. Como criterio de calidad de datos para incluir a las estaciones, se estableció el de contar con más del 50% de registros en el rango temporal de 1957 a 2004, con un margen de error de ±4 y -4 años respectivamente.

FIGURA 2

Inferior: distribución espacial de la lluvia media anual en la región de estudio con una resolución de 1x1 km (NASA–ORNL-DAAC-Daymet (https://daac.ornl.gov).



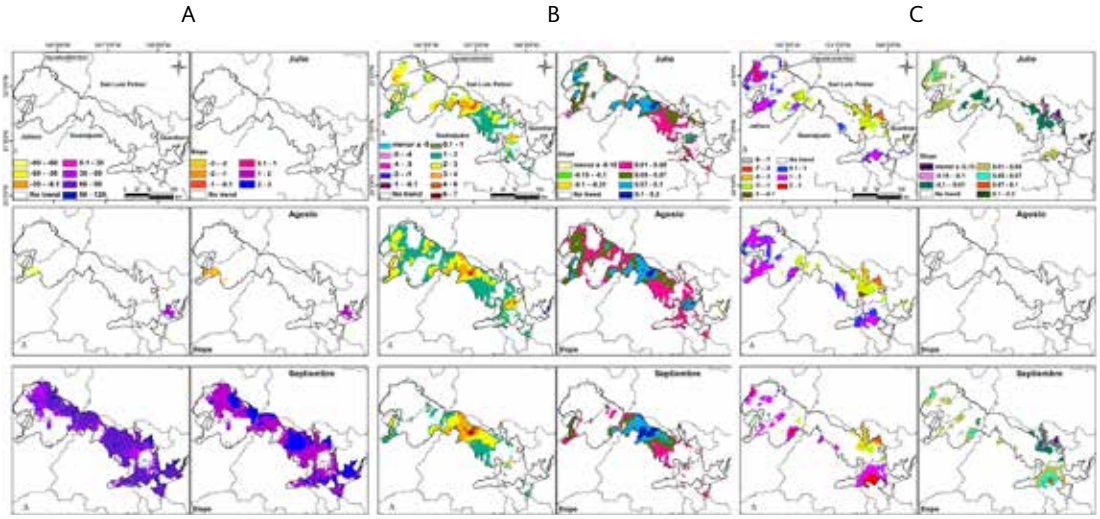
Resultados

El análisis de tendencia de cambio con la información de la NASA-ORNL-DAAC-Daymet señala cierta inestabilidad en los meses de septiembre y noviembre, y en el

resto de los meses, permanencia de la variabilidad del ciclo anual del agua. En la FIGURA 3 se muestran los resultados de los incrementos y tendencias de cambio de la precipitación, $T_{máx}$ y $T_{mín}$, con valores medios diarios generados entre 1980 y 2015 (35 años) en los estados de Querétaro, Guanajuato, Jalisco y Aguascalientes, para los meses de julio, agosto y septiembre.

FIGURA 3

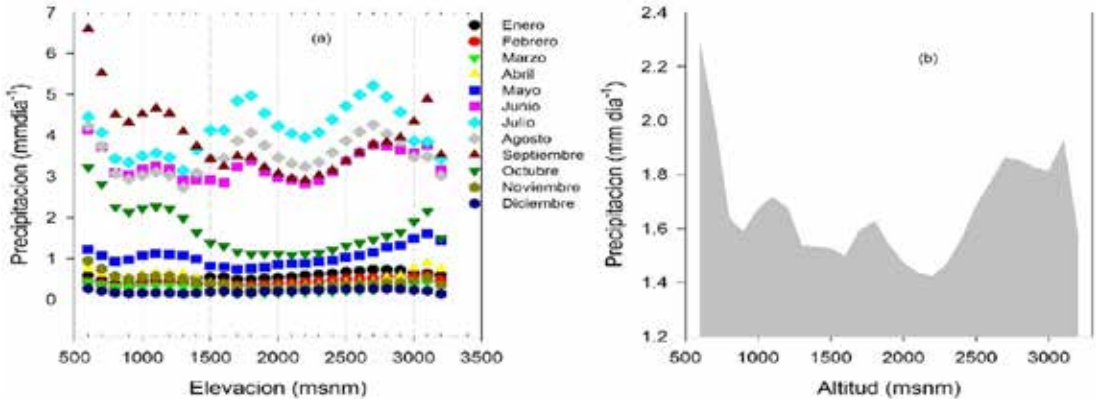
Tendencias de cambio de la precipitación, temperatura mínima y máxima.



Valores medios diarios generados entre 1980 y 2015 (35 años) en los estados de Querétaro, Guanajuato, Jalisco y Aguascalientes para los meses de julio, agosto y septiembre. A) Incremento y tendencia de cambio de la precipitación. B) Incremento y tendencia de cambio de $T_{máx}$. C) Incremento y tendencia de cambio de $T_{mín}$.

FIGURA 4

Distribución de la precipitación por altitud a partir de un mallado de 1x1 km.



a) Muestra la distribución media mensual. b) La distribución media diaria, en ambos casos para el periodo, NASA-ORNL-DAAC-Daymet (https://daac.ornl.gov).

En la FIGURA 4 se muestra la distribución media mensual de la precipitación, donde puede verse un contraste: las lluvias de septiembre se concentran en la parte baja de la cuenca –500 a 1000 msnm– y el periodo julio-octubre presenta una repartición bimodal entre las elevaciones altas, 1500-2000 y 2500-3000 msnm, comportamiento que favorece la heterogeneidad de la superficie, a escala parcelaria y de cuenca.

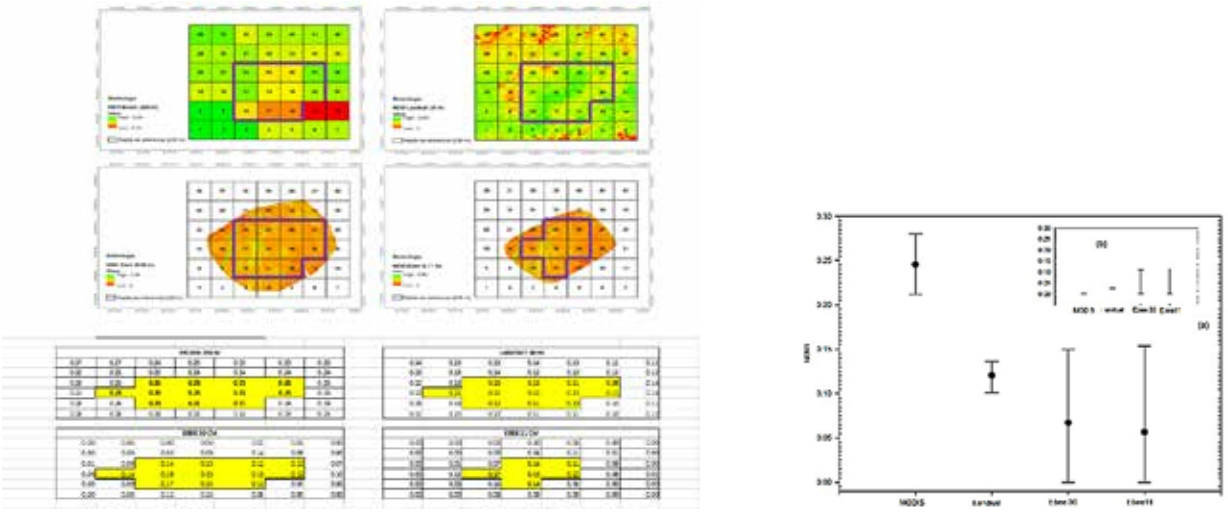
El comportamiento de los *dry spells*, no presentados aquí, es también un indicador de los efectos del cambio climático. Las tendencias de cambio de la precipitación y la temperatura ilustran los efectos del cambio climático global a diversas escalas de tiempo, así como una factible acentuación de heladas, sequías y ondas de calor, tal como lo sugiere la alternancia de pendientes positivas y negativas en la región de estudio.

Por otra parte, la comparación del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (IVDN),[2] a diversas escalas, muestra cómo los efectos de éstas pueden influir en el balance de energía y agua en el sistema suelo-planta-atmósfera.

En la FIGURA 5 se presenta la comparación de los valores medios del IVDN, tomando como área de referencia la escala de 250 m, referida en imágenes satelitales Landsat.

FIGURA 5

Comparación de la distribución del IVDN (DOY 82, 2017) en el sitio experimental para diferentes escalas de resolución y diferentes direcciones.



Comparación de cuatro imágenes (izquierda) multiespectrales de alta resolución del área de estudio para un solo día (DOY=82) y de diferente tamaño de pixel: MODIS (250 m) Landsat (30 m) con las obtenidas (derecha) con un vehículo no tripulado con un traslape longitudinal del 80% y transversal de 65% obteniéndose una resolución de 30 cm y 11 cm.

[2] NDVI por sus siglas en inglés.

Puede verse, en términos del tamaño del pixel, cómo la dispersión disminuye, hecho atribuido a la carencia de información sobre la heterogeneidad por pixel. Tales diferencias dejan ver que las condiciones de superficie pueden influir en el desarrollo de la vegetación y, en consecuencia, la repartición de los flujos de superficie y las interrelaciones biosfera-atmósfera. A la vez, favorece la identificación de los mecanismos que contribuyen a las tendencias de cambio climático, teniendo en cuenta las implicaciones de la heterogeneidad de superficie en la modelación a mesoescala. En realidad, es necesaria la observación continua, por varios años, de los flujos de CO_2 y H_2O y el balance de energía de superficie, para mejorar la modelación climática y la parametrización de la zona de estudio e incrementar la comprensión de los procesos asociados a climas regionales.

Uso potencial

A partir del objetivo, se pretende sentar las bases para el fortalecimiento de esquemas de riesgo de las actividades humanas y los servicios de los ecosistemas ante el embate de eventos hidrometeorológicos y climáticos extremos, que pueden ser del interés de diversos sectores de la sociedad (académico-científico, empresarial y gobierno).

Bibliografía

Avissar, R., and Pielke, R. (1989): A parameterization of heterogeneous land surfaces for atmospheric numerical models and its impact on regional meteorology. *Mon. Wea. Rev*., 117, 2113-2136.

Bonan, G.B., Pollard, D., and Thompson, S.L. (1993): Influence of subgrid-scale heterogeneity in leaf area index, stomatal resistance, and soil moisture on grid-scale land-atmosphere interactions, *J. Climate*, 6, 1882-1897.

Jian Peng, Alexander Loew, Olivier Merli and Niko E. C. Verhoest (2017). A review of spatial downscaling of satellite remotely sensed soil moisture. *Reviews of Gepphysics*. An AGU Journal. DOI: 10.1002/2016RG000543

Calvet J.C., Bessmoulin P., Noihlan J., Berne C., Braud I., Fritz N., González Sosa E., Goutorbe J.-P., Haverkamp R., Jaubert G., Kergoat L., Lachaud G., Laurent J.-P., Mordelet P., Olioso A., Péris P., Roujean J-L., Thony J.-L., Tosca C., Vauclin M., Vignes D., 1999. MUREX: a land-surface field experiment to study the annual cycle of the energy and water budgets. *Ann. Geophyscae* 17, 838-854.

González Sosa, E., Braud, I., Thony, J.L., Vauclin, M. Bessmoulin P., Calvet J.C. 1999. Modelling heat and water exchanges of fallow land covered with plant-residue mulch. *Agricultural Forest Meteorology*. 97, 151-169.

Variabilidad temporal y espacial de dióxido de carbono y metano en México

Michel Grutter de la Mora[1]
RESPONSABLE TÉCNICO

Jorge Luis Baylón Cardel[a]
Alejandro Bezanilla Morlot[a]
Wolfgang Stremme[a]

[1] Investigador en la UNAM, SNI-III. Jefe del grupo de Espectroscopía y Percepción Remota en el Centro de Ciencias de la Atmósfera. Estudió química en la Universidad de Texas y cursó la maestría y doctorado en la Universidad de Basilea, Suiza, en el área de espectroscopía molecular. En México ha implementado una gran variedad de metodologías para el estudio de la composición atmosférica y su variabilidad, mediante novedosas técnicas de percepción remota, tanto desde la superficie como desde plataformas satelitales. Es responsable de varios proyectos con financiamiento externo y fue nombrado en 2013 coordinador de la Red Universitaria de Observatorios Atmosféricos.

[a] Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM.

RESUMEN

A través de este proyecto de investigación se trabaja en el análisis de datos observacionales con las metodologías más recientes para estudiar la variabilidad del dióxido de carbono (CO_2) y el metano (CH_4) en México. Las concentraciones de esos gases de efecto invernadero se realizaron en seis sitios: tres urbanos y tres en áreas naturales protegidas.

PALABRAS CLAVE

variabilidad temporal y espacial del CO_2 y CH_4; gases de efecto invernadero; satélites

Introducción

A pesar de las contundentes pruebas científicas que inducen a atribuir el actual cambio climático al aumento en la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) debido a las actividades humanas (IPCC 2013), en México no se ha implantado, hasta la fecha, un programa de medición continua de tales gases. Las técnicas espectroscópicas de percepción remota resultan muy viables para la detección y monitoreo de esos gases en la atmósfera (Grutter 2001). Esta propuesta contempla el arranque y operación de un sistema de observación de GEI y un análisis completo de los datos que se obtengan.

Planteamiento y desarrollo de la investigación

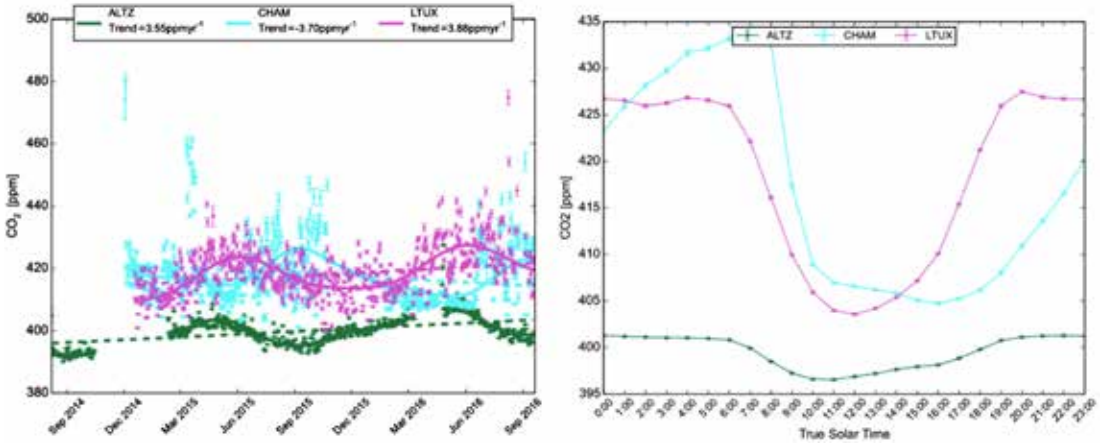
En este proyecto se estudia detalladamente la variabilidad temporal y espacial de estos GEI en la República mexicana a través de mediciones *in situ*, en superficie, de mediciones de la columna vertical (concentración integrada a través del espesor atmosférico) y de mediciones realizadas desde plataformas satelitales. Se aprovechan los datos provenientes de la Red Universitaria de Observatorios Atmosféricos (RUOA, www.ruoa.unam.mx), en la que se miden concentraciones de CO_2 y CH_4 en seis sitios (tres de carácter urbano y tres en áreas naturales protegidas). Asimismo, se realizan mediciones en dos estaciones para obtener información que complementa nuestro conocimiento de la distribución de estos gases en la vertical y nos ayudan a evaluar los productos satelitales.

Resultados

En las gráficas de la FIGURA 1 se muestran algunos resultados del análisis de datos de CO_2 en las tres estaciones localizadas en áreas naturales protegidas: Altzomoni, Chamela y Los Tuxtlas, con los analizadores *in situ* de la RUOA. En la figura se aprecian los ciclos estacionales característicos, así como la evolución diurna promedio en cada una de las estaciones.

FIGURA 1

Variabilidad estacional y diurna de CO_2 medida en Altzomoni, Chamela y Los Tuxtlas.

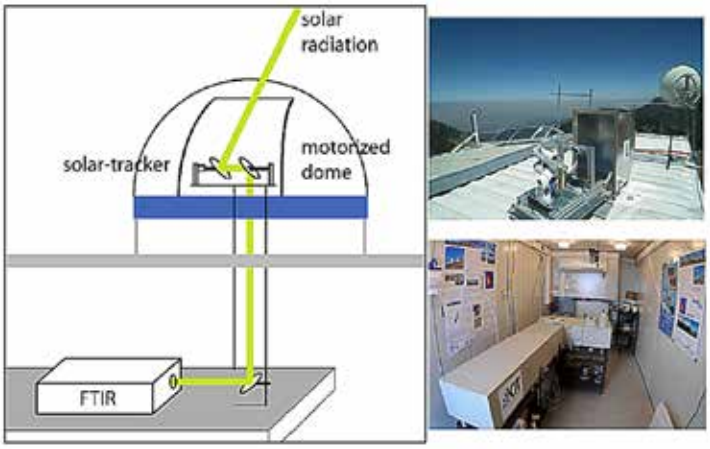


También se analizaron datos con espectrómetros infrarrojos de absorción solar (FIGURA 2) para calcular las columnas verticales. En la FIGURA 3 se muestra una

serie de tiempo con valores de XCO_2 medidos en las estaciones de Ciudad Universitaria (2260 msnm) y Altzomoni (4000 msnm). En éstos se aprecia una tendencia positiva de més de 3 ppm/año, que a su vez puede ser confirmada con las observaciones satelitales (OCO-2, puntos negros).

FIGURA 2

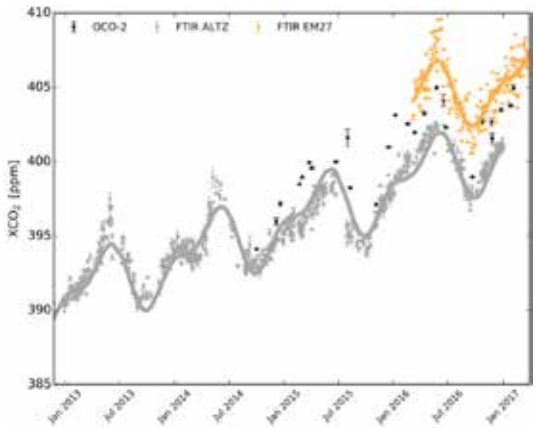
Infraestructura montada para la medición de espectros solares en el infrarrojo, tanto en Ciudad Universitaria (UNAM) como en la estación de altura en el Parque Nacional Izta-Popo (Altzomoni).



Los equipos están basados en espectrómetros FTIR y rastreadores solares para medir los espectros IR de absorción. A partir de las absorciones detectadas en los espectros, se puede recuperar la concentración integrada de CO_2 y CH_4 y su distribución vertical.

FIGURA 3

Serie de tiempo con las mediciones de columna de CO_2 en Altzomoni (gris) y en Ciudad Universitaria (naranja) expresadas como fracción molar con la columna de aire seco (XCO_2). Los puntos negros corresponden a mediciones coincidentes en un radio de 10 km del instrumento satelital OCO-2.



Potencial de aprovechamiento para el sector ambiental

La información que produce este proyecto demuestra la importancia de hacer mediciones para conocer el ciclo de carbono natural en las diferentes regiones del país, y de cómo se ven afectadas por perturbaciones causadas por actividades humanas. El sector ambiental necesita herramientas confiables para evaluar las diferentes medidas de mitigación de GEI, su efectividad en concentraciones ambientales y los costos asociados. También con estas herramientas se puede identificar la presencia de focos de emisión que no se encuentran reportados en los inventarios y que por lo tanto están fuera de normatividad.

Bibliografía

Baylon, J.L., Stremme, W., Grutter, M., Hase, F., and Blumenstock, T. Background CO_2 levels and error analysis from ground-based solar absorption IR measurements in central Mexico: *Atmos. Meas. Tech. Discuss.*, doi:10.5194/amt-2016-418, in review, 2017. (ISSN: 1867-1381).

Grutter M. Multi-gas analysis of ambient air using ftir spectroscopy over Mexico City. *Atmósfera*, 16, 2003.

I-PCC, Climate Change 2013, *The Physical Science Basis. Fourth Assessment Report*. Cambridge University Press, New York, 2013.

Solar absorption infrared spectroscopic measurements over Mexico City: Methane enhancements. A. Bezanilla, A. Krueger, W. Stremme and M. Grutter. *Atmósfera* 27(2), 173-183, 2014. (ISSN: 0187-623).

Impactos del cambio climático en la distribución potencial del maíz nativo en Tlaxcala, México

Maricela Hernández Vázquez[1]
RESPONSABLE TÉCNICA

Guillermina García Juárez[a]
María Guadalupe Juárez Ortiz[a]
Hermila Orozco Bolaños[a]

[1] Doctora en Desarrollo Regional por El Colegio de Tlaxcala A.C. Profesora-Investigadora de la licenciatura en Ciencias Ambientales de la Facultad de Agrobiología y del núcleo básico de la maestría en ciencias en Sistemas del Ambiente de la Universidad Autónoma de Tlaxcala. Forma parte del cuerpo académico Agroecosistemas y Sociedad, responsable de la línea de investigación Cambio Climático y Agricultura.

[a] Universidad Autónoma de Tlaxcala.

RESUMEN

Se analiza el área de distribución potencial de cuatro razas de maíz nativo –cacahuacintle, chalqueño, cónicos y elotes cónicos–, para identificar su permanencia o desaparición ante el cambio climático. Se hace un pronóstico para los años 2020, 2050 y 2080 mediante la proyección de simulaciones climáticas.

PALABRAS CLAVE

maíz nativo; cambio climático; distribución potencial; Tlaxcala

Introducción

En el estado de Tlaxcala se reportan siete razas de maíz, cuatro de ellas dominantes: cacahuacintle, chalqueño, cónicos y elotes cónicos (CONABIO 2011). El maíz nativo es muy valorado por los agricultores desde el punto de vista alimentario, económico y sociocultural. La producción es tradicional y de temporal, basada en semillas nativas (Orozco 2010). Los pronósticos impacto del cambio climático indican que se reducirá la producción en cantidad y calidad, y que los efectos en el bienestar de miles de agricultores serán muy severos (Altieri y Nicholls 2009),

al grado de obligarlos a emprender nuevas prácticas agrícolas, abandonar el cultivo de maíz nativo y utilizar semillas genéticamente modificadas (Massieu y Lechuga 2002), atentando contra la seguridad alimentaria.

En México se han realizado algunos trabajos sobre el modelado y las predicciones frente al cambio climático, pero según el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC), las elaboraciones de escenarios futuros son indispensables para la implementación de estrategias de adaptación y mitigación (Carter *et al*. 2007).

Materiales y métodos

Se identificaron las áreas de distribución potencial de las razas cacahuacintle, chalqueño, cónicos y elotes cónicos que permanecerán o se perderán en el futuro ante los efectos del cambio climático, empleando las variables ambientales correspondientes a las familias de emisiones de gases de efecto invernadero A_1, A_2, B_1 y B_2 correspondientes a un modelo de circulación general (MCG), proyectando las simulaciones climáticas a los años 2020, 2050 y 2080.

El escenario B_2 es especialmente importante porque simula condiciones locales y regionales, para la protección del medio ambiente. Los modelos de distribución actuales y futuros se construyeron a partir del algoritmo MaxEnt, un método de inteligencia artificial que aplica el principio de máxima entropía para calcular la distribución geográfica más probable para una especie.

Resultados

Se determinaron dos patrones de respuesta: ganancia y pérdida, para incremento o disminución del área de distribución respecto del presente. Entre los resultados más relevantes se encuentra que la raza de maíz chalqueño será la más afectada, pues se perderá una parte importante de áreas potenciales. El escenario A_1 2050 estima la mayor pérdida con un 12.6% del área con respecto a su distribución actual. Para esta misma raza, el promedio general indica que en 2080 se perderá 8.3% de estas áreas. Es un maíz ligeramente tardío, por lo que está más expuesto a los eventos climáticos extremos (TABLA 1).

Por el contrario, según se muestra en la TABLA 2, la raza cacahuacintle será la que tendrá la menor pérdida de áreas potenciales. El escenario B_1 2020 predice una ganancia de 20% del área con respecto a su distribución actual, y el promedio general del mismo año anuncia la mayor ganancia (16.7%). Los factores ambientales favorecen a esta raza; sin embargo, los factores socioeconómicos afectan

al agricultor, ya que en el estado se siembra muy poco cacahuacintle debido a la inestabilidad del precio y sólo pueden vender la cosecha a los denominados "intermediarios".

TABLA 1

Porcentaje de pérdida de área con respecto a la distribución potencial actual

Raza	Escenarios en 2020 (%)				Prom.*	Escenarios en 2050 (%)				Prom.	Escenarios en 2080 (%)				Prom.
	A_1	A_2	B_1	B_2		A_1	A_2	B_1	B_2		A_1	A_2	B_1	B_2	
Cacahuacintle	5.2	3.5	3.3	5.3	4.3%	3.4	4.5	6.1	5.6	4.9%	3.9	5.6	3.7	3.7	4.2%
Chalqueño	10.5	7.9	5.5	7.2	7.8%	12.6	8.3	4.3	7.6	8.2%	10.1	10.4	6.1	6.6	8.3%
Cónicos	7.4	6.1	4.9	6.8	6.3%	7.3	6.8	7.4	8.0	7.4%	7.1	6.7	4.6	6.8	6.3%
Elotes cónicos	4.7	11.0	6.5	7.5	7.4%	7.3	2.9	7.8	5.6	5.9%	6.7	4.3	7.3	6.7	6.3%
Promedio	7.0%	7.1%	5.0%	6.7%		7.7%	5.6%	6.4%	6.7%		7.0%	6.8%	5.4%	6.0%	

* Prom.= promedio.

TABLA 2

Porcentaje de ganancia de área con respecto a la distribución potencial actual

Raza	Escenarios en 2020 (%)				Prom.*	Escenarios en 2050 (%)				Prom.	Escenarios en 2080 (%)				Prom.
	A_1	A_2	B_1	B_2		A_1	A_2	B_1	B_2		A_1	A_2	B_1	B_2	
Cacahuacintle	14.4	18.5	20	13.7	16.6%	19.1	15.6	11.4	12.6	14.7%	16.7	12.9	17.1	17.1	16.0%
Chalqueño	0.0	0.2	0.6	0.4	0.3%	0.0	0.2	0.9	0.3	0.4%	0.1	0.0	0.5	0.4	0.3%
Cónicos	5.1	5.8	6.6	5.4	5.7%	5.3	5.4	5.1	4.6	5.1%	5.3	5.4	7.0	5.4	5.8%
Elotes cónicos	5.9	2.5	4.7	4.2	4.3%	5.3	7.6	4.0	5.2	5.5%	4.7	6.2	4.4	4.7	5.0%
Promedio	6.4%	6.8%	8.0%	5.9%		7.4%	7.2%	5.4%	5.7%		6.7%	6.1%	7.3%	6.9%	

* Prom.= promedio.

Recomendaciones

1. Dar a conocer la distribución potencial del maíz nativo a productores, instituciones y académicos, para la toma de decisiones estratégicas que mitiguen los efectos del cambio climático y la vulnerabilidad de las semillas, tendiente a una política pública que garantice la seguridad alimentaria.
2. Rescatar los saberes autóctonos de los productores del maíz nativo para promover una agricultura orgánica en beneficio de la población y el ambiente.
3. Es importante seguir haciendo investigación comparativa con los primeros escenarios (A_1, A_2, B_1, B_2) y los más recientes (RPC) que permitan contrastar sus variables, y así tener un análisis más integral sobre el comportamiento de la producción de alimentos agrícolas.

Potencial

Tlaxcala es un centro de origen y domesticación del maíz nativo. Por lo tanto, modelarlo con escenarios de cambio climático es determinante para la sociedad en general, porque se tendrá información de los años 2020, 2050 y 2080 de la ganancia o pérdida de áreas potenciales. Esta investigación es relevante para las instituciones y organismos no gubernamentales que protegen la semilla criolla; es una base para la toma de decisiones en el diseño de estrategias regionales de conservación, y el cultivo de maíz criollo representa una herencia sociocultural y alimentaria.

Los miembros de la agrupación Vicente Guerrero, del municipio de Españita, Tlax., dentro de su cultura le dan un valor a esta semilla y aplican estrategias de diversificación y preservación. Este grupo fue precursor del desarrollo de la política en Defensa del Maíz Nativo junto con la LXI Legislatura del Congreso de Tlaxcala; a partir de ello, se aprobó por unanimidad la ley de fomento y protección al maíz como Patrimonio Alimentario del Estado de Tlaxcala, siendo uno de sus principales objetivos impulsar el desarrollo sustentable del maíz nativo en el estado.

Bibliografía

Altieri, M.A. y C.I. Nicholls (2009). Cambio climático y agricultura campesina: impactos y respuestas adaptativas. LEISA *Revista de agroecología*. Vol. 24, No. 4.

Carter, T.R., R.N. Jones, X. Lu, S. Bhadwal, C. Conde, L.O. Mearns, B.C. O'Neill, M.D.A. Rounsevell y M.B. Zurek. (2007). *New Assessment Methods and the Characterization of Future Conditions. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden y C.E. Hanson, Eds. Cambridge University Press. Cambridge, Inglaterra, pp. 133-171.

CONABIO (2011). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Proyecto Global de maíces. [En línea] disponible en: http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/proyectoMaices.html.

Massieu, Y.C. y J. Lechuga (2002). El maíz en México: biodiversidad y cambios en el consumo. *Análisis económico*, 36, Vol. XVII, 281-303.

Orozco, B.H. (2010). *Diversidad del maíz nativo como base de la seguridad alimentaria en dos regiones del estado de Tlaxcala*. Tesis de Doctorado. Colegio de Tlaxcala, Tlaxcala.

Monitoreo y estudios forestales basados en vehículos aéreos no tripulados en el estado de Nuevo León

Manuel Jiménez Lizárraga[1]
RESPONSABLE TÉCNICO

Óscar A. Aguirre Calderón[a]
Gerardo Cuéllar Rodríguez[a]
Sara V. Rodríguez Sánchez[b]
Rafael Bourguet Díaz[c]

[1] Ingeniero eléctrico por el Instituto Tecnológico de Culiacán, Sinaloa. Maestría en Ingeniería Eléctrica y Doctorado en Control Automático por el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN. Cinvestav en la CDMX, 1996, 2000 y 2006. Realizó una estancia posdoctoral en la Universidad Estatal de Ohio, EUA, en 2008-2009. Es profesor de tiempo completo en la Facultad de Ciencias Físico Matemáticas de la UANL. Miembro de la Academia Mexicana de Ciencias. SNI-I. Sus intereses de investigación son la teoría de control, instrumentación, navegación de VANT y las aplicaciones del control a robótica móvil y automatización en agricultura.

[a] Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL).

[b] Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, UANL.

[c] Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.

RESUMEN

Revisión del uso de vehículos aéreos no tripulados (VANT). Se mencionan las principales características, ventajas y técnicas para obtener información de áreas forestales desde este tipo de plataformas. Los resultados de un estudio preliminar en el Parque Ecológico Chipinque de Monterrey, N. L., se muestran a través de mosaicos y modelos de dos y tres dimensiones.

PALABRAS CLAVE

vehículo aéreo no tripulado; sensor remoto; estudios forestales

Introducción

Los parques nacionales del noreste de la República abarcan grandes extensiones. Sus climas van del semiseco templado al templado subhúmedo y húmedo, con lluvias en verano. Según la Comisión Nacional para el Uso y Conocimiento de la Biodiversidad (CONABIO), son la principal fuente de agua de áreas urbanas, la de Monterrey entre ellas. En años recientes, muchas de estas zonas se han visto amenazadas por la deforestación, la urbanización y la contaminación, que ponen en riesgo el abastecimiento de agua. Se ha mencionado en informes del Programa

de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), que la pérdida de suelo y cobertura vegetal puede acelerar el cambio climático debido al agotamiento de la cantidad de carbono que la Tierra es capaz de almacenar. Entonces, la preservación de las áreas forestales es vital y se vuelve muy importante la evaluación del estado que guardan.

El presente proyecto realiza estudios de cobertura vegetal, estado, clasificación e identificación de especies en áreas forestales, a complementar con estudios de calidad de aire, para conocer de manera más certera el estado de degradación de las zonas en conflicto y así tomar las mejores medidas para su preservación. Para esto se explota el potencial que ofrecen los vehículos aéreos no tripulados (VANT).

Acerca de los VANT

La tecnología de los VANT –helicópteros de cuatro o seis rotores, aviones a escala de ala fija, satélites y nanosatélites–, ideales para estudios del medio ambiente, ofrece herramientas aún no explotadas en esta área de México. Anteriormente, la disponibilidad de tales imágenes e información de sensores, con frecuencia proveniente de satélites, estaba limitada debido a su elevado costo.

Las plataformas basadas en pequeños VANT son una alternativa potencial real, dado su relativamente bajo costo de operación, gran flexibilidad en el monitoreo del medio ambiente adquisición de imágenes de alta resolución temporal y espacial y facilidad en la programación de las tomas. En los últimos años han tenido una creciente utilización, en tareas de supervisión, recolección de datos, mediciones, imágenes detalladas, etcétera. La demanda de sus funciones va en aumento y, a la vez, impone grandes retos por cuanto toca a sensores más eficientes (de bajo costo y alta resolución) y algoritmos de procesamiento de imágenes y de control.

Los VANT tienen capacidades operativas que soportan cambios rápidos según el tipo de misión y la configuración de instrumentos. En operaciones prácticas, los del tipo multirrotor se han utilizado ampliamente en misiones de supervisión. La capacidad de despegue, el aterrizaje vertical y la posibilidad de sobrevolar los hacen ideales para muchas aplicaciones en las que deben mantener un vuelo casi estacionario; por ejemplo, cuando se hace medición de gases a una altura específica.

Otra opción de VANT son los de ala fija, que tienen un uso más eficiente de la batería y pueden estar mayor tiempo en el aire, una característica ideal cuando se cubren grandes extensiones de terreno.

En comparación con las plataformas tradicionales (satélites, avionetas), los VANT ofrecen varias ventajas; entre ellas:

- Tecnología comercial y ampliamente disponible.
- Mayor resolución espacial y temporal en los mapas obtenidos.

- Insensibilidad de presencia de nubes.
- Posibilidad inmediata o casi inmediata de repetir las mediciones.

La variedad de opciones en el mercado de los VANT, a precios razonables, permite a muchos interesados (universidades, ONG, centros de investigación) realizar monitoreo forestal y ambiental.

Estudios forestales utilizando VANT

Avances recientes en la miniaturización electrónica han permitido la creación de una variedad de sensores ópticos e hiperespectrales para obtener imágenes en diferentes longitudes de onda. Es sabido que en la banda infrarroja es posible recuperar información relevante de la vegetación y evaluar acertadamente las variaciones del bosque (Berni *et al*. 2012; Haboudane *et al*. 2004). Específicamente, es posible construir mapas, ortomosaicos y modelos 3D georreferenciados, a partir de las imágenes tomadas desde estos sensores a bordo de VANT, para diagnosticar biomasa y enfermedades, medir el índice de área foliar, hacer estudios de cobertura vegetal y de características biofísicas de plantas, etcétera. Muchos de estos parámetros se determinan a partir del cálculo de los índices de vegetación (IV) (Haboudane *et al.* 2004), ampliamente utilizados en la aplicación de sensores remotos de plantas, tales como el IV de diferencia normalizada (NDVI),[2] IV de ajuste de suelo y el IVV (índice de vegetación verde; GNDVI),[3] entre otros.

Por otro lado, las técnicas de procesamiento de imágenes y reconocimiento de patrones son frecuentemente usadas como complemento del cálculo de los IV. Por ejemplo, las máquinas de aprendizaje y redes neuronales se usan para extraer información valiosa del estado del bosque, como el conteo de árboles, estimación de clorofila y localización de plagas.

Estudios con VANT en el Parque Ecológico Chipinque

El Parque Ecológico Chipinque forma parte del Parque Nacional Cumbres de Monterrey, en la Sierra Madre Oriental. Se localiza en los municipios de Garza García y Monterrey, N. L., México (25.6085194,-100.3719889) (Contreras 2007), y abarca 1791 ha, con un gradiente altitudinal de 600 a 1200 msnm (Parque Ecológico Chipinque, A. B. P., 2011). El clima en el sitio de estudio es semiseco, con lluvias marcadas en verano. Hay cinco tipos de vegetación: matorral submontano, bosque de encino, bosque de encino-pino, bosque de pino-encino y matorral desértico rosetófilo.

[2] *Normalized Difference Vegetation Index*.

[3] *Green Normalized Difference Vegetation Index*.

Se realizaron vuelos el día 4 de mayo de 2017 para reconstruir, en una sección del parque, el mosaico mostrado en la FIGURA 1. LA FIGURA 2 muestra los resultados de la aplicación del índice de vegetación de ajuste de suelo obtenidos de una imagen multiespectral en la que se puede contrastar lo que es suelo de lo que es vegetación. Un segmento de un modelo 3D se muestra en la FIGURA 3. Con estas imágenes es posible estimar el estado de salud y vigor de los árboles, así como la clasificación y conteo de las especies. El modelo 3D es útil para una serie de mediciones, tales como la altura promedio, la altura dominante y el aérea basal de las distintas especies de árboles.

FIGURA 1

Imagen hiperespectral, índice de vegetacion de ajuste de suelo.

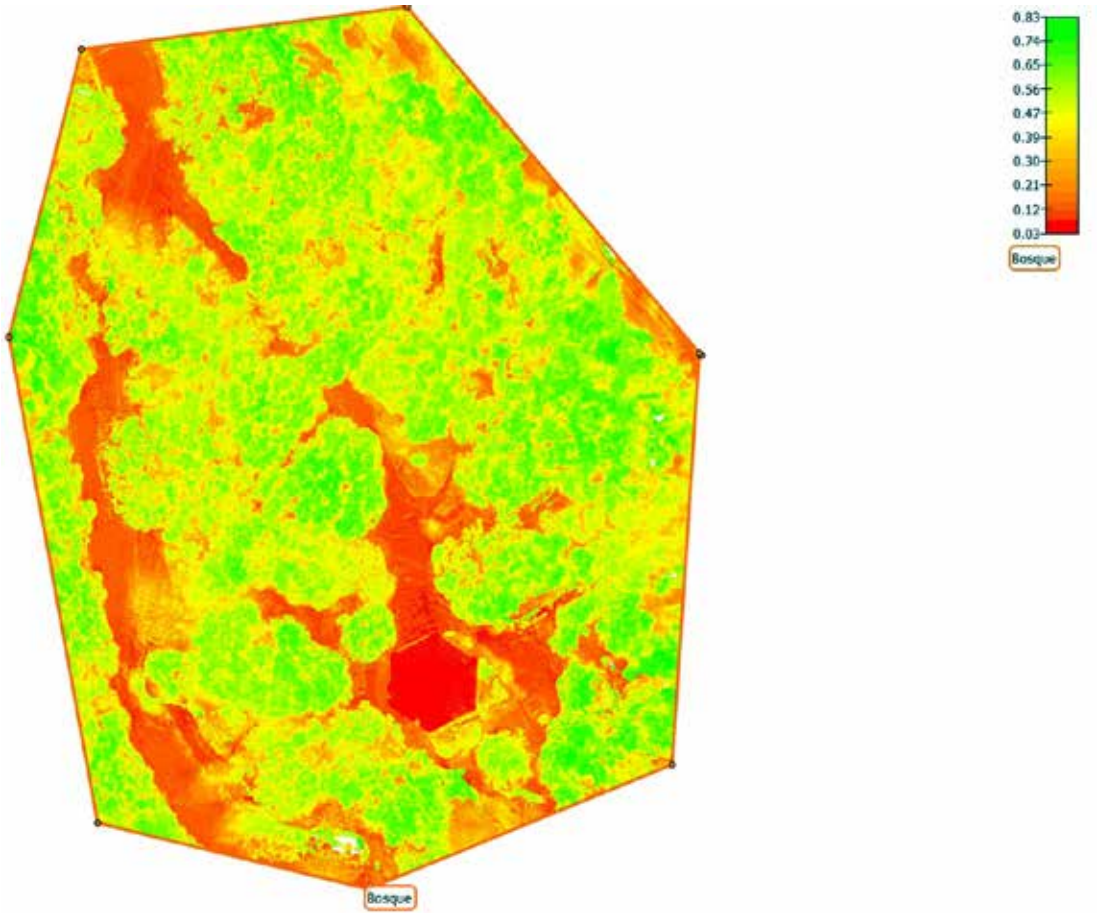


FIGURA 2

Mosaico georreferenciado de sección del Parque Ecológico Chipinque.

FIGURA 3

Sección de modelo 3D del Parque Ecológico Chipinque.

Conclusiones

Se demuestra que esta tecnología tiene un enorme potencial para abreviar sustancialmente los procesos de monitoreo y abatir el costo, ya que permite acceder a zonas forestales a las que antes era muy difícil o imposible hacerlo y, por añadidura, con un nivel de resolución diseñado, así como una mayor exactitud en las mediciones. Para el gestor de bosques, estos recursos se traducen en información clara y precisa en el momento oportuno, para un mejor manejo. Habrá que continuar el trabajo con algoritmos de reconocimiento de patrones para el refinamiento de los datos obtenidos, y entre las tareas futuras se contará el desarrollo de modelos de simulación basados en dinámica de sistemas que permitan apoyar al manejador en el establecimiento de políticas de gestión.

Bibliografía

Berni, J.A.J., Zarco Tejada, P.J., Suárez, L., González Dugo, V., & Fereres, E. (2009a). Remote sensing of vegetation from UAV platforms using lightweight multispectral and thermal imaging sensors. *Retrieved* March 12, 2012.

Contreras Delgado, Camilo. *Geografía de Nuevo León, México*, Fondo editorial de Nuevo León, 2007, p. 32.

García Pedrero, A., C. Gonzalo Martín, M. Lillo Saavedra, A machine learning approach for agricultural parcel delineation through agglomerative segmentation, *International Journal of Remote Sensing*, 2017, vol. 38, no. 7, 1809-1819.

Haboudane, D., Miller, J.R., Pattey, E., Zarco Tejada, P.J., & Strachan, I.B. (2004). Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture. *Remote Sensing of Environment*, 90, 337-352.

El cambio climático y la población de medusa *Stomolophus meleagris* en el Golfo de California

Juana López Martínez[1]
RESPONSABLE TÉCNICA

Javier Álvarez Tello[a]
Édgar Arzola Sotelo[a]
Eloísa Herrera Valdivia[a]
Rufino Morales Azpeitia[a]
Hugo Herrera Cervantes[a]
Manuel O. Nevárez Martínez[b]
Jesús Padilla Serrato[c]
Ricardo García Morales[d]
José E. Valdez Holguín[e]

1 Bióloga Pesquera con doctorado en Ciencias Marinas por el Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del IPN. Investigador titular C, SNI-II. Ha sido responsable de 33 proyectos de investigación con financiamiento externo (Conacyt, Fundación Produce Sonora, Gobierno de Sonora, Sinaloa, Nayarit, productores pesqueros). Es autora o coautora de 60 publicaciones científicas internacionales arbitradas, editora de dos libros, autora o coautora de 23 capítulos de libro, 30 artículos de divulgación científica y autora de 150 conferencias nacionales e internacionales.

[a] Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., Guaymas, Sonora.

[b] Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, S.C., Unidad La Paz, BCS.

[c] Instituto Nacional de Pesca, Centro Regional de Investigación Pesquera, Guaymas, Sonora.

[d] Conacyt, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

[e] Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Universidad de Sonora.

RESUMEN

Se evalúa la variabilidad de la medusa bala de cañón (*Stomolophus meleagris*) y su relación con el ambiente actual y predicho por el modelo MRI-AGCM para escenarios de cambio climático en el Golfo de California, donde es un depredador importante del zooplancton, y en caso de sobrepoblación pudiera afectar a especies con importancia comercial.

PALABRAS CLAVE

cambio climático global; Golfo de California; medusa bola de cañón; abundancia; variabilidad ambiental

Introducción

Las medusas son componentes del zooplancton gelatinoso de los mares. Su abundancia ha mostrado incrementos sustanciales y espectaculares en todo el mundo, lo que genera problemas en algunos casos porque segregan un veneno

neurotóxico muy doloroso, incluso mortal. En algunos países, como Australia, el aumento de los individuos de este grupo de organismos se considera una verdadera plaga que requiere programas gubernamentales orientados a controlar su población. Dentro de las posibles causas de tal aumento se ha mencionado la elevación de la temperatura del agua por el calentamiento global, pues favorece el desarrollo de la medusa (Boero *et al.* 2016).

En las costas del Golfo de California habita la medusa bala de cañón, *Stomolophus meleagris*, especie que se alimenta de zooplancton y que ha mostrado incrementos considerables en sus abundancias en los diez últimos años (López Martínez y Álvarez Tello 2013). Estos organismos influyen en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas costeros donde se presentan; por lo tanto, el incremento en sus abundancias pudiera provocar alteraciones en la margen oriental del Golfo de California, con repercusiones importantes en la economía de las comunidades pesqueras. La pesquería de la medusa bala de cañón tiene una alta variabilidad espacial y temporal en el hábitat de referencia, por lo que se torna importante la evaluación de los potenciales efectos del cambio climático y la variabilidad interanual en la población de la especie, su papel funcional en el ecosistema costero y sus repercusiones en especies comerciales y el ecosistema.

Planteamiento y desarrollo de la investigación

El espacio de estudio es una zona prioritaria para la conservación de la biodiversidad, como área subtropical con tasas excepcionalmente altas de productividad primaria. En ella se llevaron a cabo muestreos de medusa, plancton y variables ambientales (parámetros fisicoquímicos del agua superficial del mar) en el lapso de 2004 a 2017. Con la información de la temperatura superficial del mar (TSM), *in situ*, obtenida del mareógrafo de Guaymas, Sonora (1952 a 2017) y de salidas del modelo general de circulación atmosférica (MRI-AGCM)[3] (Mizuta *et al*. 2009), se analizó la climatología del Golfo y se plantearon escenarios y proyecciones futuras del ciclo anual.

Por otro lado, de enero-marzo a julio se llevaron a cabo muestreos biológicos quincenales, a bordo de embarcaciones menores, en las localidades donde se presentó la medusa, para determinar talla, peso y madurez gonádica. Se realizaron estimaciones de abundancia en áreas de detección de enjambres, mediante el método de cohortes.

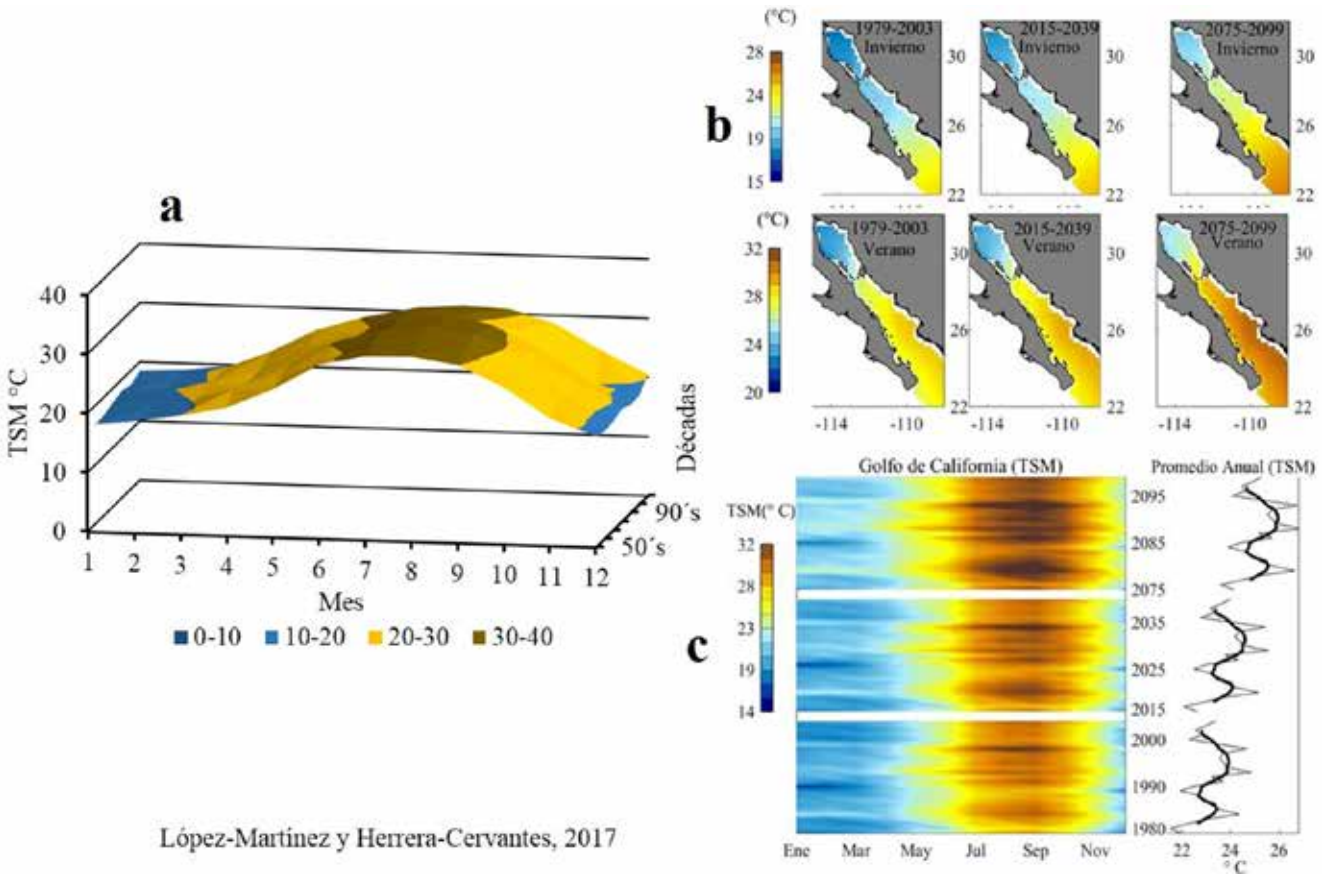
[3] *Meteorological Research Institute, atmospheric general circulation model.*

Principales resultados de la investigación

En el análisis de TSM registrada en Guaymas, Son. (1950-2017), se observa una ampliación del periodo cálido del año de hasta dos meses (FIGURA 1A). En los escenarios de invierno y verano presentes y futuros de TSM generados con el MRI-AGCM para el Golfo de California (FIGURA 1B) y en el ciclo anual de la TSM obtenido a partir de las proyecciones presentes y futuras que arroja el modelo (1979-2099), se observa (FIGURA 1C) una tendencia creciente de la TSM (>2.5° C) durante los periodos futuros (2075-2099), una ampliación del periodo asociado al verano y una reducción de los inviernos, coincidiendo con lo que se está observando en el análisis de datos *in situ*.

FIGURA 1

Reconstrucción y escenarios del ciclo anual.



(a) Ampliación de la estacionalidad de la TSM del Golfo de California por décadas 1950-2017.
(b) Promedios de invierno y verano a partir de proyecciones del modelo numérico.
(c) Diagrama evolutivo de la climatología de la TSM para el Golfo de California (1980-2099).

Variabilidad interanual en la dinámica, abundancias y distribución de la medusa

La medusa se presentó en la costa oriental del golfo de octubre-diciembre (larvas) a junio-julio (sólo juveniles y adultos) con alta variabilidad espacial y temporal. El resto del año no se hallaron ejemplares en ningún estadio. De los análisis espaciales resultó obvia una ampliación en el área de distribución de la medusa, pasando de hacerlo del centro-sur (2003-2004) hasta llegar a la parte más septentrional del golfo (2015-2016) (FIGURA 2). Sólo la laguna costera Las Guásimas, Sonora, presentó larvas éfiras todos los años.

El análisis espectral de la abundancia de medusa mostró una variabilidad interanual importante con ciclos de entre 3.8 y 7 años. Es aparente la presencia de otros ciclos de mayor temporalidad, pero lo corto de la serie (14 años) no permite su significancia estadística (FIGURAS 3 y 4).

FIGURA 2

Distribución de *S. meleagris* en la costa oriental del Golfo de California durante 2003-2004 y 2015-2016.

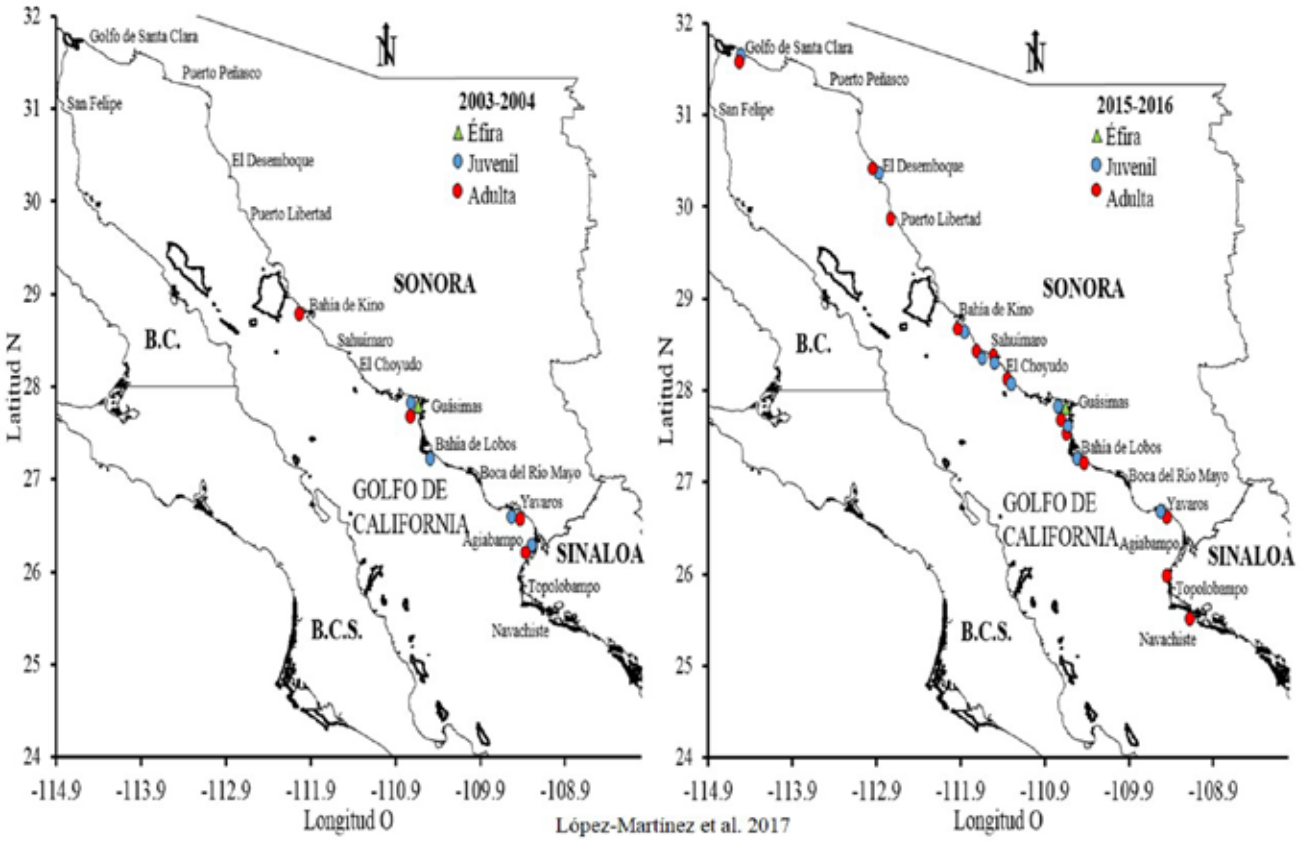


FIGURA 3

Análisis espectral en el dominio de la frecuencia y tiempo de la abundancia de *S. meleagris* en el Golfo de California.

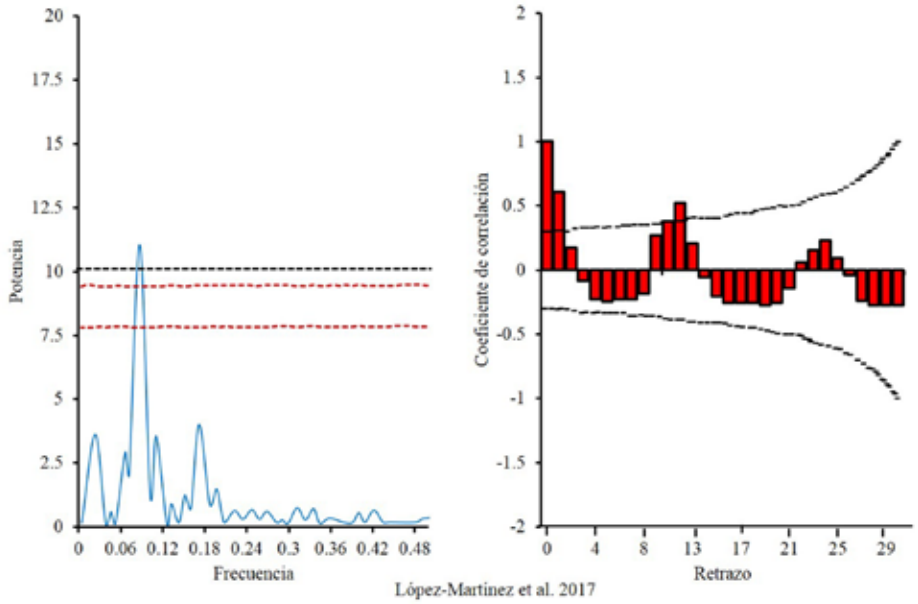
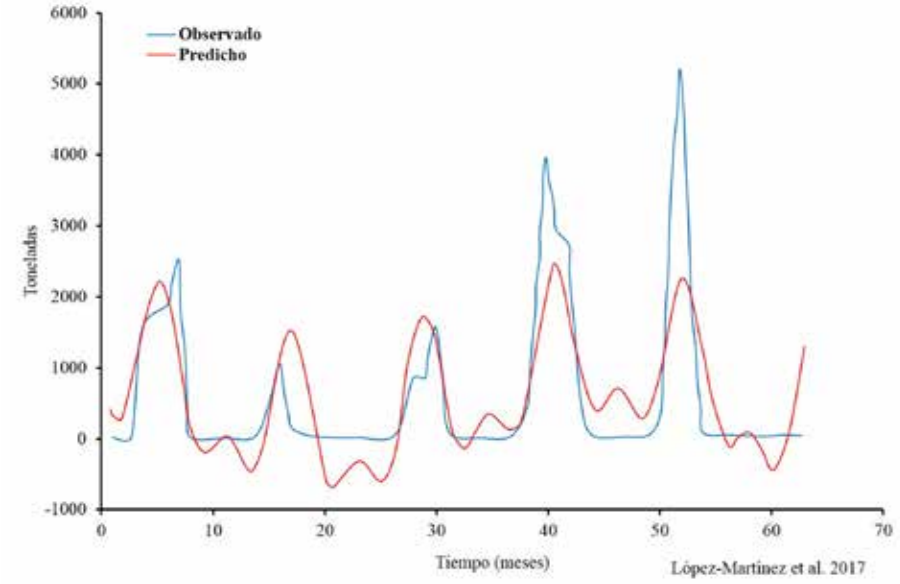


FIGURA 4

Ajuste a un modelo sinusoidal con los ciclos encontrados y la tendencia de la captura de *S. meleagris* en Las Guásimas, Sonora.

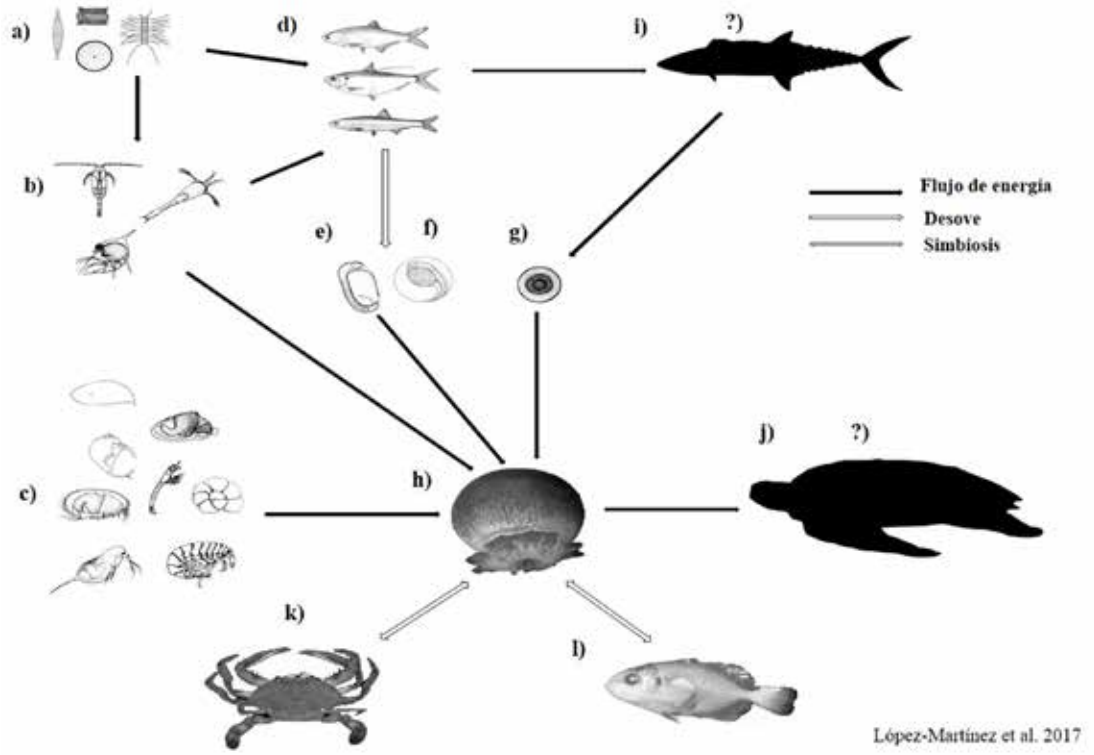


Papel ecológico de la medusa

El análisis del contenido estomacal de la medusa muestra que se encuentra en el tercer nivel trófico del ecosistema. Funciona como un depredador importante del zooplancton, siendo sus presas más importantes huevos de peces, moluscos y crustáceos. *S. meleagris* depreda sobre los estadios tempranos de vida de especies con importancia comercial, como la sardina (huevos) y el camarón (larvas) (FIGURA 5).

FIGURA 5

Diagrama de flujo de energía entre los diferentes componentes del ecosistema de Las Guásimas, Sonora.



(a) Fitoplancton; (b, c) zooplancton; (d) pelágicos menores; (e, f, g) huevos de peces; (h) medusa; (i) peces demersales; (j) tortuga marina; (k) jaiba, y (l) pez carángido.

Potencial de aprovechamiento para el sector ambiental

El proyecto está dirigido a los sectores académico, empresarial y gubernamental, ya que los resultados aquí presentados derivarán en publicaciones científicas y

coadyuvarán con la aportación de elementos valiosos para un mejor manejo del recurso en el área de estudio.

La información obtenida demuestra que la población de la medusa bala de cañón está aumentando y sugiere que el incremento en las temperaturas –derivado del calentamiento global– y el alargamiento de la temporada cálida del año pueden favorecer tal sobrepoblación.

Dado que la medusa afecta fuertemente la diversidad y abundancia del zooplancton –del cual se alimentan muchas especies de importancia ecológica y económica–, pudiera asimismo afectar la abundancia de especies forrajeras como la sardina, vía la competencia y la depredación en estadios larvales, con su consiguiente efecto en toda la trama trófica del golfo y en la abundancia de especies comerciales, como los pelágicos menores.

Bibliografía

Boero, F., L. Brotz, S. Piraino y S. Zampardi. 2016. Impacts and effects of ocean warming on jellyfish. In: Laffoley, D. y Baxter, J.M. (ed.). *Explaining ocean warming: Causes, scale, effects and consequences. Full report*. Gland, Switzerland: IUCN. pp. 213-237.

López Martínez, J., F.J. Álvarez Tello. 2013. Jellyfish fishery in Mexico. *J. Agricultural Science* 4(6): 57-61.

Mizuta, R., Y. Adachi, S. Yukimoto, S. Kusunoki. (2009). Estimation of the future distribution of sea surface temperature and sea ice using CMIP3 multi-model ensemble mean. Advanced Earth Science Technology Organization. Climate Research Department, Meteorological Research Institute. 1-28.

Padilla Serrato, J.G., J. López Martínez, A. Acevedo Cervantes, E. Alcántara Razo, C. Rábago Quiroz. 2013. Feeding of the Scyphomedusae, *Stomolophus meleagris* (Agassiz, 1862 Scyphozoa, Rhizostomeae) in the Coastal Lagoon Las Guásimas, Sonora, Mexico. *Hidrobiológica* 23 (2): 219-227.

Cambio del patrón de lluvias en la concentración de elementos traza en agua subterránea de zonas áridas

Lía Celina Méndez Rodríguez[1]
RESPONSABLE TÉCNICA

Baudilio Acosta Vargas[a]
Sara Cecilia Díaz Castro[a]
Miguel Imaz Lamadrid[b]
Jobst Wurl[b]

[1] Doctora en Ciencias por la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del IPN. SNI-II. Investigadora titular C en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., donde labora desde 1992. Su trabajo se ha enfocado principalmente sobre temas relacionados con ecotoxicología y calidad del agua.

[a] Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C.

[b] Universidad Autónoma de Baja California Sur.

RESUMEN

El cambio climático influye en el patrón de lluvias, lo que repercute en la recarga de los acuíferos y en la calidad del agua subterránea en cuanto a la concentración de elementos traza. El presente estudio se enfocó sobre acuíferos de los cinco municipios que conforman el estado de Baja California Sur.

PALABRAS CLAVE

cambio climático; metal; contaminación; lluvia; salud

Introducción

La calidad del agua es un factor determinante en la salud. Cuando las concentraciones de diversos componentes rebasan los límites considerados como adecuados en el vital líquido, pueden provocar enfermedades que mermen el bienestar de vida de quienes lo consuman, además de involucrar un costo económico para ellos y para el sector salud.

En las últimas décadas, la investigación científica se ha desplegado con el fin de comprender cómo podrían los recursos hídricos responder al cambio climático global. Los estudios se han centrado en los sistemas de agua superficial, debido a su accesibilidad y más evidente exposición al cambio climático global. Sólo recientemente se ha reconocido el importante papel que desempeña el recurso del agua

subterránea en la satisfacción de la demanda de agua potable, las actividades agrícolas e industriales y los ecosistemas que sostienen, así como la importancia de buscar medidas de adaptación y mitigación de los impactos relacionados con el cambio climático y el crecimiento de las actividades humanas (Green *et al*. 2011).

Las proyecciones del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC)[2] muestran un significativo calentamiento global y alteraciones de frecuencia y volumen de precipitación desde el año 2000 hasta 2100 (Mearns *et al*. 2007). Los datos recabados de precipitación y las predicciones climáticas proporcionan abundante evidencia de que las fuentes de agua potable (superficial o subterránea) son potencialmente muy vulnerables por el cambio climático, con consecuencias de gran alcance para la sociedad y los ecosistemas. Se ha estimado que el cambio climático será causa de aproximadamente 20% del aumento proyectado de escasez de agua en el mundo (Sophocleous 2004). Por lo tanto, surge la necesidad de evaluar y entender la variabilidad climática en la calidad del agua subterránea para mejorar tanto la planificación como la gestión de esos recursos hídricos en el futuro, teniendo en cuenta el crecimiento demográfico e industrial, las necesidades agrícolas y los propios gastos ecológicos.

Cualquier cambio en los patrones de precipitación puede afectar los procesos y recursos del agua superficial. Las tendencias del calentamiento ambiental también tienen la factibilidad de alterar los patrones globales de evapotranspiración, lo que tiene implicaciones directas para la sostenibilidad de los recursos de aguas superficiales y del subsuelo. Al aumentar la temperatura del aire es probable que también se incremente la evapotranspiración (Chiew y McMahon 2002). La precipitación y la evapotranspiración son particularmente importantes debido a que afectan directamente la recarga de acuíferos e indirectamente la cantidad de agua que puede ser extraída para las distintas actividades humanas. Incluso pequeños cambios en las precipitaciones pueden llevar a grandes cambios en la recarga en algunas regiones áridas y semiáridas (Green *et al*. 2011). Por ejemplo, Sandstrom (1995) demostró que un 15% de reducción en la precipitación, sin cambios en la temperatura, se asoció con una disminución de 40 a 50% en la recarga. Esto último, aunado a la sobreexplotación del acuífero, puede favorecer que se concentren las sales en el agua, sobre todo en zonas donde la composición geológica es rica en distintos tipos de minerales, como ocurre en Baja California Sur (FIGURA 1). Adicionalmente, el abatimiento del nivel de agua en los pozos cercanos a la costa favorece la intrusión salina. Este factor es especialmente importante en el angosto estado de Baja California Sur, cuya superficie representa escasamente 3.8% de la nacional, pero que tiene 2131 km de litoral, que equivale a 19.2% del total del país (INEGI).

[2] *Intergovernmental Panel on Climate Change*.

FIGURA 1

La aridez, la geología y la gran extensión de litoral caracterizan a Baja California Sur.

(Fotografía de Carlos Diego Méndez Rodríguez)

Cambios en el clima mundial pueden afectar el ciclo hidrológico, alterar las recargas de acuíferos y, por consiguiente, impactar los ecosistemas y las actividades humanas.

El agua subterránea es una fuente de este vital recurso en zonas áridas y semiáridas como la península de Baja California, donde 92% del territorio presenta clima muy seco, 7% seco y semiseco y 1% templado subhúmedo, en la región de la Sierra de la Laguna. Según datos reportados por INEGI, en Baja California Sur el abastecimiento público se realiza mediante la operación de 139 tomas de agua, de las cuales 95% son pozos para una población estatal que de 1990 a 2015 aumentó de 317,800 a 712,029 habitantes.

En resultados previos se identificaron diferentes problemas en la calidad del agua de pozos distribuidos en los municipios de Baja California Sur, a partir de muestreos realizados, en algunos casos, desde el año 1998. Dos de los que más han resaltado y causado preocupación son la intrusión salina y los altos niveles de arsénico. De este último se han registrado concentraciones superiores a las indicadas en la normatividad de México (0.025 mg/L, NOM-127-SSA1-1994) y en la establecida por la Organización Mundial de la Salud (0.01 mg/L). En el proyecto se evalúa la posible relación entre la intrusión salina y los niveles de arsénico, además de otros parámetros de la calidad del agua en pozos la entidad.

Principales resultados de la investigación

A partir de registros históricos de monitoreos hechos en el estado por la Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS), la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), se tomaron, para este estudio, 115 muestras de agua, antes y después del periodo de lluvias (FIGURA 2). Los sitios estudiados abarcaron acuíferos de los cinco municipios que conforman el estado. Baja California Sur tiene una extensión de aproximadamente 722 km de largo, con sectores en los que menos de 50 km separan el Océano Pacífico del Golfo de California. Esta característica, aunada a las actividades antrópicas, ha causado la presencia de un alto contenido de sales en diversos pozos de esta entidad federativa.

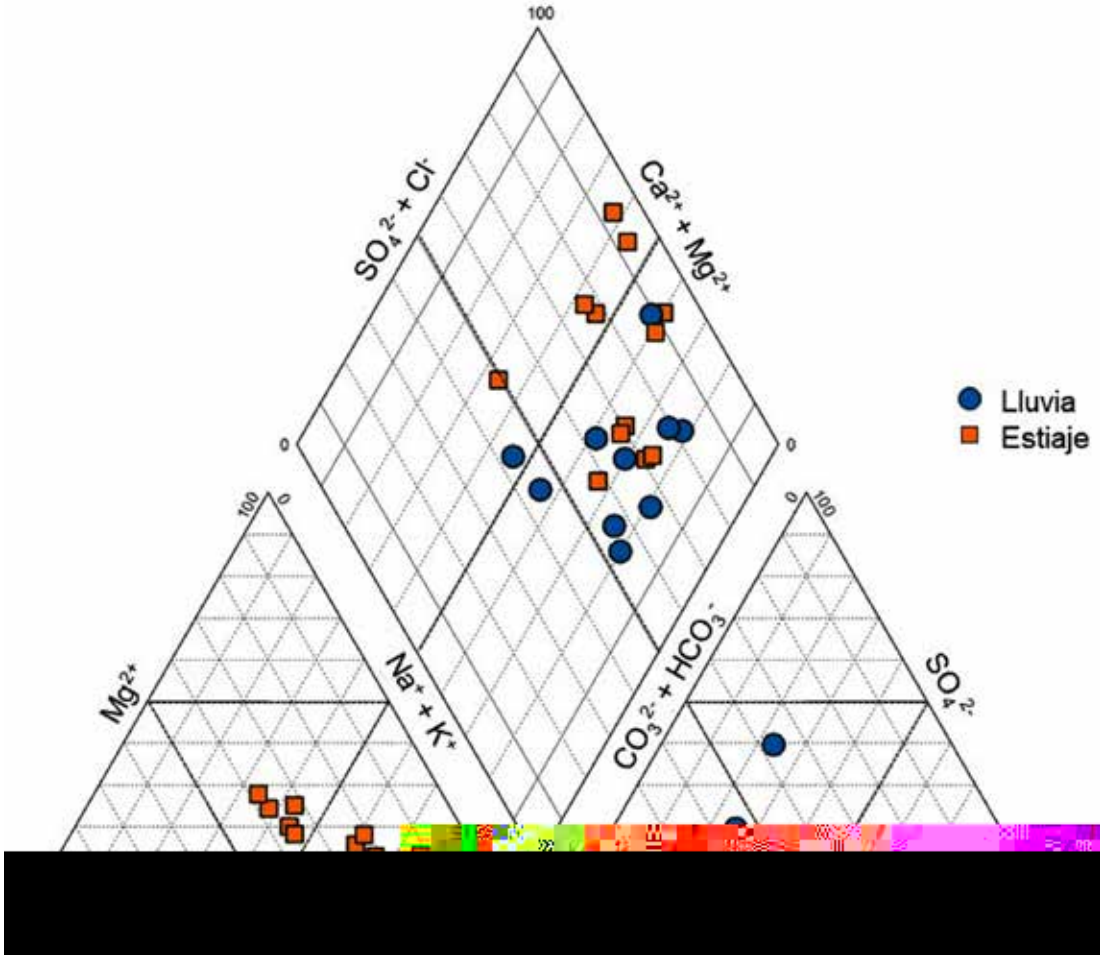
FIGURA 2

Sitios monitoreados en Baja California Sur.

En los resultados de los análisis conducidos hasta el momento, se observa que los patrones de calidad del agua varían significativamente, no sólo en relación con los diferentes mantos acuíferos, sino también dentro de una misma cuenca. El efecto de las actividades antrópicas que se desarrollan cerca de ellos es evidente. En la información recabada se observan parámetros de calidad de agua que presentan variación, dependiendo de que sea época de lluvias o de estiaje. Por ejemplo, en la cuenca hidrológica de La Paz hay algunos elementos que tienden a concentrarse en el estiaje y a diluirse en lluvias (FIGURA 3).

FIGURA 3

Diagrama de Piper que muestra la tendencia en la variación de las concentraciones de algunos parámetros de calidad del agua entre la época de estiaje y la de lluvia (por ejemplo, en la cuenca hidrológica de La Paz, Baja California Sur).



Impactos socioambientales del cambio climático en las cuencas de los ríos Conchos y Usumacinta

Martín José Montero Martínez[1]
RESPONSABLE TÉCNICO

Rebeca González Villela[a]
Efraín Mateos Farfán[a]
Ronald Ernesto Ontiveros Capurata[a]
Alejandra Peña García[a]
Julio Sergio Santana Sepúlveda[a]
Denise Freitas Soares de Moraes[a]

[1] Doctorado en Ciencias Atmosféricas por la Universidad de Arizona. Maestría en Geofísica por la UNAM. Licenciatura en Física por la BUAP. Posdoctorado en la Universidad de Dalhousie, Canadá, y estancias de investigación en Australia (2008) y Japón (2009). Colaborador en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Líneas de investigación principales: modelación climática regional, reducción de escala climática y detección de cambio climático.

[a] Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

RESUMEN

El presente trabajo busca determinar la posible influencia del cambio climático en las actividades socioeconómicas y ambientales de las cuencas de los ríos Conchos y Usumacinta, donde los habitantes perciben cambios constantes de temperatura y de precipitación que afectan notoriamente su modo de vida.

PALABRAS CLAVE

río Conchos; río Usumacinta; impactos socioambientales; detección de cambio climático

Introducción

El cambio climático, tema de importancia mundial, está en las agendas ambientales de la mayoría de los países del orbe. Sin embargo, son escasos los estudios que intentan mostrar los impactos presentes del fenómeno en México. Por ello, este proyecto se enfoca en la intención de mostrar la presencia del cambio climático en este país, mediante un análisis riguroso de las variables climáticas (temperatura de superficie y precipitación) y de los posibles impactos socioam-

bientales en las cuencas de los ríos Conchos (Chihuahua) y Usumacinta (Chiapas y Tabasco).

La investigación se ha planteado en tres etapas: 1) caracterización climática y socioambiental de las cuencas de los ríos Conchos y Usumacinta; 2) casos de estudio e identificación de periodos de la climatología base y de análisis, y 3) análisis para determinar los impactos socioambientales por eventos extremos del cambio climático.

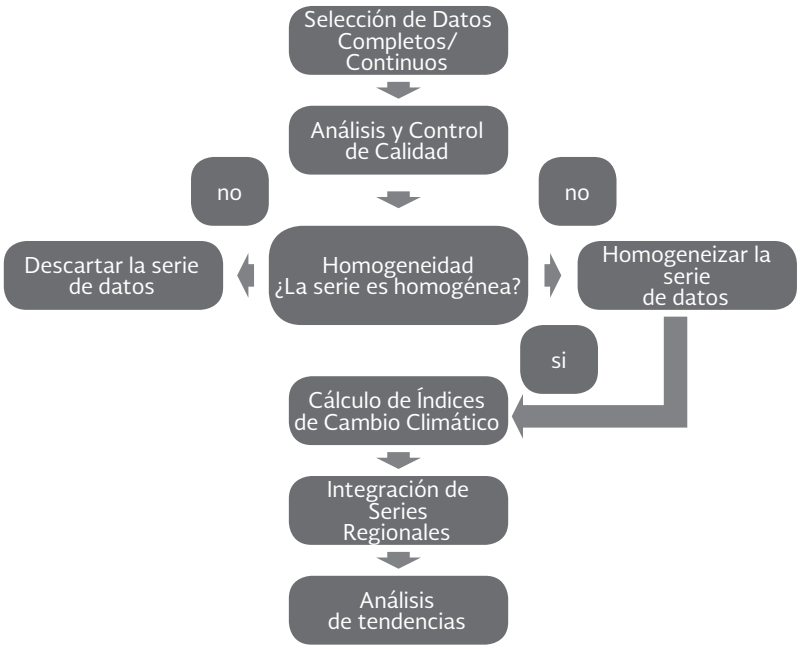
Procedimientos y resultados

Un estudio serio sobre detección de cambio climático exige la homogeneización de las bases climatológicas de datos disponibles. Dicha homogeneización ya fue completada para las dos cuencas mencionadas. En el río Conchos, las 110 estaciones originales se redujeron a sólo 14 estaciones homogeneizadas (periodo 1961-1990), y en el Usumacinta, de 67 estaciones originales quedaron 22 homogeneizadas (periodo 1965-1994).

Con esos datos homogeneizados se están obteniendo ahora los índices y las tendencias climáticas de las dos regiones siguiendo el procedimiento descrito en la FIGURA 1.

FIGURA 1

Diagrama de flujo para el cálculo de los índices de cambio climático.



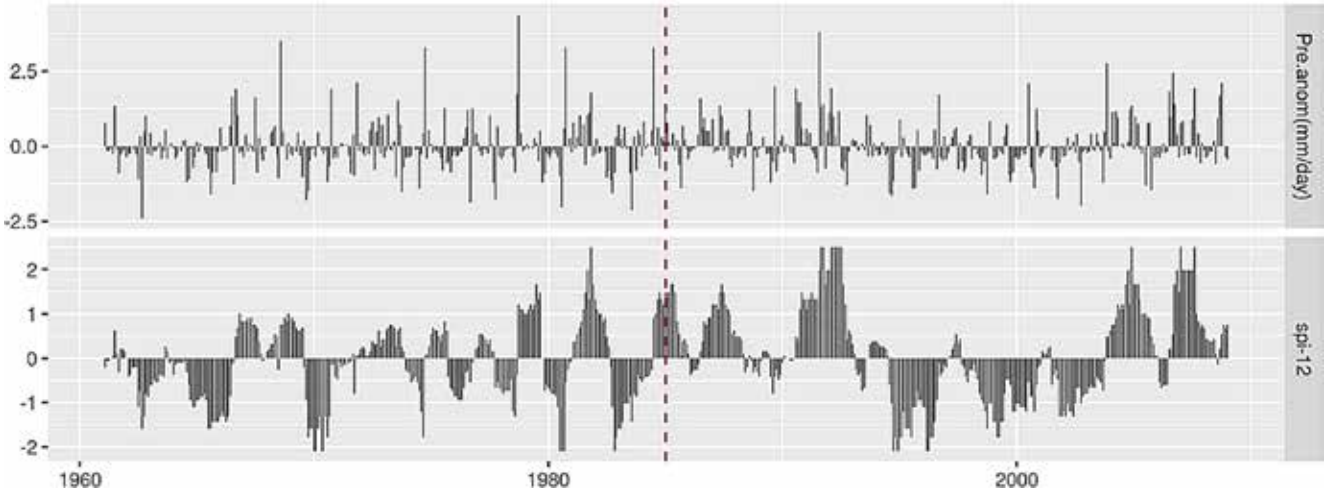
(Vázquez, 2010.)

Debido a que la obtención de las bases de datos homogéneas es un proceso importante, pero largo, se consumió más tiempo que el programado, de tal forma que, para los estudios de impacto, se comenzó a trabajar con la base de datos en malla generada por el CICESE,[2] que cubre el periodo 1960-2008, con una resolución espacial de 1/8 de grado (Muñoz Arriola *et al*. 2009).

Con el análisis de esos datos se obtuvo el índice normalizado de precipitación a doce meses (INP-12)[3] para las dos cuencas con el fin de enfatizar los periodos secos y húmedos de larga duración para ambas (FIGURA 2).

FIGURA 2

Anomalía de precipitación (mm/día) e INP-12 (abajo) para la cuenca del río Conchos.



Para el análisis del caudal ecológico, la precipitación se dividió en el periodo pre-impacto (1960-1983) y post-impacto (1984-2008) utilizando la base de datos del CICESE, la información hidrométrica disponible y el programa *Indicators of Hydrologic Alteration* (IHA v7) para definir las principales tendencias de la variación temporal. En el Usumacinta se observó el aumento de la precipitación mensual en la estación de lluvias y la disminución de la precipitación en la estación seca en el post-impacto (FIGURA 3). El caudal natural en el Usumacinta mostró una ligera disminución en el flujo durante la estación lluviosa, o una disminución significativa en los caudales durante algunos meses en el post-impacto. Esta condición no coincide con el aumento de la precipitación para este periodo ni en esta

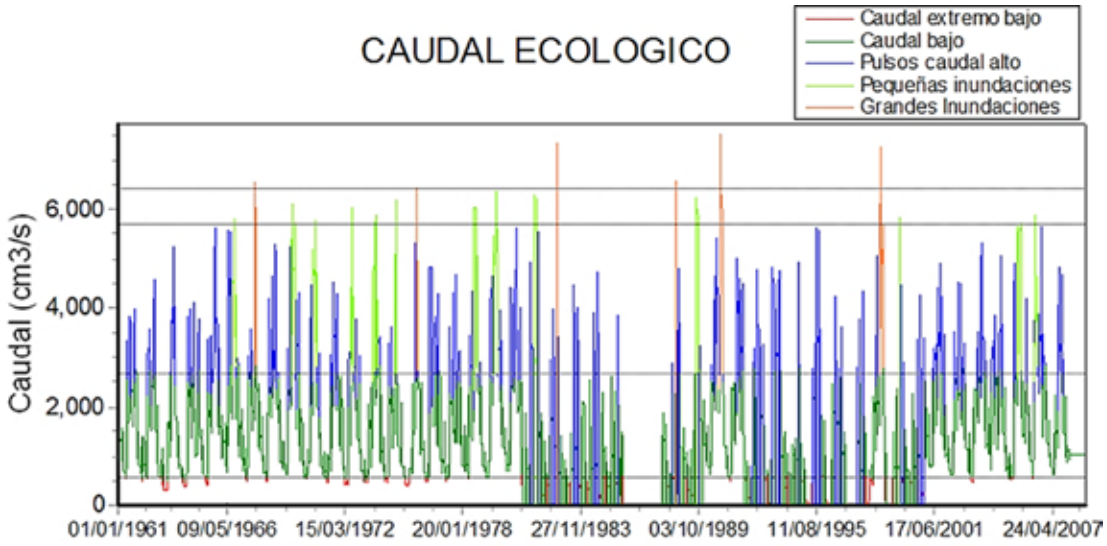
[2] Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, BC.

[3] En inglés, *12-Month Standardized Precipitation Index*, spi-12.

parte de la cuenca, situación que puede estar relacionada con el uso antrópico del recurso (González Villela *et al*. 2017).

FIGURA 3

Alteración de los caudales ecológicos en los periodos de pre y post impacto de la cuenca alta del río Usumacinta.



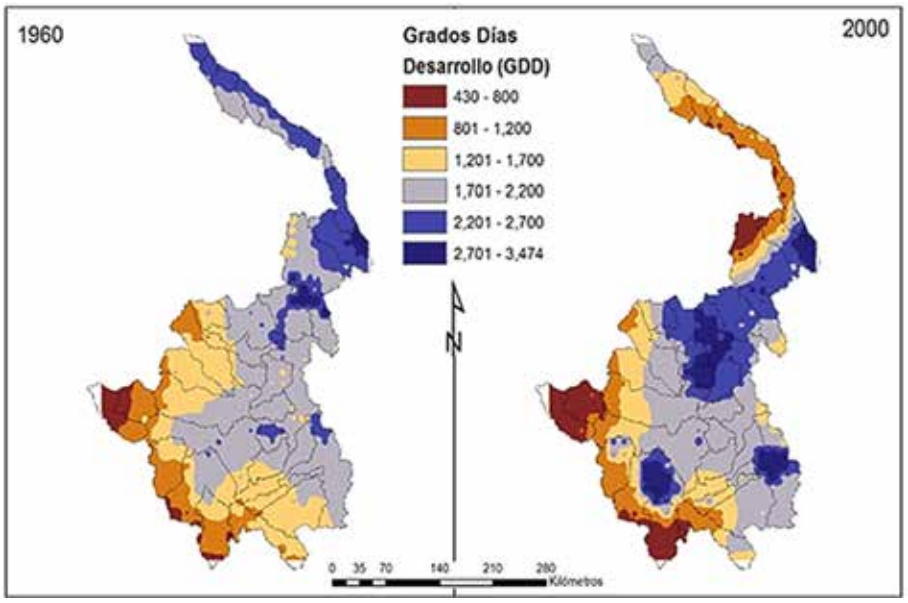
El sector agrícola en las cuencas estudiadas muestra características contrastantes. Por un lado, en la cuenca del río Conchos se cultiva poco menos de 10% de la superficie (769,942.6 ha) con predominancia de maíz grano en el ciclo primavera-verano, trigo en el ciclo otoño-invierno y alfalfa como cultivo perenne. Por ser una zona semiárida, gran parte de la producción se concentra en el ciclo primavera-verano, mientras que el ciclo otoño-invierno se reserva para la agricultura de bajo riego. La agricultura de temporal se da en las zonas altas y medias, mientras que en las zonas bajas predomina la de riego.

El análisis de índices agroclimáticos del periodo de 1960 a 2008 indica que ocurrieron cambios significativos en la agroclimatología de las cuencas. Por ejemplo, en la cuenca del río Conchos, el número de grados día desarrollo (GDD) para el cultivo de maíz es mayor hacia las partes altas, probablemente por el aumento de las temperaturas (FIGURA 4).

En la parte social, con información recogida en campo en los cuatro municipios de estudio (TABLA 1), se obtuvo que los habitantes perciben cambios constantes en relación con las variables de temperatura y precipitación, lo que está teniendo un impacto profundo en su modo de vida, principalmente en lo relativo a las actividades económicas que desempeñan.

FIGURA 4

Grados días desarrollo requeridos para el maíz.



La inestabilidad del patrón de lluvias y alzas en las temperaturas están teniendo impactos diferenciados en la población. Aquellos que tienen una mayor dependencia de recursos como tierra y agua, se perciben como los más vulnerables. Esta variabilidad climática señalada por las comunidades también ha incrementado la dependencia de insumos para la producción, lo que por un lado ha encarecido los costos de la misma y, por otro, ha obrado en detrimento del ambiente.

TABLA 1

Percepciones sociales en dos localidades de la cuenca del río Conchos y dos de la del río Usumacinta

Municipio y entidad	Conocimiento	Manifestaciones	Causas	Impactos	Adaptación
La Independencia, Chis.	No han oído hablar del cc.	Variaciones en el inicio de temporada de lluvias. Sequía. Más calor.	Son cosas de Dios. La contaminación.	Pérdida de un sistema tradicional de cultivo de milpa (*puljá*).	Cambios en patrón de cultivo. Migración.
Emiliano Zapata, Tab.	Pocos saben lo que es el cc.	Hace más calor. Hay lluvias irregulares.	Deforestación y diferentes formas de contaminación.	Afectaciones al ganado por olas de calor.	Diversificación de actividades productivas.
Cusihuiriachi, Chih.	Tienen escaso conocimiento sobre el cc.	Lluvias atípicas y excesivas. Granizadas. Menores heladas.	La perforación de pozos para riego, la contaminación y deforestación.	Aparición de plagas. Desaparición de manantial.	Abandono de tierras. Migración.
Delicias, Chih.	Es limitado el conocimiento del tema	Disminución de lluvias	Deforestación. Contaminación atmosférica	Años muy secos.	Tecnificación de riego. Reconversión de cultivos.

Potencial de aplicación

Los resultados sobre análisis climáticos y estudios de impacto socioambientales son de gran utilidad para los servicios climáticos y ambientales que se puedan brindar en la región, favoreciendo directamente a diversas comunidades en las zonas de estudio.

Por otro lado, se plantea la necesidad apremiante de contar con una política local de adaptación al cambio climático que tome en cuenta las condiciones actuales de cada población con las características sociales y culturales que posee, que identifique y potencialice los activos y que considere el conocimiento del medio y las prácticas ancestrales. Sin embargo, la combinación de medidas de adaptación al cambio climático y otras estrategias tendientes a transformar las estructuras generadoras de pobreza y marginación, son lo que podría contribuir a mejorar las actuales condiciones de vulnerabilidad en que se encuentran las poblaciones.

Bibliografía

González Villela, R., Montero Martínez, M.J. & Banderas Tarabay, A.G. (2017). Effects of climate change on water availability for the Usumacinta River Ecological Flow (Mexico). En prensa, para ser publicado en *International Journal of Sustainable Development and Planning*.

Muñoz Arriola, F., Avissar, R., Zhu, C., & Lettenmaier, D. P. (2009). Sensitivity of the water resources of Rio Yaqui Basin, Mexico, to agriculture extensification under multiscale climate conditions. *Water Resources Research*, 45(11).

Vázquez Aguirre, J.L. (2010). Guía para el cálculo y uso de índices de cambio climático en México. Reporte técnico para INE. 88 págs. http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/Guia_Indices_CC-2010.pdf

Las inundaciones en Veracruz y Boca del Río: ¿qué hacer?

Patricia Moreno Casasola[1]
RESPONSABLE TÉCNICA

Adolfo Campos C.[a]
Roberto Monroy Ibarra[a]
Luis Alberto Peralta Peláez[b]
Iris Neri Flores[c]
Isabel García Coll[d]
Alberto Niño[d]

[1] Instituto de Ecología A.C., Xalapa, Veracruz. Miembro del SNI. Recibió el premio nacional al Mérito Ecológico por parte de Semarnat. Trabaja en ecología, conservación y restauración de ecosistemas costeros, principalmente en dunas y humedales, así como en el desarrollo sustentable de las comunidades rurales de la costa de Veracruz. Ha publicado numerosos artículos de investigación, así como libros de divulgación de dunas y humedales.

[a] Instituto de Ecología A.C., Xalapa, Veracruz.

[b] Instituto Tecnológico de Veracruz.

[c] Universidad Veracruzana.

[d] Pladeyra, Veracruz.

RESUMEN

Las inundaciones causan muchas pérdidas. Son producto del desborde de ríos, de la elevación del nivel del manto freático y del crecimiento urbano sobre humedales. Las áreas naturales protegidas pueden reducir los picos de inundación, ya sea como vasos reguladores del agua de escurrimientos y del manto freático o al mitigar el impacto de nortes y marejadas.

PALABRAS CLAVE

precipitaciones; fenómenos hidrometeorológicos; mapeo de ríos; flujos de agua

Introducción

México se ubica en la zona de influencia de tormentas, huracanes y frentes fríos que suelen producir intensas precipitaciones, cuyas avenidas inundan extensas regiones del país. Los impactos económicos provocados por fenómenos hidrometeorológicos extremos "han pasado de un promedio anual de 730 millones de pesos en el periodo de 1980 a 1999, a 21,950 millones de pesos en el periodo de 2000 a 2012",[2] siendo Veracruz y Oaxaca las entidades con mayores pérdidas.

[2] Estrategia Nacional del Cambio Climático, *Diario Oficial*, Tercera sección, 3 de junio de 2013, pág. 23.

La configuración topográfica y la cantidad de agua que corre superficial y subsuperficialmente favorecen la incidencia de inundaciones frecuentes en el Puerto de Veracruz y Boca del Río, establecidos sobre dunas y humedales, que al crecer han perdido los recursos ecosistémicos de protección que la costa proporciona.

El 4 de octubre de 2005, con el huracán Stan, se registraron 223 litros/m^2 en el puerto: 31 cuerpos de agua desbordados; 135 mil casas y 170 tramos carreteros y puentes afectados, y casi 1.5 millones de damnificados. En 2010, Karl ocasionó que la mitad de la entidad fuera declarada en estado de emergencia: al escurrir las lluvias sobre suelos saturados, inundaron las partes bajas y ocasionaron pérdidas económicas y de vidas; en la cuenca del Jamapa-Cotaxtla, la precipitación aguas arriba desbordó los cauces un día después que el ojo del huracán tocó tierra, y algunos sitios permanecieron inundados durante dos a tres meses (Tejeda y Betancourt 2012).

El objetivo de esta parte del proyecto[3] es entender la dinámica de los flujos de agua dulce en la cuenca baja del Jamapa para desarrollar modelos de inundación y sistemas de alerta temprana como parte de las estrategias de adaptación al cambio climático en esta región.

Planteamiento y desarrollo de la investigación

Se delimitaron la cuenca y las subcuencas que aportan agua a la cuenca baja, tanto de manera superficial (ríos) como subsuperficial y zonas de recarga. Se mapearon ríos, escurrimientos permanentes y temporales, tipos de suelos y vegetación. Se colocaron piezómetros con monitoreos mensuales para ver la fluctuación del nivel del agua. Se han hecho perfiles de suelos de un metro de profundidad tomando muestras en cada horizonte para medir la capacidad de almacenamiento de agua en los poros del suelo (Campos *et al*. 2011). El índice de sensibilidad socioeconómica se generó a partir de veinte variables tomadas de las bases de datos de INEGI.

Principales resultados

Los flujos de agua en la cuenca baja

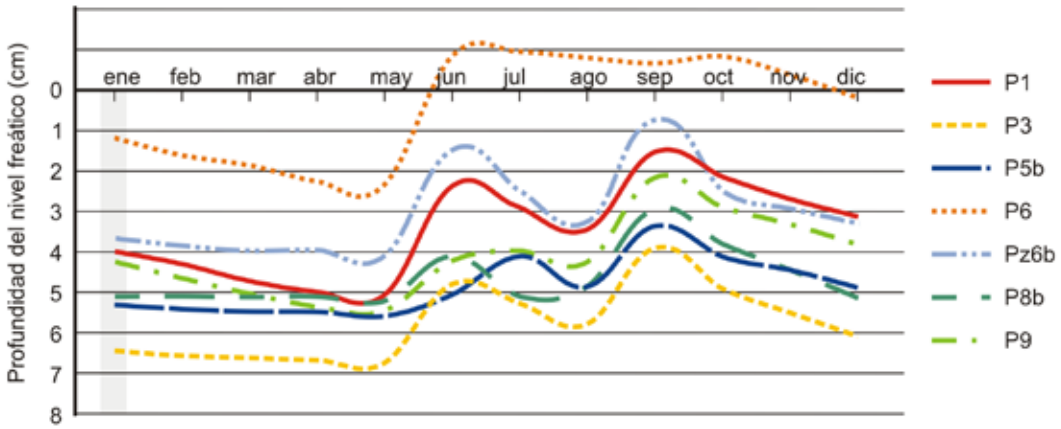
Los ríos Jamapa, Cotaxtla y sus afluentes son los principales escurrimientos superficiales en la cuenca del Jamapa. Hay una relación estrecha entre los flujos de

[3] Cuyo título completo es "Evaluación integral de la vulnerabilidad al cambio climático de la cuenca del río Jamapa, Ver., y sus repercusiones en el sistema cafetalero y en poblaciones de la cuenca baja vulnerables a inundaciones".

agua superficiales y los del manto freático en la cuenca baja del Jamapa (Neri *et al*. 2014). La batería de piezómetros (FIGURA 1) muestra fluctuaciones importantes y, en la época de lluvias, se eleva el nivel del agua, inundándose las zonas más bajas.

FIGURA 1

Fluctuaciones del nivel del agua en piezómetros, en la cuenca baja.

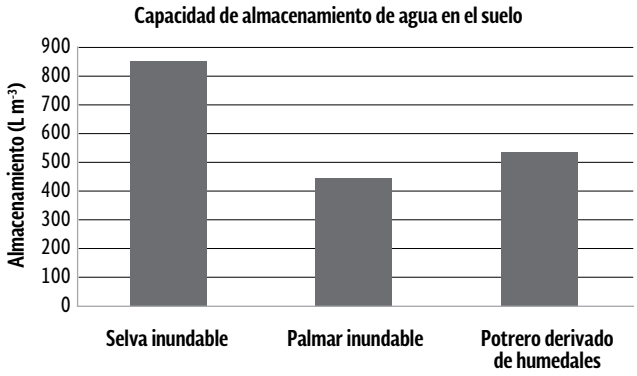


Capacidad del suelo para almacenar agua

El suelo de los humedales acumula materia orgánica y en sus poros almacena agua (Campos *et al*. 2011). El análisis del arreglo estructural del suelo mostró que la selva inundable es capaz de almacenar casi lo doble de agua que el palmar inundable y mucho más que los potreros derivados de la tala de la propia selva (Moreno-Casasola *et al*. 2014) (FIGURA 2). Almacenan casi ocho veces su propio peso en agua, por lo tanto son importantes en la contención de inundaciones ayudando a reducir el impacto del pico de inundación.

FIGURA 2

Cantidad de agua almacenada en el suelo de tres tipos de vegetación, en el municipio de Jamapa, Ver.



Los humedales y las áreas naturales protegidas

Entre las áreas naturales protegidas destacan el humedal de Tembladeras, el Sistema de Lagunas Interdunarias (Peralta *et al*. 2014), el manglar de Arroyo Moreno y el Sistema Arrecifal Veracruzano. Todas juegan un papel importante en la regulación de inundaciones. Las tres primeras funcionan como vasos reguladores del agua de escurrimientos y del manto freático, y las dos últimas mitigan el impacto de nortes y marejadas. El nivel del agua en las lagunas interdunarias podría funcionar como un sistema de alerta temprana del nivel del manto freático. Se estableció la línea basal en la calidad del agua y en el nivel del manto freático, como base de una propuesta de plan de manejo para las lagunas urbanas y rurales (FIGURA 3).

FIGURA 3

Laguna interdunaria Las Conchas y humedales suburbanos en el Puerto de Veracruz.

Fotografía de Gerardo Sánchez Vigil.

Cambio de uso del suelo y mapeo de vegetación

El crecimiento de la zona conurbada de Veracruz-Boca del Río y de la cuenca en general, ha traído fuertes cambios. El mapa de vegetación de la parte baja de la cuenca muestra la extensión de la vegetación antrópica y de los humedales de agua dulce y manglares sobre los cuales se ha urbanizado (FIGURA 4). Hay grandes contrastes en el desarrollo socioeconómico, lo cual se traduce en alta vulnerabilidad en la cuenca (FIGURA 5).

FIGURA 4

Mapa de vegetación y cambio de uso del suelo de la cuenca baja del Jamapa.

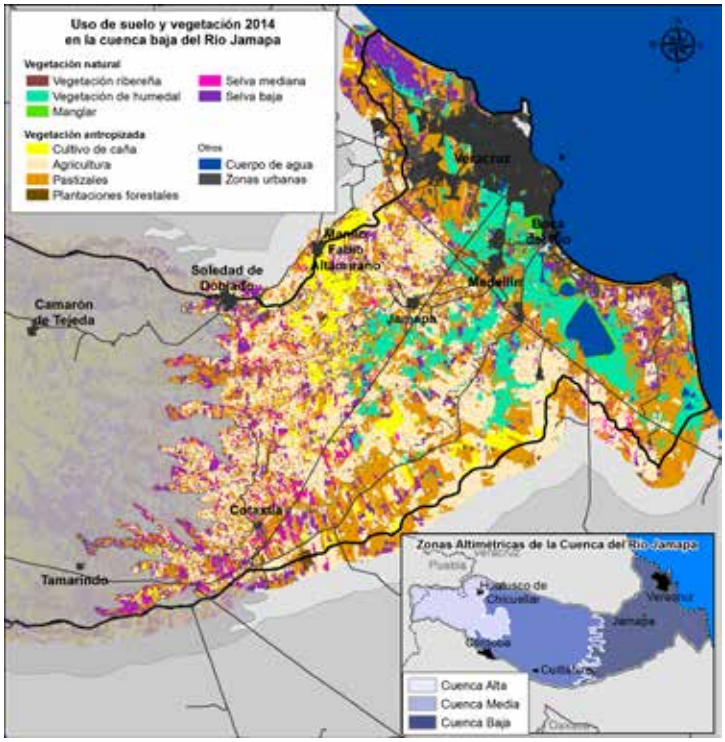
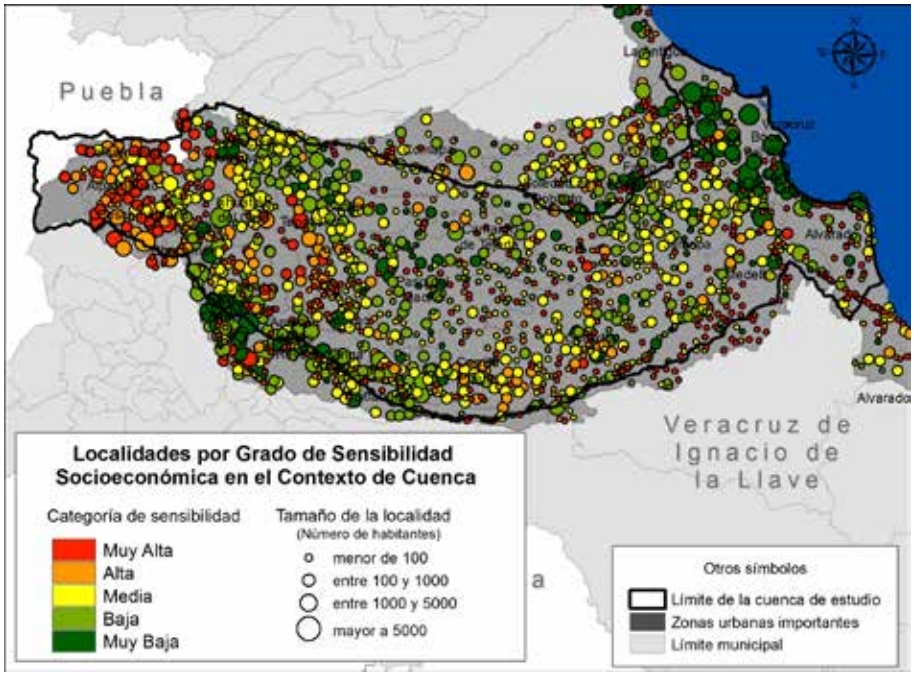


FIGURA 5

Sensibilidad socioeconómica en las localidades de la cuenca de Jamapa.



Utilidad de la información generada

Los resultados serán de utilidad al sector gubernamental para la instrumentación de políticas para enfrentar contingencias ambientales, trazar estrategias de adaptación al cambio climático, modular planes de urbanización, establecer pagos por servicios ecosistémicos, etcétera. La sociedad valorará la importancia de los servicios ecosistémicos y la necesidad de conservarlos a través de áreas naturales protegidas y el establecimiento de alertas tempranas. Se generará información de interés para el sector académico. Hacia el final del proyecto estos resultados serán discutidos con los sectores mencionados.

Bibliografía

Campos, A., M.E. Hernández, P. Moreno Casasola, E. Cejudo, R.A. Robledo y D. Infante Mata. 2011. Soil water retention and carbon pools in tropical forested wetlands and marshes of the Gulf of Mexico. *Hydrological Science Journal* 56 (8):1388-1406.

Moreno Casasola, P., H. López Rosas y K. Rodríguez Medina. 2014. From tropical wetlands to pastures on the coast of the Gulf of Mexico. *Revista Pastos* 42(2):183-215.

Neri Flores, I., O.A. Escolero Fuentes, S. Pérez Torres y G. Riquer Trujillo. 2014. Inundaciones por agua subterránea en zonas costeras. Caso de estudio: acuífero de Veracruz. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 66:247-261.

Peralta Peláez, L.A., P. Moreno Casasola y H. López Rosas. 2014. Hydrophyte composition of dune lakes and its relationship to land use and water physicochemistry in Veracruz, Mexico. *Marine and Freshwater Research* 65(4):312-326.

Tejeda, M.A., y Betancourt, T. L. 2012. *Inundaciones 2010 en el estado de Veracruz: México*. Consejo Veracruzano de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico. 578 pp.

Respuesta de la flora del Desierto Chihuahuense al cambio climático

Alejandra Citlalli Moreno Letelier[1]
RESPONSABLE TÉCNICA

Niza Gámez Tamariz[a]

[1] Doctorado por la UNAM y postdoctorado en el Imperial College de Londres. Actualmente es investigadora asociada en el Jardín Botánico del Instituto de Biología de la UNAM. Sus líneas de investigación son: genética de la conservación, especiación y ecología evolutiva de plantas.

[a] Jardín Botánico, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México.

RESUMEN

Las zonas áridas de México son muy vulnerables al cambio climático, por lo que es necesario determinar la capacidad de respuesta de las especies para elaborar estrategias de conservación. Se comparan las resiliencias a cambios climáticos futuros (proyección al año 2070) de cuatro especies: tres agaves y un junípero.

PALABRAS CLAVE

cambio climático; Desierto Chihuahuense; modelos de distribución potencial; *Agave*; *Yucca*; *Juniperus*

Introducción

El riesgo de extinción de las especies depende no sólo de los cambios en el hábitat, sino también de las características de la historia de vida, capacidad de dispersión, variación genética subyacente y dinámicas poblacionales (Loarie *et al*. 2009; Fordham *et al*. 2012; Pearson *et al*. 2014). Para entender cómo han reaccionado las poblaciones a los cambios climáticos pasados, e inferir la respuesta para los cambios climáticos actuales, es necesario incorporar información genética y demográfica.

El Desierto Chihuahuense es de origen reciente. Hasta hace diez mil años era un bosque abierto de juníperos y pinos piñoneros (Betancourt *et al*. 1990). Esto indica que las especies de este ecosistema migraron o se adaptaron recientemente al ambiente surgido hace seis a cuatro mil años. Entender cómo se han dado estos procesos de migración, cambios demográficos y adaptaciones locales a nuevos ambientes es crucial para predecir la respuesta a cambios climáticos futuros.

El objetivo general de este proyecto es estudiar la historia de vida, demografía histórica, las adaptaciones locales a condiciones áridas y la evolución del nicho ecológico de especies del Desierto Chihuahuense para definir el riesgo de extinción de estas especies. Las especies elegidas son: *Agave lechuguilla*, *Agave victoriae-reginae*, *Agave striata* y *Juniperus deppeana*.

Hipótesis

Las especies adaptadas a condiciones áridas más recientes (*Agave spp*.) presentarán mayor resiliencia a los cambios climáticos proyectados a futuro, mientras que la conífera *Juniperus deppeana*, que posee una afinidad más templada, verá reducida su área de distribución. Se espera un patrón de menor tamaño efectivo histórico para *Agave spp*. que tuvieron distribuciones más restringidas durante el Pleistoceno.

Material y métodos

Los métodos se enfocan en la cuantificación de la variación genética mediante técnicas genómicas y la modelación de distribución potencial presente y futura, con herramientas de sistemas de información geográfica. La modelación de distribución potencial se hizo utilizando bases de datos curadas de las especies de estudio y las capas bioclimáticas de Worldclim (Hijmans *et al*. 2005). Las variables utilizadas para cada modelación se determinaron mediante análisis de componentes principales. Se utilizaron las capas del presente y las de dos vías representativas de concentración:[2] RCP4.5 y RCP8.5. En el primero, las emisiones se estabilizan en 450 ppmv[3] en 2040, y en el segundo el CO_2 continúa aumentando durante el siglo XXI.

[2] En inglés, RCP, *Representative Concentration Pathways*.

[3] Partes por millón en volumen.

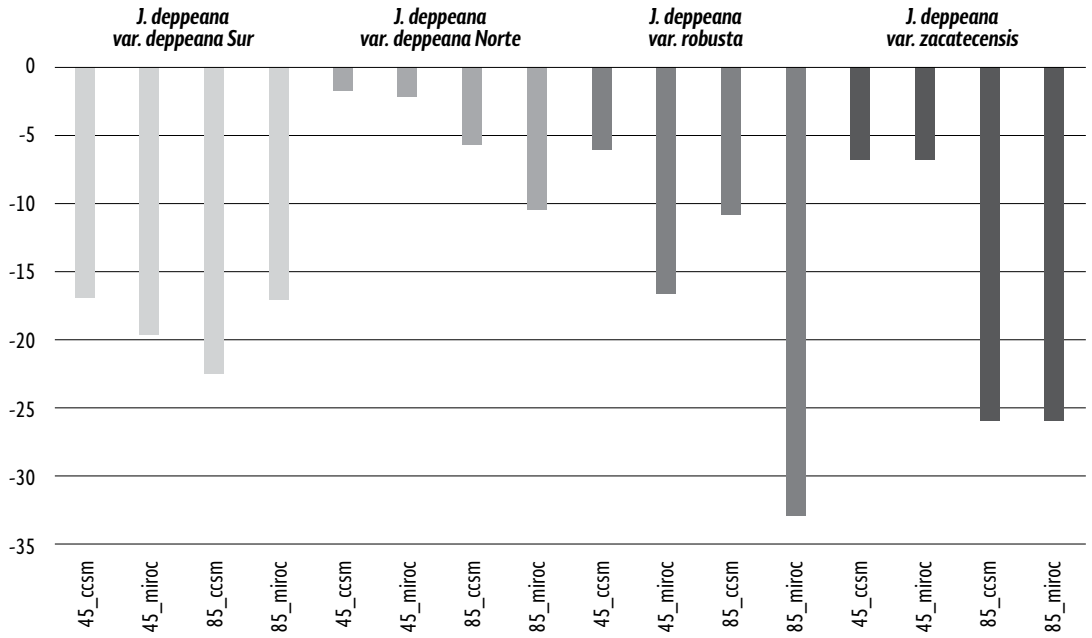
Se probaron dos modelos de circulación general:[4] CCSM4 y MIROC5 para los años 2040 y 2070. Los análisis se realizaron con algoritmos Maxent[5] (Phillips, Anderson, and Schapire 2006), con 30 réplicas. El modelo promedio resultante se recortó para eliminar las celdas con valores de probabilidad menores que 10% de los registros de presencia y se codificó de manera binaria. Se calcularon los pixeles de presencia para cada tiempo/modelo/RCP y se calculó el porcentaje de permanencia, ganancia y pérdida para cada especie/modelo/RCP.

Resultados

Los efectos de las modelaciones a futuro dieron resultados contrastantes entre las distintas especies. *J. deppeana* y sus variedades muestran en todos los casos una disminución notable en sus áreas de distribución para el año 2070 en todos los escenarios y modelos de circulación general (FIGURA 1).

FIGURA 1

Porcentajes de pérdida de área de distribución para las variedades de *Juniperus deppeana*.



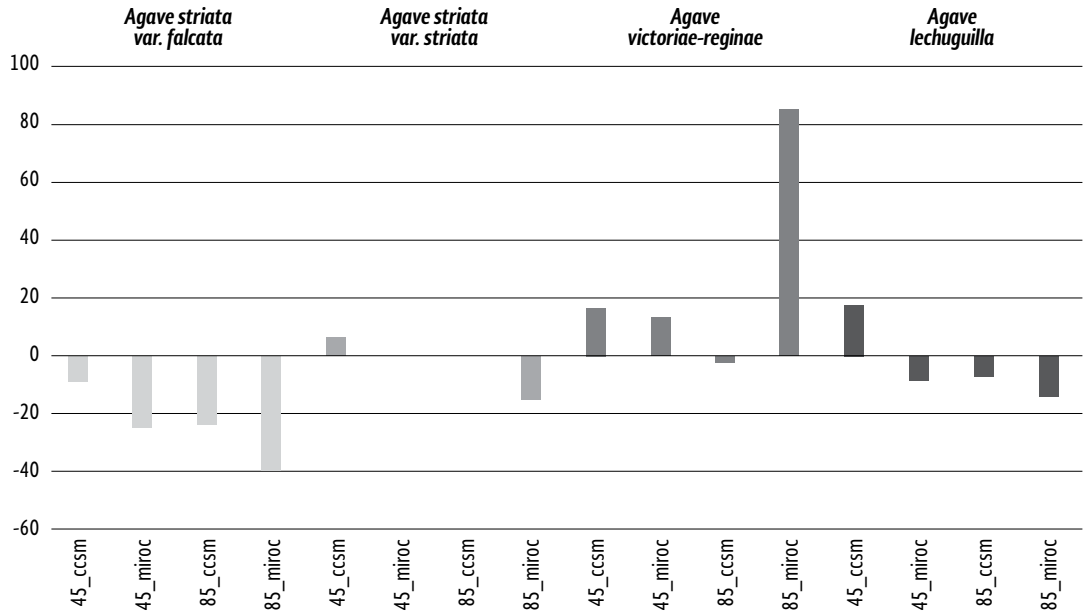
[4] CCSM= *Community Earth System Model*; MIROC= *Model for Interdisciplinary Research on Climate*.

[5] *Maximum Entropy*, *MaxEnt*. Modelos basados en el principio de máxima entropía.

La especie que se ve menos afectada es *J. deppeana* var. *deppeana* en su distribución norte, con menos de 15% de pérdida, mientras que la distribución sur (Faja Volcánica Transmexicana) es la que tiene una reducción de más de 15% en todos los casos. Las otras dos subespecies (*J. deppeana* var. *robusta* y *J. deppeana* var. *zacatecensis*) también ven reducidas sus áreas de distribución de manera significativa, sobre todo para RCP8.5, con 35% y 26% de pérdida respectivamente (FIGURA 2).

FIGURA 2

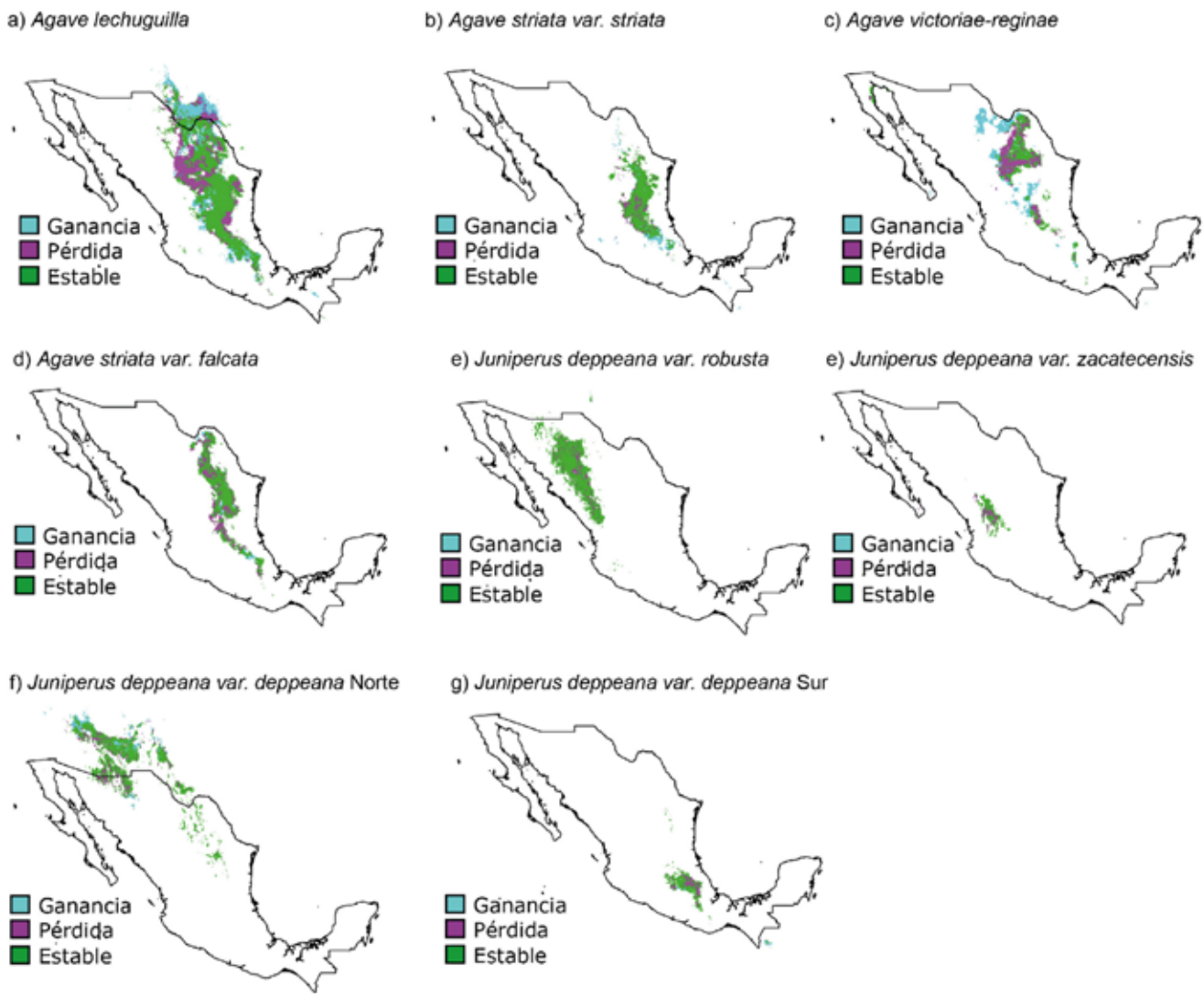
Porcentajes de ganancia o pérdida de área de distribución de las especies del género Agave.



Los agaves dan una respuesta más heterogénea (FIGURA 3). *A. striata* var. *falcata* muestra una disminución en su área de distribución, para todos los escenarios, entre 8% y 38%, mientras que la de *A. victoriae-reginae* aumenta, especialmente en MICROC5 RCP8.5. *A. striata* var. *striata* y *A. lechuguilla* no se ven afectadas en CCSM4 RCP4.5, pero en los otros escenarios también disminuye el área. Cabe notar que, en los casos de reducción del área de distribución, se debe tomar en cuenta el grado de fragmentación de las poblaciones, porque la presencia de centros urbanos, carreteras y zonas de cultivo incrementarán el aislamiento de algunas de ellas.

FIGURA 3

Distribuciones potenciales para el presente, 2050 y 2070.



En verde se presenta la distribución estable hasta el 2070, en azul la ganancia y en magenta, la pérdida de área de distribución.

Estos resultados preliminares corroboran la hipótesis de que las especies con mayor afinidad templada, como *J. deppeana* y *A. striata* var. *falcata*, serán las más afectadas por el calentamiento global. Sin embargo, ya que sólo una especie de agave aumenta su distribución en todos los escenarios, el resto de las especies también serían vulnerables.

Con base en estos resultados, se espera que las especies de afinidad templada tengan mayor diversidad genética, como consecuencia de los mayores tamaños poblacionales durante el Pleistoceno. Al mismo tiempo, las especies con afinidad

tropical-cálida presentarían adaptaciones a condiciones de aridez y señales de crecimiento poblacional reciente.

Potencial de aprovechamiento

Los resultados de este proyecto son todavía preliminares. Una vez concluido el análisis, se incluirán datos de cambio de uso de suelo, cobertura vegetal y fragmentación para tener una idea más clara de cuáles serán las presiones sobre las poblaciones. Hasta el momento, todas las especies analizadas pueden ser vulnerables, con la excepción de *A. victoriae-reginae*. Sin embargo, esta especie cuenta con poblaciones pequeñas y aisladas, por lo que es posible que su variación genética sea baja y, aunque climáticamente tenga condiciones para aumentar su distribución, la variación genética quizá no sea suficiente para adaptarse a otras presiones.

Con la información genética que se obtendrá en la siguiente etapa, este estudio permitirá entender cuáles han sido los procesos históricos y cuantificar el potencial de adaptación de las especies de estudio. Estos resultados son relevantes en un contexto académico, pero también coadyuvarán a que el sector gubernamental establezca medidas de atenuación de los efectos del calentamiento global y actualice la lista de especies sujetas a protección. Esto último es relevante, sobre todo para *J. deppeana* y *A. striata* var. *falcata*, que son las especies más vulnerables y que actualmente no se encuentran en alguna categoría de riesgo en la norma oficial mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010.

Bibliografía

Fordham, Damien, H. Resit Akçakaya, Miguel B. Araújo, Jane Elith, David a. Keith, Richard Pearson, Tony D. Auld, *et al*. 2012. "Plant Extinction Risk under Climate Change: Are Forecast Range Shifts Alone a Good Indicator of Species Vulnerability to Global Warming?", *Global Change Biology* 18 (4): 1357-71. doi:10.1111/j.1365-2486.2011.02614.x.

Hijmans, Robert J., Susan E. Cameron, Juan L. Parra, Peter G. Jones, and Andy Jarvis. 2005. "Very High Resolution Interpolated Climate Surfaces for Global Land Areas." *International Journal of Climatology* 25 (15): 1965-78. doi:10.1002/joc.1276.

Loarie, Scott R, Philip B Duffy, Healy Hamilton, Gregory P Asner, Christopher B Field, and David D Ackerly. 2009. "The Velocity of Climate Change", *Nature* 462 (7276). Nature Publishing Group: 1052-55. doi:10.1038/nature08649.

Pearson, Richard G., Jessica C. Stanton, Kevin T. Shoemaker, Matthew E. Aiello-lammens, Peter J. Ersts, Ned Horning, Damien a Fordham, *et al.* 2014. "Life History and Spatial Traits Predict Extinction Risk due to Climate Change", *Nature Clim. Change* 4 (February): 217-21. doi:10.1038/NCLIMATE2113.

Phillips, Steven J., Robert P. Anderson, and Robert E. Schapire. 2006. "Maximum Entropy Modeling of Species Geographic Distributions." *Ecological Modelling* 190: 231-59. doi: 10.1016/j.ecolmodel. 2005.03.026.

Modelos de distribución de especies, hábitats y poblaciones humanas ante el cambio climático

Enrique Núñez Lara[1]

[1] Profesor investigador de tiempo completo, Facultad de Ciencias Naturales, Centro de Investigación en Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma del Carmen, Ciudad del Carmen, Campeche, México. Miembro del Núcleo Académico Básico de la Maestría en Ciencias en Restauración Ecológica y del Cuerpo Académico Ambientes Costeros y Sustentabilidad. Docente en la carrera de Biología Marina. Líneas de investigación: 1) ecología de ecosistemas costeros, 2) métodos de análisis de datos ecológicos. SNI 2008-2015.

RESUMEN

Se elaboran modelos para predecir cambios en la distribución de especies, en la configuración espacial de hábitats y poblaciones del sureste en función de variaciones climáticas anómalas. Entre las especies consideradas se encuentra tortugas y mamíferos marinos, peces y aves. En el presente informe se da cuenta de veintitrés de ellas.

PALABRAS CLAVE

modelación; distribución; predicción; cambio climático

Introducción

La región costera del sureste de México es particularmente vulnerable a fenómenos meteorológicos, como la precipitación de alta frecuencia o la intensidad que provoca inundaciones. El área natural protegida de Laguna de Términos, en Campeche (FIGURA 1), se caracteriza por un clima tropical húmedo y por cuencas hidrológicas extensas y caudalosas en zonas de poca altitud que la hacen susceptible a inundaciones.

Estudios recientes sobre efectos del cambio climático en diferentes ecosistemas y hábitats marinos y costeros han demostrado modificaciones en la distribución y abundancia de especies (Witt *et al*. 2010). Los modelos predictivos indican que esto podría causar fragmentación o perdida de hábitats, alteración de los elementos del ecosistema y efectos en las asociaciones intra e interespecíficas,

FIGURA 1

Laguna de Términos, Campeche.

así como un aumento en la distribución de especies invasoras, cambios en los patrones de la migración de los individuos y modificaciones, en general, en el tamaño y distribución de las poblaciones (Peterson *et al*. 2002; Bravo *et al*. 2011).

La estrategia de cambio climático para áreas protegidas (ECCAP) considera líneas de acción congruentes con la Ley de Cambio Climático y la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC), relacionadas con el análisis de procesos de adaptación y resiliencia para ecosistemas vulnerables. Incluye los componentes ambientales y socioeconómicos y detalla la necesidad de un conocimiento científico actualizado y de evaluaciones eficaces para tomar decisiones acertadas en un contexto de cambio climático (CONANP 2016).

Planteamiento y desarrollo de la investigación

A partir de datos de presencia de especies, patrones espaciales de configuración de hábitats y datos socioambientales de poblados localizados en la región Laguna de Términos, Camp., se elaboran modelos para visualizar los cambios que se presentarían en 30, 50 y 80 años, en la distribución de estos tres componentes del ecosistema, tanto en casos en los que las variables climáticas muestren condiciones fuera de los rangos normales como en los que se mantengan dentro de éstos.

Como primer paso se elaboraron tablas de priorización de especies según criterios como su inclusión en la lista roja de la IUCN[2] y en la norma oficial mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, que fueran sujetas de aprovechamiento, carismáticas, clave, indicadoras, invasoras, migratorias, de rangos estrechos de distribución, vulnerables a fragmentación de hábitat y con datos disponibles. Entre las especies consideradas se encuentra tortugas y mamíferos marinos, peces y aves (TABLA 1).

TABLA 1

Priorización de especies de la Laguna de Términos para su posible selección en la elaboración de modelos predictivos de distribución*

Nombre científico	Nombre común	Endemismo	Cites (Apéndices)	IUCN (Lista roja)	NOM-059	Hábitat crítico
Agkistrodon bilineatus	Cantil				Pr	
Coniophanes bipunctatus	Oracionera	No			--	No
Boa constrictor	Boa	No	II		A	No
Chelonia mydas	Tortuga	No	I	EN	P	Sí
Chelydra serpentina	Tortuga	No	I	LC	Pr	Sí
Coniophanes impererialis	Culebra	No		LC	--	No
Crocodylus acutus	Cocodrilo	No		LC	Pr	Sí
Crocodylus moreletii	Cocodrilo	No	I	NT	Pr	Sí
Ctenosaura similis	Garrobo				A	
Dipsas brevifacies	Culebra	No		LC	Pr	No
Dipsas brevifacies	Serpiente	No		LC	Pr	No
Dryadophis melanolomus	Serpiente	No		LC	--	No
Eretmochelys imbricata	Tortuga	No	I	CR	P	Sí
Iguana iguana	Iguana	No	II		Pr	No
Imantodes cenchoa	Culebra	No			Pr	No
Kinosternon acutum	Pochitoque	No		NT	Pr	No
Kinosternon leucostomun	Tortuga	No			Pr	No
Lepidochelys kempii	Tortuga	No	I	CR	P	Sí
Leptophis ahaetulla	Serpiente	No			A	No
Leptophis mexicana	Serpiente	No			A	No
Micruroides euryxanthus	Serpiente				A	
Rhinoclemmys areolata	Mojina	No		NT	A	No
Trachemys mawii	Tortuga	No		NT	P	Sí

* Fragmento de la tabla general de priorización, elaborada por Sandra Lucero Martínez Neri, alumna de la maestría en Ciencias en Restauración Ecológica de la Universidad Autónoma del Carmen.

[2] *International Union for Conservation of Nature.*

Con ayuda de material cartográfico digital, mapas e imágenes de satélite se delimitaron algunos ecosistemas dominantes de la región, se trazaron fronteras, conexiones, flujos y otros rasgos geográficos que ayudarán a la estimación de áreas (FIGURA 2). En este proceso se utilizaron capas, imágenes y bases de datos publicadas por dependencias de gobierno como INEGI, SEMARNAT, CONABIO, CONANP, SMN y SAGARPA.

FIGURA 2

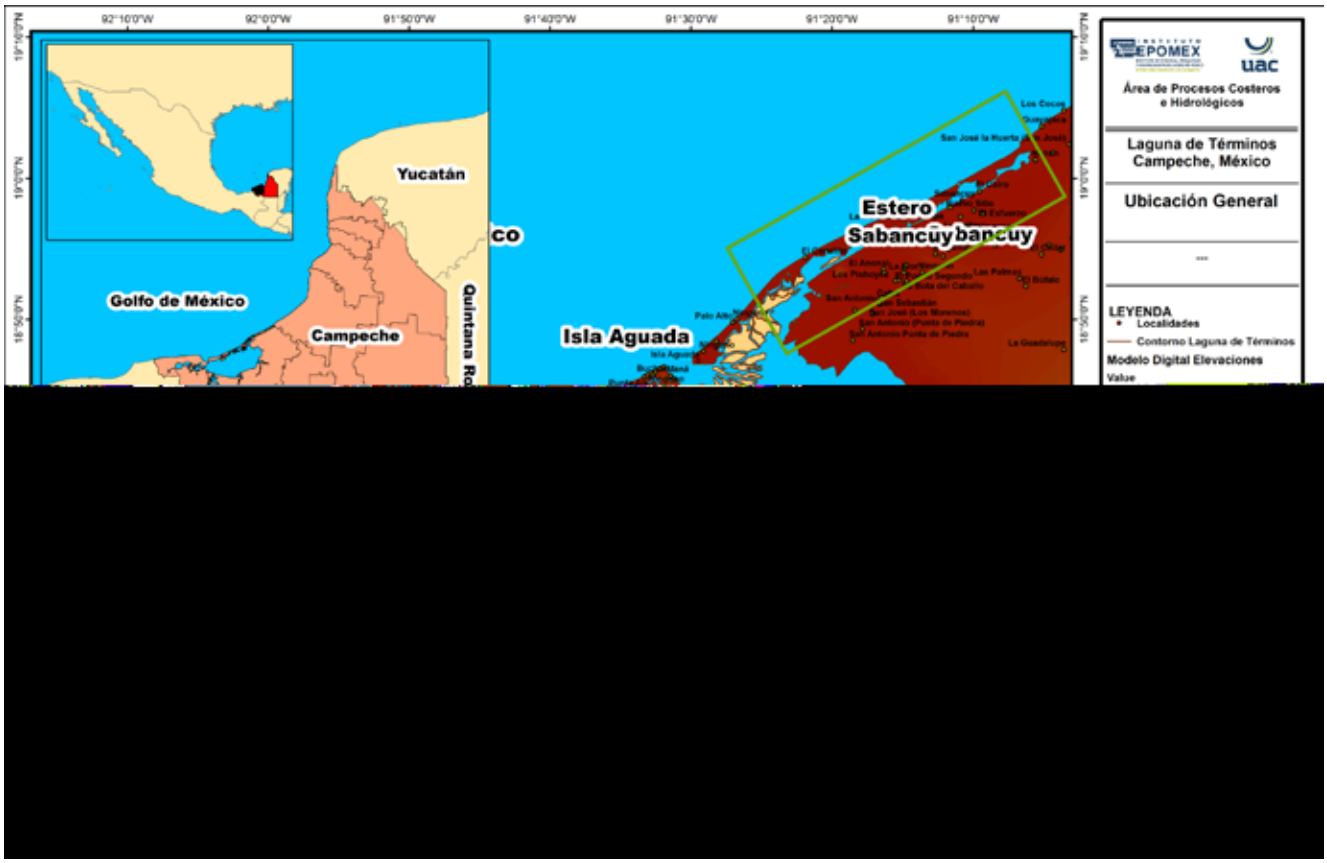
Imagen de satélite de la Laguna de Términos.

Asentamientos humanos de diferentes dimensiones y poblaciones se localizan en las riberas de los ríos que desembocan en la Laguna de Términos y otras

subcuencas hidrológicas (FIGURA 3). Estos lugares están expuestos a inundaciones estacionales y otras amenazas ambientales directas y socioeconómicas indirectas (pérdida de cultivos, degradación de suelos, afectación al ganado, limitación de recursos naturales y de servicios). Se espera que los productos generados por el proyecto ayuden a definir escenarios de vulnerabilidad para estas zonas y a establecer medidas de mitigación o de adaptación.

FIGURA 3

Mapa de procesos costeros e hidrológicos de la Laguna de Términos.

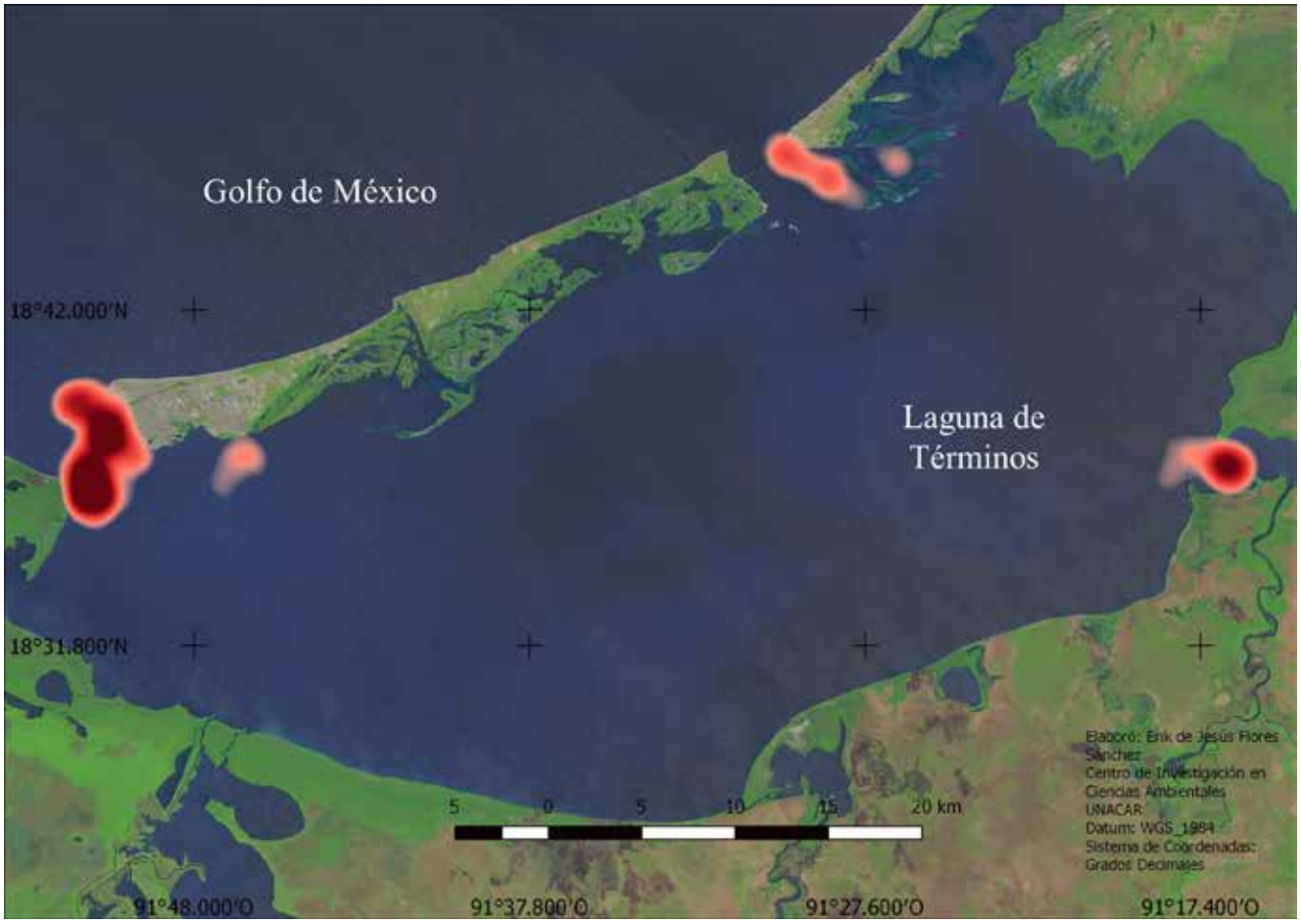


Elaborado por el doctor Gregorio Posadas Vanegas, participante del proyecto EPOMEX, Universidad Autónoma de Campeche.

Los instrumentos de acopio de información y datos en los asentamientos humanos se diseñaron *ex profeso* para capturar la percepción de riesgo, vulnerabilidad y amenaza ante eventos naturales. En particular se consideró el índice de vulnerabilidad socioambiental (IVSA), que integra variables de los componentes social, ambiental y económico.

FIGURA 4

Mapa preliminar de distribución preferente de toninas *Tursiops truncatus* de la Laguna de Términos.



Datos: Doctor Alberto Delgado Estrella. Elaboración: Erik Sánchez Flores, alumno de la maestría en Ciencias en Restauración Ecológica.

Resultados

¿Qué se tiene hasta ahora?

Uno de los productos basales es un sistema de información geográfica (SIG) elaborado a partir de imágenes de satélite Sentinel2 y Landsat8 con resolución de 10 metros para el polígono del Área Natural de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos. Un primer mapa integra las capas de cuencas hidrológicas, vegetación, poblados, cuerpos de agua, accesos, uso de suelo y otros rasgos geográficos conspicuos (FIGURA 3).

Los mapas resultantes y capas del SIG son el insumo central para la elaboración de un diseño de muestreo detallado que se empleará para el acopio de datos en la segunda etapa del proyecto (agosto 2017-julio 2018). El diseño está en proceso, a cargo de los investigadores que integran el grupo de trabajo, dividido en tres componentes: ecológica, ambiental y social.

Apoyan al grupo de trabajo alumnos de la maestría en Ciencias en Restauración Ecológica que realizan sus investigaciones de tesis sobre temas relacionados con el proyecto. De esta forma se garantiza el cumplimiento de los objetivos y productos tanto de las tesis como del proyecto y se pone especial énfasis sobre la obtención de otros productos científicos y académicos concretos (mapas, modelos, bases de datos, artículos científicos, libros, material de divulgación y presentaciones).

Hasta el momento se cuenta con bases de datos de especies, ecosistemas y variables ambientales y climáticas, organizadas y procesadas para integrarlas como capas del SIG y en los programas específicos de modelación en la última etapa del proyecto (FIGURA 4).

La búsqueda de datos continúa, incorporando información de forma organizada y sistemática para facilitar su posterior análisis. Se han hecho viajes prospectivos de campo para describir y delimitar lo mejor posible las rutas y puntos de muestreo, además de otros elementos del diseño como la escala, intervalos entre sitios, criterios de selección y métodos e instrumentos de acopio de datos.

Usuarios potenciales de resultados y productos

La Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) –particularmente el Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos– es un usuario evidente de productos concretos como modelos de distribución de especies prioritarias, análisis espacial de disponibilidad de hábitat y delimitación de áreas y poblados vulnerables a eventos hidrometeorológicos.

Otros productos transferibles a SEMARNAT y dependencias como CONABIO, INECC y CONANP son: el SIG actualizado del área natural protegida (ANP); los modelos predictivos de distribución de especies para ser incorporados a los programas de adaptación al cambio climático –ECCAP y ENCC–, y los mapas y análisis de vulnerabilidad, amenaza y riesgo para las poblaciones humanas de la región y otras variables complementarias.

Se espera que los productos descritos puedan ser aplicados por los tomadores de decisiones en el diseño de planes de manejo y adaptación.

Bibliografía

Bravo Cadena, J., Sánchez Rojas, G., y Gelviz-Gelvez, S.M. (2011). *Estudio de la distribución de las especies frente al cambio climático*.

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (2016). Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.

Peterson, A.T., Ortega Huerta, M.A., Bartley, J., Sánchez Cordero, V., Soberón, J., Buddemeier, R.H., & Stockwell, D.R. (2002). Future projections for Mexican faunas under global climate change scenarios. *Nature* 416(6881), 626-629.

Witt, M.J., Hawkes, L.A., Godfrey, M.H., Godley, B.J., & Broderick, A. C. (2010). Predicting the impacts of climate change on a globally distributed species: the case of the loggerhead turtle. *Journal of Experimental Biology* 213(6), 901-911.

Vulnerabilidad del sistema socioambiental del Golfo de Ulloa ante escenarios de cambio climático

César A. Salinas-Zavala[1]
RESPONSABLE TÉCNICO

María Verónica Morales Zárate[a]
Raúl Octavio Martínez Rincóna[a,b]
Ismael Sánchez Brito[a]

[1] Biólogo Marino por la UABCS, Maestro en Ciencias por la UNAM y Doctor en Ciencias en Ecología Marina por el CICESE. SNI-II. Miembro regular de la Academia Mexicana de Ciencias. Ha publicado más de cien artículos científicos. Actualmente trabaja en el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C., donde participa en el posgrado en Uso, Manejo y Conservación de Recursos Naturales, participando en las cátedras de Ecología y Ecología Marina. Ha dirigido ocho tesis de licenciatura, ocho de maestría y siete de doctorado.

[a] Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

[b] Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

RESUMEN

Se investiga la vulnerabilidad social de pescadores del Golfo de Ulloa, BCS, con un forzamiento social –políticas públicas restrictivas a la pesca– y otro ambiental: el cambio climático. Se trata de un estudio socioambiental dirigido a proponer medidas que ayuden a mitigar el conflicto entre la pesca comercial y la protección de la tortuga amarilla.

PALABRAS CLAVE

vulnerabilidad social; pesquerías; políticas públicas

Introducción

La construcción del concepto de vulnerabilidad social transita entre disciplinas y representa un avance por construir nuevas categorías de análisis para entender las causas y síntomas de las consecuencias sociales ante forzamientos externos. Además de su importancia teórica, tiene relevante valor político, por ser la base operativa para el diseño de medidas sociales y de desarrollo regional.

En su revisión sobre el concepto de vulnerabilidad social, Soares y Gutiérrez (2012), basadas en las conceptualizaciones anteriores, mencionan que no hay consenso. En este proyecto la vulnerabilidad social se define como una medida integrada de la magnitud que cabe esperar de los efectos adversos en un sistema, provocado por estresores externos, a saber: sociales y ambientales.

Definición del problema

En mayo de 2015 se decretó que el Golfo de Ulloa (FIGURA 1) se convirtiera en refugio pesquero (*DOF* 2015) debido a la interacción entre la actividad pesquera ribereña con la población de tortuga amarilla *Caretta caretta* (FIGURA 2). La pesca se restringió por dos años y, con ello, la principal actividad productiva en la región.

FIGURA 1

Localización del Golfo de Ulloa en Baja California Sur.

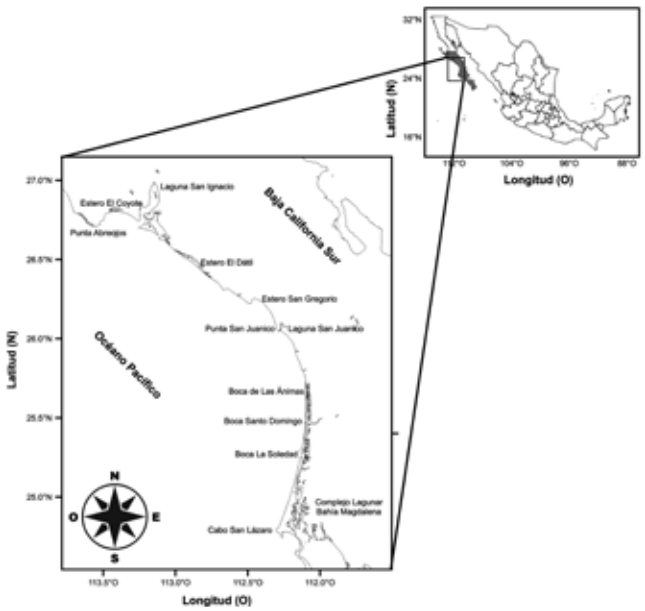
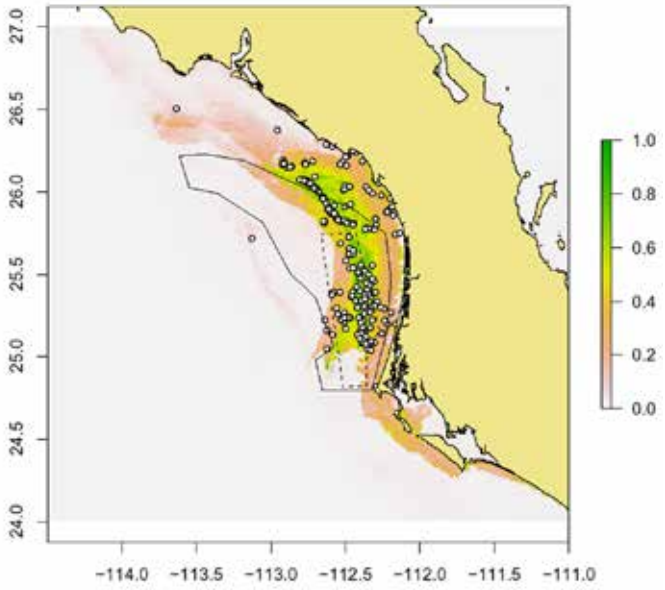


FIGURA 2

Sitios de interacciones entre la flota ribereña y las tortugas amarilla y prieta, jun-2015 a jul-2016.



Las autoridades ambientales estatales, encabezadas por SEMARNAT, CONANP y PROFEPA, convocaron a una reunión para conocer las investigaciones vigentes en el Golfo de Ulloa, dado el problema de amenaza de embargo pesquero y los problemas sociales que se gestaban a raíz de las restricciones para la pesca (FIGURA 3). En total fueron tres proyectos, dos por parte de la UABCS y el presente proyecto del CIBNOR.

FIGURA 3

Izquierda: reuniones llevadas a cabo con las autoridades ambientales en BCS. Derecha: Pescadores ribereños del Golfo de Ulloa.

Planteamiento y desarrollo de la investigación

Este proyecto analiza el sistema socioambiental acoplado entre el Centro de Actividad Biológica (CAB)[2] del Golfo de Ulloa y la sociedad formada por los pescadores bajo escenarios de cambio climático; define la línea basal de las interacciones (sin pesca ribereña), la evolución de las medidas de mitigación sobre la dinámica trófica del CAB (incluyendo a la tortuga amarilla) y la vulnerabilidad social. El proyecto se ha estructurado en cuatro etapas: preparación (seis meses); acopio de datos (doce meses); análisis y modelación (seis meses), e integración (seis meses), para concluir en septiembre de 2018.

Principales resultados de la investigación

Metas alcanzadas al término de la primera etapa del proyecto: Meta 1

Obtención de la información base para iniciar las actividades. De agosto a noviembre del 2016 se tomaron datos biológicos de tortugas marinas en el Golfo

[2] BAC, *Biological Action Center*, en inglés.

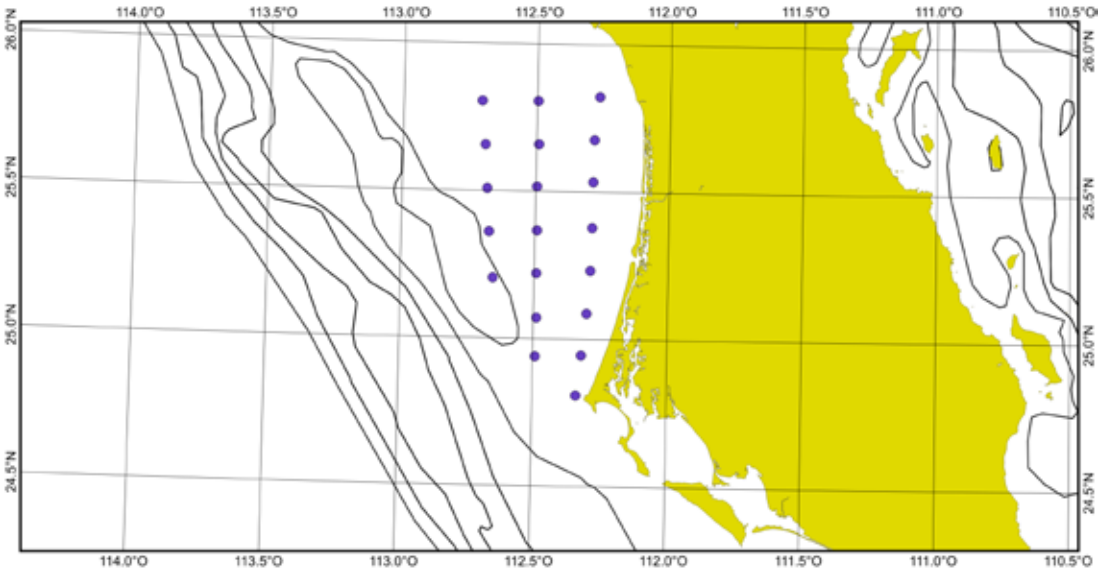
de Ulloa (FIGURA 4). Por otra parte, se realizó un crucero de prueba a bordo del BIP XII en la zona del Golfo de Ulloa, siguiendo el derrotero para la caracterización del CAB del Golfo de Ulloa (FIGURA 5).

FIGURA 4

Actividades realizadas durante el trabajo de campo.

FIGURA 5

Derrotero de cruceros para la caracterización del CAB del Golfo de Ulloa.



Meta 2

Se trata del diseño del SIG para el análisis de la información espacial. Se empleará para ello la plataforma de Quantum GIS (QGIS) de código abierto y alta interoperabilidad. Esta característica es importante, ya que el proyecto modelará un sistema complejo y utilizará diferentes plataformas; entre ellas, R, Stella, Ecopath, PostGis y Grass.

Meta 3

Consiste en crear los instrumentos de encuesta para las comunidades pesqueras. Se diseñó una encuesta *ex profeso* que consta de 59 reactivos en tres secciones: aspectos generales y socioeconómicos; actividad pesquera y percepción sobre el establecimiento de la zona de refugio pesquero, y aspectos de variabilidad ambiental.

Sobre la base de 1,270 pescadores se calculó que la muestra mínima representativa es de 174 encuestas, estratificada en 23 localidades. Se han establecido ya las estrategias de operación y rutas de recorrido para levantar la información durante la segunda etapa del proyecto.

Meta 4

Se refiere a la obtención de información oficial de las dependencias de gobierno. Se cuenta con la base de datos del programa de los Asistentes Técnicos Abordo (ATB), con información de CONAPESCA referente a los censos de artes de pesca, embarcaciones y pescadores de las comunidades del Golfo de Ulloa. También se cuenta con los avisos de arribo de 2010 a 2016, así como la información de varamientos de tortugas marinas en el Golfo de Ulloa de PROFEPA.

Meta 5

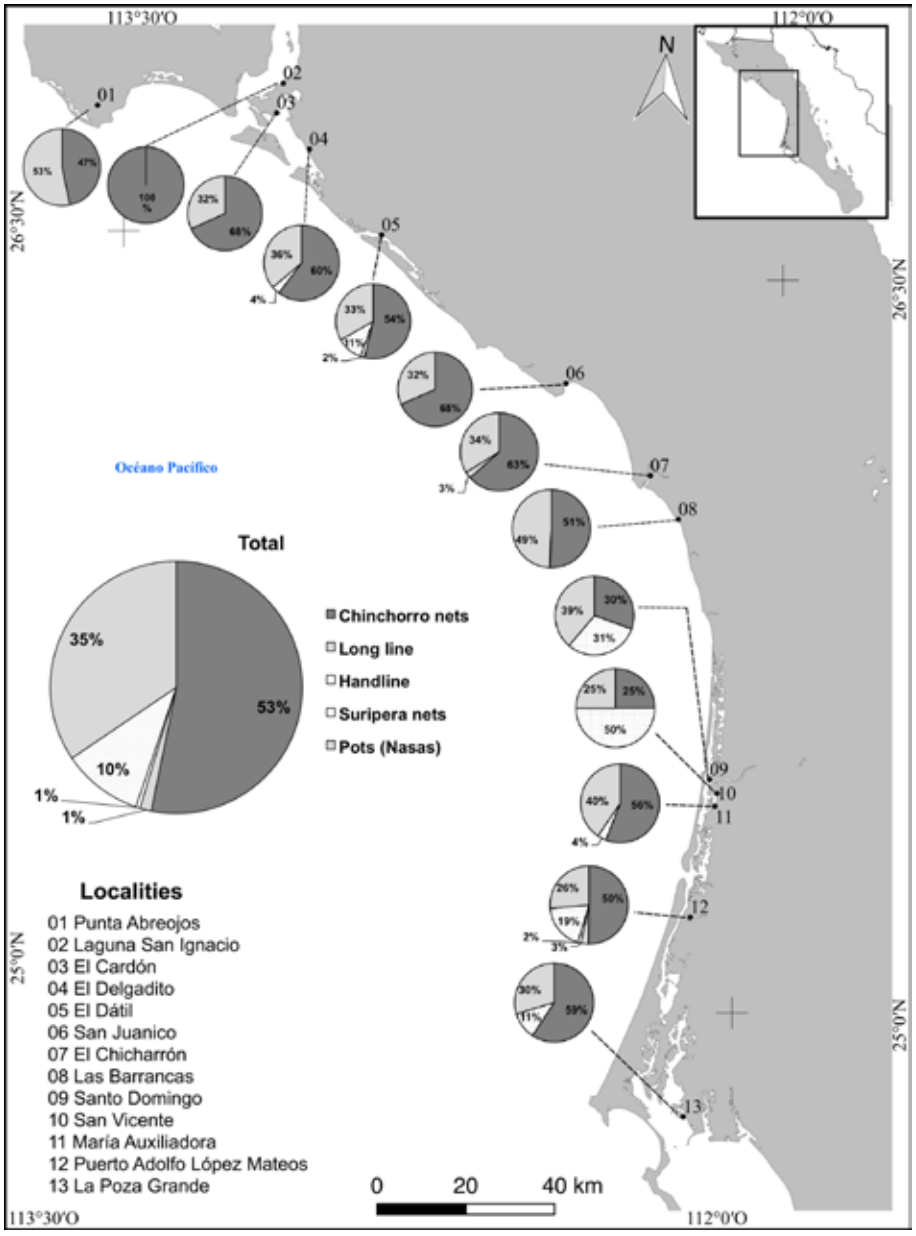
Actualizar la información operacional y organizacional (bases de datos) de pescadores artesanales, unidades de pesca (embarcaciones menores) y equipos de pesca del Golfo de Ulloa. El análisis de datos proporcionado por CONAPESCA muestra que se tiene registro de 614 embarcaciones, 1,270 pescadores y 15,613 artes de pesca, en 27 localidades. Se encontraron cuatro diferentes tipos de pescadores: socio, trabajador temporal, libre o permisionario (FIGURA 6).

Potencial de aprovechamiento

El producto de esta investigación está dirigido a las autoridades ambientales y pesqueras del país, con las que se ha tenido estrecho vínculo desde el inicio del proyecto, particularmente con SEMARNAT, PROFEPA, CONAPESCA y CONANP.

FIGURA 6

Número de artes de pesca por localidad pesquera en el Golfo de Ulloa.



Bibliografía

Diario Oficial de la Federación, 2015. ACUERDO por el que se establece una zona de refugio pesquero y medidas para reducir la posible interacción de la pesca con tortugas marinas en la Costa Occidental de Baja California Sur, 10 de abril de 2015.

Soares, Denise, e Isabel Gutiérrez, 2012. Vulnerabilidad social, institucionalidad y percepciones sobre el cambio climático: un acercamiento al municipio de San Felipe, Costa de Yucatán. *Ciencia ergo sum* vol. 18-3, noviembre 2011-febrero 2012. Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México, pp. 249-263.

Isótopos estables y diversidad de peces en Laguna de Términos: indicadores del cambio climático

Yassir Edén Torres Rojas[1]
RESPONSABLE TÉCNICO

Domingo C. Flores Hernández[a]
Francisco Gómez Criollo[a]
Ceila J. Concepción Pérez[b]
Miguel Ángel Rosas Arévalo[b]
Sergio Aguiñiga García[c]
Alberto Sánchez González[c]
José Manuel Dorantes Hernández[d]

[1] SNI-I. Doctorado en Ciencias Marinas por el IPN, con especialidad en estudios ecológicos de organismos marinos y su relación con el cambio climático. Actualmente desarrolla proyectos en el Instituto de Ecología, Pesquerías y Oceanografía de la Universidad Autónoma de Campeche, en colaboración con el Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del IPN y el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM, enfocando sus esfuerzos en el estudio de los impactos generados en Laguna de Términos por el cambio climático.

[a] Instituto de Ecología, Pesquerías y Oceanografía, Universidad Autónoma de Campeche (UAC).

[b] Facultad de Ciencias Químico-Biológicas, UAC.

[c] Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional.

[d] Universidad Autónoma Metropolitana.

RESUMEN

Los resultados preliminares indican una disminución en la diversidad de peces en Laguna de Términos en los diez últimos años, probablemente asociada a variaciones en la temperatura y salinidad, provenientes de una alteración en el balance entre los aportes marinos y de ríos provocada por el cambio climático y algunas actividades antrópicas.

PALABRAS CLAVE

isótopos estables; ictiofauna; lagunas costeras; ANP; Campeche; ecología

Introducción

Entre los mayores retos del presente se cuenta el análisis de los posibles efectos ecológicos y sociales asociados al cambio climático, que provoca alteraciones estructurales y funcionales en los ecosistemas. En el mundo entero se ha establecido la necesidad de investigar el impacto que el cambio climático ya está generando en ecosistemas terrestres y marinos, para contar con una línea basal

de vulnerabilidades frente al fenómeno y, en consecuencia, diseñar políticas públicas de adaptación y mitigación.

En el caso específico de los ecosistemas marinos nacionales, el trazo de una línea basal relativa al cambio climático permitirá analizar las vulnerabilidades de las diferentes áreas presentes en las costas mexicanas, y entre ellas las áreas naturales protegidas (ANP) que cumplen funciones críticas en la conservación y recuperación de algunas poblaciones de especies marinas sobreexplotadas o en peligro de extinción. En el estado de Campeche se han establecido tres de ellas para la protección y conservación de algunos recursos marinos. Destaca Laguna de Términos, el sistema lagunar costero de mayor volumen y extensión del país, identificado como una unidad ecológica de vital importancia para la biodiversidad y la economía regional y estatal, por lo que se considera como crítico para efecto de su protección y monitoreo (Ramos Miranda *et al*. 2006).

Laguna de Términos (FIGURA 1) se caracterizaba por alojar alrededor de 300 especies, entre ellas algunas de importancia comercial. Sin embargo, en los 30 últimos años se ha registrado un descenso en la riqueza y abundancia de ciertas especies (*DOF* 2012), provocado por cambios en las fuentes orgánicas de carbono, por productores primarios y de la ictiofauna dominante, probablemente relacionados con una alteración en el balance entre los aportes marinos y de ríos y las consecuentes variaciones en la temperatura y salinidad, todo ello derivado del cambio climático y de alteraciones antrópicas (Arreguín Sánchez *et al*. 2008; Fichez *et al*. 2017).

FIGURA 1

Laguna de Términos.

(Google Maps.)

Lo anterior conlleva una alteración de la diversidad, ya que algunas especies modifican sus ciclos de vida en función de la tolerancia que tengan a cambios de temperatura y salinidad. Ocurre lo mismo con las necesidades fisiológicas, cuyas alteraciones se reflejan en la disponibilidad y abundancia de las poblaciones. Surge, entonces, la necesidad de monitorear, investigar y determinar si los cambios en la disponibilidad y abundancia de la ictiofauna en Laguna de Términos están relacionados con el cambio climático y, de ser así, qué escenarios se visualizan para estas pesquerías a corto, mediano y largo plazo.

Planteamiento y desarrollo de la investigación

Una manera de comprobar el impacto del cambio climático en las variaciones de especies es mediante la composición isotópica ($\delta^{18}O$ y $\delta^{13}C$) del carbonato de calcio depositado en los otolitos (FIGURA 2), ya que provee información sobre la biología, fisiología de los peces y las condiciones ambientales en las que habitan. Los cambios en los valores de $\delta^{18}O$ y $\delta^{13}C$ presentes en otolitos representan una marca natural para detectar alteraciones de temperatura (de frío a caliente o viceversa) y de la distribución del recurso ($\delta^{13}C$; de estuario a mar) como resultados de la presencia de fenómenos ambientales como el cambio climático (Elsdon *et al.* 2008).

FIGURA 2

Otolito.

Para lograr lo anterior se optó por realizar estudios sobre la diversidad de especies presentes en los 30 últimos años en Laguna de Términos (FIGURA 3) y se procedió a la elección de cuatro especies de peces como indicadoras de impacto del cambio climático: *Cathorop melanopus*, *Eugerres plumieri*, *Bairdiella chrysoura* y *Sterllifer lanceolatus*. Tal selección obedeció a las razones siguientes:

1 Son especies bentónicas-demersales de vida relativamente corta; todo su desarrollo ontogénico está relacionado con la Laguna de Términos, lo que reflejará los cambios del área, si los hay;

2 su presencia durante todo el año en las pesquerías del área permitirá contrastar la señal isotópica entre temporadas (secas *vs* lluvias *vs* nortes) de tres décadas diferentes (1996, 2006 y 2016), lo que dará la pauta para corroborar si efectivamente ha existido un cambio en la temperatura del área de estudio, y

3 dado que Laguna de Términos se divide en cuatro zonas, cada especie elegida es representativa de una de ellas:

a) *Cathorop melanopus* se distribuye principalmente al sureste de la laguna;
b) *Eugerres plumieri* en el interior de la isla del Carmen;
c) *Bairdiella chrysura* en la parte estuarina-marina, y
d) *Sterllifer lanceolatus* en un hábitat marino.

FIGURA 3

Selección de especies indicadoras.

La aplicación de isotopos estables ($\delta^{18}O$ y $\delta^{13}C$) en otolitos de peces (especies indicadoras de cambios ambientales) distribuidos de manera diferencial en las cuatro zonas de Laguna de Términos de los últimos 30 años permitirá determinar:

1 La posible modificación de los patrones de distribución de las cuatro especies;
2 la influencia de la temperatura en el crecimiento de peces de la región, y
3 el posible incremento en la temperatura en Laguna de Términos.

Es información necesaria para el desarrollo de modelos que pronostiquen los posibles cambios en las estructuras tróficas y funcionamiento de los ecosistemas de las costas mexicanas y para el diseño de políticas públicas de adaptación y mitigación ante cambio climático.

Principales resultados de la investigación

Como resultados preliminares relacionados con los datos abióticos, se observa que la temperatura presenta una tendencia creciente durante los veinte últimos años. Los registros del presente trabajo (2016) son mayores que los reportados por Ramos Miranda *et al*. (2006) para 1998 (TABLA 1). De igual manera, en el caso de la salinidad se observa una mayor variación respecto de los valores mínimos y máximos registrados, lo cual indicaría cambios en los aportes de agua marina y de ríos en los veinte últimos años, tal y como lo plantean Fichez *et al*. (2017), probablemente relacionados con el cambio climático e impactos antrópicos.

TABLA 1

Análisis comparativo (1998 vs 2016) de temperatura y salinidad superficial de Laguna de Términos

Estudio	Secas		Lluvias		Nortes	
	Temperatura	Salinidad	Temperatura	Salinidad	Temperatura	Salinidad
Presente estudio (2016)	28-30	25-35	30-32	25-35	27-30	25-35
Ramos Miranda *et al.* (2006)	27-28	24-33	28-29	28-33	25-28	19-22

(Secas = febrero a mayo. Lluvias = junio a septiembre. Nortes = octubre a enero)

A partir de los muestreos biológicos se puede indicar la presencia de 91 especies con una abundancia de 6,131 ejemplares y una biomasa de 117,165 kg. Se identificaron crustáceos, elasmobranquios, equinodermos y cefalópodos (entre otros moluscos) (TABLA 2). Al comparar los resultados del presente estudio con los obtenidos por Ramos Miranda *et al.* (2006), que reportan 107 especies, se observa una disminución en el número de especies registradas en un periodo de diez años.

TABLA 2

Número de especies obtenidas en los muestreos realizados en Laguna de Términos durante 2016-2017

Crustáceos	Elasmobranquios	Equinodermos	Moluscos	
			Cefalópodos	Otros
941 ejemplares	10 ejemplares	1 ejemplar	34 ejemplares	2 ejemplares
14 especies	5 especies	1 especie	2 especies	2 especies

Otros resultados comparables son las tallas de los organismos, en las que se observa una disminución en un periodo de diez años (TABLA 3).

TABLA 3

Tallas mínimas y máximas de las especies estudiadas

Especie	Talla (cm)		Fuente
	Mínima	Máxima	
Bairdiella chrysoura	2.8	18	Presente estudio
	1.8	27	Ramos Miranda
Sterllifer lanceolatus	2.0	8.0	Presente estudio
	2.9	19.0	Ramos Miranda
Eugerres plumieri	18.1	20.9	Presente estudio
	4.3	30.2	Ramos Miranda

Por último, la diversidad de especies ha sido menor que la registrada en años anteriores: se observan valores promedio de 1.69 en contraste con los valores de 2.96 que se observaban hace una década.

Potencial de aprovechamiento

Los resultados son de relevancia para el sector académico y social, ya que gran cantidad de personas del sureste de México dependen de manera directa e indirecta de las lagunas costeras. A partir de la generación de información basada sobre un monitoreo continuo para la evaluación del impacto del cambio climático en el sistema lagunar más grande del país, con gran variedad de factores bióticos y abióticos, será viable establecer los escenarios futuros para otras lagunas costeras dentro del territorio nacional, lo que a su vez permitirá generar modelos predictivos a mediano y largo plazo y reforzar la teoría sobre la existencia del fenómeno, ante la incredulidad que priva en el ámbito de la política internacional.

Bibliografía

Arreguín Sánchez F., M. Ramírez Rodríguez, M.J. Zetina Rejón, and V.H. Cruz Escalona. (2008). Natural Hazards, Stock Depletion, and Stock Management in the Southern Gulf of Mexico Pink Shrimp Fishery. American Fisheries Society Symposium 64:419-428.

DOF (2012). Acuerdo por el que se da a conocer la actualización de la carta nacional pesquera, publicado el 24 de agosto de 2012. *Diario Oficial de la Federación*.

Elsdon, T.E., B.K. Wells, S.E. Campana, S.R. Thorrold, and B.D. Walther. (2008). Otolith chemistry to describe movements of life-history parameters of fishes: hypotheses, assumptions, limitations and inferences. *Ocean. Mar. Biol.* 46(1): 297-330.

Fichez, R., Archundia, D., Grenz, C., Douillet, P., Gutiérrez Mendieta, F., Origel Moreno, M., Denis L., Contreras-Ruiz Esparza, A., Zavala-Hidalgo, J. (2017) Global climate change and local watershed management as potential drivers of salinity variation in a tropical coastal lagoon (Laguna de Terminos, Mexico) *Aquat Sci* 79: 219-230.

Ramos Miranda, J., D. Flores Hernández, L.A. Ayala Pérez, J. Rendon Von Osten, G. Villalobos Zapata, and A. Sosa López. (2006). *Atlas hidrológico e ictiológico de la Laguna de Términos*. Universidad Autónoma de Campeche, 173 pp.

Recubrimiento sustentable a base de fibras naturales para muros interiores de viviendas

Yolanda Guadalupe Aranda Jiménez[1]
RESPONSABLE TÉCNICA

Edgardo J. Suárez Domínguez[2]

[1] Egresada del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Doctorado en Arquitectura con énfasis en vivienda, Universidad Autónoma de Tamaulipas, 2010. SNI-I. Línea de investigación: construcción con tierra. Responsable técnica de varios proyectos de investigación. Cuenta con diversos artículos indexados y participación en congresos internacionales.

[2] Universidad Autónoma de Tamaulipas.

RESUMEN

El proyecto pretende desarrollar material de recubrimiento para muros interiores. La primera etapa se dedicó a la caracterización de la planta y de la fibra de ixtle para verificar la factibilidad de usarla como componente del recubrimiento o mortero sustentable. Se documentó la adaptación de la planta al nuevo hábitat. En la segunda etapa se desarrollará el recubrimiento.

PALABRAS CLAVE

agave lechuguilla; ixtle; recubrimiento sustentable; caracterización

Introducción

Los materiales que emplea la industria de la construcción –acero y cemento entre ellos– provienen de procesos de fabricación con elevado consumo de energía y que emiten grandes cantidades de CO_2 al medio ambiente. La tendencia a emplear materiales sustentables, naturales y de bajo impacto ambiental es cada vez mayor (2009 fue declarado Año Internacional de las Fibras Naturales).

La lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr. 1859)[3] es una angiosperma, monocotiledónea, de la subfamilia agavoideas y la familia asparagáceas. La planta se

[3] John Torrey (1796-1873), médico y botánico estadounidense. *Report on the United States and Mexican Boundary Survey, Made Under the Direction of the Secretary of the Interior,* Nueva York, 1859.

distribuye a lo largo de la franja desértica entre Estados Unidos y México: Arizona (Desierto de la Lechuguilla), Sonora y especialmente el Desierto Chihuahuense. De los brotes de las hojas, denominados cogollos, se obtiene el ixtle, fibra con la cual se hacen diversos productos artesanales.

Miranda y Hernández (2013) establecen una correlación entre el clima y los tipos de vegetación en México. La lechuguilla es de clima subtemplado árido o muy árido, por lo que era importante para este proyecto determinar la adaptación de la planta al clima subtropical húmedo, que corresponde al de Tampico, Tamaulipas.

La fibra del ixtle se ha empleado para artesanías durante largo tiempo, pero no se ha explotado todo el potencial de la planta; este proyecto arquitectónico pretende utilizar la fibra como uno de los componentes que integran un recubrimiento para muros interiores.

Planteamiento y desarrollo

La primera etapa comenzó por la búsqueda y análisis de información para caracterizar el material, establecer el cultivo, sostenerlo, obtener la fibra y finalmente aplicarla. Entre los datos acopiados y las pruebas previstas se consideraron los siguientes temas:

1. Azúcares reductores presentes;
2. hidrólisis ácida;
3. pH;
4. procesos de fermentación (Kadole, P. y Hulle, A. 2014);
5. biodegradabilidad;
6. porosidad y densidad de la fibra;
7. porcentaje de humedad y de absorción de agua;
8. pruebas microbiológicas, y
9. pruebas térmicas.

Discusión y resultados de la primera etapa

Para el desarrollo de la primera etapa se consultaron diferentes referencias especializadas a partir de 2013.

Se procedió a la localización de la planta en los municipios de Jaumave y Tula, Tamaulipas, y se tomó una muestra de 50 especímenes maduros y 50 jóvenes, para trasplantarlos a los terrenos posteriores de la Facultad de Arquitectura, Di-

seño y Urbanismo, en el Campus Universitario Sur de la Universidad Autónoma de Tamaulipas (UAT). Se analizó el suelo y a partir de la concentración de nutrientes reportados se dosificaron las concentraciones necesarias de iones para optimizar el crecimiento de la planta por medio de fertilización.

Una vez que las plantas se adaptaron a su nuevo hábitat, pasados seis meses se practicó el corte de los cogollos, de los que se extrajo la fibra, bajo la supervisión de dos expertos. Esta labor se convirtió en taller y se aprovechó para la formación de recursos humanos. Se invitó a los alumnos de la UAT, con referencia directa a los productos que se obtienen del ixtle y su aplicación en la arquitectura (FIGURA 1).

FIGURA 1

Izquierda: plantación de *Agave lechuguilla* Torr. en las instalaciones universitarias. Centro y derecha: taller de fibras naturales para la transferencia de conocimiento y formación de recursos humanos.

Fotos de Yolanda Aranda.

De las características encontradas en la fibra de ixtle para su uso en la construcción se determinó que:

- Resistió la biodegradación durante los seis meses de estudio, sin encontrarse modificaciones en las características físicas.
- Presenta una baja porosidad.
- Es resistente a los ambientes ácidos o alcalinos.
- No desarrolló hongos.
- Presenta alta resistencia a la tensión:
  Esto indica una estabilidad mayor a los cambios por temperatura de contracción y dilatación, dado que los cambios volumétricos inducidos por la variación de temperatura generan esfuerzos de tensión y compresión en el material compuesto, y la fibra tiene el propósito de absorber dichos esfuerzos y así reducir el agrietamiento.

Los materiales que integrarán este recubrimiento serán: suelo arcilloso, estabilizantes naturales y la fibra, que se integra a los otros materiales para evitar agrietamientos.

Se presentaron dos posibles estabilizantes para la siguiente etapa. Ambos son compatibles con el ixtle y con los sólidos que se utilizarán en la etapa dos, que también son naturales, a base de sábila y nopal.

La sustentabilidad comprende varios aspectos: el económico, el social y el ambiental. Al establecer un círculo desde el suministro de los insumos, como son los agaves, se crearían fuentes de empleo alternas, en lo que corresponde a la parte social y a la económica. Se pretende que tanto los materiales que lo componen como su elaboración sean fácilmente asequibles, y el recubrimiento para muros se pueda elaborar por las mismas personas que lo utilicen. Se disminuyen las emisiones de CO_2 al medio ambiente al hacerlo libre de cemento y de fibras artificiales, y los residuos son biodegradables.

En la segunda etapa del proyecto se implementará el ciclo de vida del recubrimiento y sus componentes, se fabricará el mortero y se construirá un espacio donde el material se aplicará en los muros para comprobar durabilidad y comportamiento.

Conclusiones de esta primera etapa

Se acopió la información más reciente acerca de la planta y las fibras. Asimilar ese conocimiento condujo a una correcta plantación, fertilización y cultivo.

El monitoreo de las muestras comprobó que los especímenes de lechuguilla se adaptaron a las condiciones climáticas de su nuevo hábitat, pasando de un clima árido semiseco a uno subtropical húmedo, sin problemas de crecimiento y reproducción.

Se caracterizó la fibra, que presentó alta resistencia a la degradación y compatibilidad con los componentes utilizados en la construcción.

Se cumplieron con éxito los hitos presentados al inicio del proyecto y será posible continuar a la siguiente etapa para la elaboración del recubrimiento sustentable a base de ixtle y tierra estabilizada.

Bibliografía

Kadole, P., Hulle, A. (2014). *Agave Americana Fibres, extraction, characterization and applications.* Germany: Lap Lambert Academic Publishing.

Miranda, F., Hernández-X., E. (2014). *Los tipos de vegetación de México y su clasificación.* México: Ediciones Científicas Universitarias.

Narcia, V. (2006). *Turno técnico de la lechuguilla* (Agave lechuguilla Torr.) *en cuatro localidades del noreste de México*. U. Coahuila.

Programa de innovación científica dentro de la actividad pesquera en Bahía Magdalena, BCS

Juan José Cota Nieto[1]
RESPONSABLE TÉCNICO

[2]Victoria Jiménez Esquivel[a]
Ismael Mascareñas Osorio[a]
Dayana Méndez Espinoza[a]
Octavio Aburto Oropeza[b]
Catalina López Sagastegui[c]

[1] Licenciatura de Biología Marina por la Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS). Tiene experiencia en la compilación de bases de datos, monitoreo subacuático de ecosistemas marinos y monitoreo de pesquerías. Es el principal enlace entre científicos y pescadores en los programas de pesca en áreas de humedales como Bahía Magdalena-Almejas y Punta Abreojos (BCS), en el Océano Pacífico y el Golfo de Santa Clara (Sonora), San Felipe (BC), Isla Espíritu Santo y La Partida (BCS), en el Golfo de California.

[2] [a] Centro para la Biodiversidad Marina y la Conservación A.C. [b] Scripps Institution of Oceanography, University of California, San Diego. [c] UCMexus, University of California Institute for Mexico and the United States.

RESUMEN

Bahía Magdalena es uno de los ecosistemas lagunares con mayor biodiversidad y atractivo ecoturístico y pesquero de Baja California Sur, por lo que es necesario incrementar la investigación en esta zona para describir la dinámica espacial y temporal de las pesquerías más importantes de la región.

PALABRAS CLAVE

actividad pesquera; especies marinas; Baja California Sur; Bahía Magdalena-Almejas.

Introducción

Los ecosistemas marinos que rodean la península de Baja California se caracterizan por una gran abundancia y riqueza de especies de importancia cultural y comercial (Erisman *et al.* 2010). Sin embargo, el deterioro ambiental es visible tanto en el Golfo de California como en las costas del Pacífico, siendo el daño a ecosistemas críticos, como los bosques de manglar y la sobreexplotación de especies comercialmente importantes, las pérdidas más sobresalientes (Cartamil *et al.* 2011).

La mayor parte de la producción pesquera de BCS, que proviene de Bahía Magdalena-Almejas, ha disminuido en los diez últimos años y esto ha provocado caídas en la rentabilidad de la actividad y en la economía local (Ojeda Ruiz y Ramírez 2012). En esta región hay un conflicto entre el sector pesquero y la conservación, debido al alto valor de las especies que se aprovechan y a la presencia de especies prioritarias, como las tortugas marinas y hábitats de manglar. Es fundamental entender la relación que media entre los usuarios de los recursos, el mercado, el sistema pesquero y las especies que forman el ecosistema, para garantizar que el desarrollo social vaya de la mano con estrategias que aseguren la sustentabilidad de los recursos naturales a largo plazo (Jentoft *et al.* 1998; Berkes 2009).

Planteamiento y desarrollo de la investigación

Es necesario llenar huecos en la información acerca de la actividad pesquera. Desde 2012, el Centro para la Biodiversidad Marina y la Conservación A.C. (CMBC) [3] trabaja con las comunidades del Complejo Lagunar Bahía Magdalena-Almejas en el desarrollo de un programa de monitoreo pesquero con la participación de los pescadores. El uso de tecnologías como rastreadores del Sistema de Posicionamiento Global (GPS por sus siglas en inglés) es crucial para generar datos pesqueros actualizados a una escala fina, de detalle.

Principales resultados de la investigación

Compilación de información pesquera

Según datos de CONAPESCA (2001-2015), la flota ribereña aprovecha 121 recursos en el complejo lagunar. En Puerto Adolfo López Mateos se aprovechan 91 recursos que representan 75.2% del total en el complejo; en Puerto San Carlos, 119 recursos (98.3%), y en Puerto Chale, 80 recursos (66.11%). Se estimó la importancia de los recursos respecto a sus capturas al 70%, ya que se trata de pesquería multiespecífica y esto dificulta el análisis (TABLA 1). Se identificó y describió la posible interacción entre la actividad pesquera y la formación de agregaciones de reproducción de especies objetivo. Se investigó si, durante ese periodo reproductivo, las capturas son significativamente más altas en comparación a las registradas el resto del año. Se analizaron los recursos cuyas capturas registradas durante la temporada reproductiva representaran de 50% a 67% de las capturas totales. La información sobre las temporadas reproductivas se obtuvo de investigaciones

[3] Por Center for Marine Biodiversity and Conservation, de la Scripps Institution of Oceanography, San Diego, California. https://scripps.ucsd.edu/centers/cmbc/

publicadas y de muestras observadas en campo. Se encontró que para tres recursos (botete, lisa y huachinango) la mayoría de capturas pesqueras coinciden con las épocas en las que forman agregaciones de reproducción (TABLA 2).

TABLA 1

Composición de capturas del complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas de 2001 a 2015, organizado por recurso, captura y ganancia económica

Puerto Adolfo López Mateos				
Recurso	**Captura promedio anual (ton)**	**Ganancia promedio (mdp*)**	**Captura (%)**	**Ganancia (%)**
Verdillo	232.17	$0.97	13.06	5.31
Catarina	230.78	$1.22	12.98	6.66
Cazón	127.94	$1.10	7.20	5.99
Sierra	86.28	$0.76	4.85	4.13
Tiburón	84.60	$0.74	4.76	4.06
Manta	65.02	$0.41	3.66	2.25
Pámpano	60.85	$0.41	3.66	2.25
Pata de mula	60.78	$0.18	3.42	1.70
Cabicucho	58.00	$0.59	3.26	3.22
Tiburón azul	52.34	$0.31	2.94	1.68
Lenguado	46.46	$0.76	2.61	4.18
Ronco	45.80	$0.21	2.58	1.17
Bocadulce	44.88	$0.21	2.52	1.14
Jaiba	44.11	$0.61	2.48	3.32
Total	**1240.01**	**$8.48**	**69.98**	**47.06**

Puerto San Carlos				
Recurso	**Captura promedio anual (ton)**	**Ganancia promedio (mdp*)**	**Captura (%)**	**Ganancia (%)**
Catarina	7206.99	$38.75	49.24	24.67
Calamar	2069.43	$5.35	14.14	3.41
Pierna	568.93	$4.62	3.89	2.94
Verdillo	479.17	$2.11	3.27	1.34
Total	**10324.52**	**$50.83**	**70.54**	**32.36**

Puerto Chale				
Recurso	**Captura promedio anual (ton)**	**Ganancia promedio (mdp*)**	**Captura (%)**	**Ganancia (%)**
Catarina	70.29	$0.42	9.93	3.80
Lisa	57.84	$0.36	8.17	3.19
Tiburón azul	53.04	$0.39	7.49	3.47
Manta	47.11	$0.31	6.65	2.80
Chocolata	46.74	$0.30	6.60	2.66
Pata de mula	44.5	$0.08	6.29	0.73
Verdillo	27.99	$0.18	3.95	1.58
Callo de hacha	27.06	$1.65	3.82	14.81
Sierra	26.37	$0.25	3.72	2.27
Botete	25.94	$0.50	3.66	4.46
Jurel de Castilla	20.93	$0.22	2.96	2.01
Pierna	20.51	$0.22	2.90	1.96
Corvina	17.92	$0.20	2.53	1.76
Total	**486.24**	**$5.08**	**68.67**	**45.50**

* mdp= millones de pesos.

TABLA 2

Contribución de capturas de peces e ingreso económico durante la temporada reproductiva en Bahía Magdalena-Almejas (2001 a 2015)

Comunidad	Recurso	Referencias	Temporada reproductiva	Captura promedio anual de la agregación		Ingreso promedio anual de la agregación	
				ton	%	Miles de pesos	%
Puerto Adolfo López Mateos	Botete	Díaz Guevara *et al.* (2005) en Sánchez Cárdenas (2007)	abr-ago	17.51	67.19	$320,202	66.88
	Jurel de Castilla	Sala *et al.* (2003)	abr-ago	22.07	59.79	$177,917	60.52
	Lisa	NOM-016-PESC-1994	nov-feb	4.79	52.82	$23,090	55.27
	Verdillo	Erisma *et al.* (2017)	jul-ago	119.97	51.67	$471,748	48.58
	Cabicucho	Aalbers (2008)	mar-jul	29.4	50.69	$302,849	51.38
Puerto San Carlos	Botete	Díaz Guevara *et al.* (2005) en Sánchez Cárdenas (2007)	abr-ago	89.67	66.21	$1,497,353	6393
	Huachinango	Vázquez-Hurtado *et al.* (2010)	jul-dic	11.87	5646	$247,822	55.22
	Lisa	NOM-016-PESC-1994	nov-feb	41.72	55.4	$188,044	54.12
Puerto Chale	Lisa	NOM-016-PESC-1994	nov-feb	17.99	61.45	$111,389	61.7
	Botete	Díaz Guevara *et al.* (2005) en Sánchez Cárdenas (2007)	abr-ago	15.51	59.8	$294,750	59.14
	Pierna	Elorduy Ramírez (1994), Elorduy *et al.* (2005)	oct-mar	12.26	59.76	$132,233	60.27
	Huachinango	Vázquez-Hurtado *et al.* (2010)	jul-dic	6.2	50.15	$158,526	50.63

Generación de datos espaciales y pesqueros

Se utilizaron los rastreadores GPS registradores de datos *(dataloggers)* para documentar la actividad de 14 pesquerías ribereñas de la zona. El acopio de esta información es tarea de miembros comunitarios que se encargan de entregar los rastreadores a los pescadores y, después de cada jornada de pesca, registran la información de ese viaje y descargan los datos del dispositivo; posteriormente, envían la información a los especialistas en el sistema de información geográfica (SIG) del CMBC para su análisis. La información así colectada, tanto espacial como pesquera, se utiliza para alimentar el banco de datos disponible a través de las distintas plataformas[4] (TABLA 3).

[4] http://datamares.ucsd.edu/esp/ y http://blueprints.ucsd.edu/

TABLA 3

Recursos pesqueros más importantes descritos dentro del programa de monitoreo espacial y pesquero*

Pesquería	Registros
Almeja generosa	64
Botete	223
Camarón azul	59
Camarón café	1213
Estacuda	425
Huachinango	215
Jaiba	452
Jurel	273
Meros y cabrillas	290
Pargos	149
Pierna	1216
Tiburones/mantas	699
Verdillo	294
Vieja	191
Total	**5763**

* Muestra el número de registros de captura por cada recurso del periodo 2012-marzo 2017.

Análisis de información espacial

Los mapas de la actividad pesquera de cada comunidad son una representación gráfica de los viajes de pesca registrados en el periodo de estudio (2012-2017). Este material gráfico, los valores de captura promedio, precio promedio y gasto de combustible promedio son resultado de 5,783 viajes de pesca para todas las pesquerías.

Los mapas de zonas de pesca representan áreas donde se registraron los puntos de captura para cada pesquería (95% de nivel de confianza) en el periodo de estudio. Respaldan este análisis 10,641 registros que corresponden a 391 en Puerto Adolfo López Mateos, 2257 en Puerto San Carlos y 3113 en Puerto Chale.

Para visualizar el SIG temático de Bahía Magdalena-Almejas es necesario ingresar al portal de Blueprints for Sustainability, en la pestaña "Our Maps", y seleccionar "Bahía Magdalena".[5] La interactividad de la plataforma ya puede consultarse directamente en línea con opciones de descarga de información, análisis, etcétera. La finalidad es que el sector pesquero tenga acceso a datos robustos sobre la dinámica pesquera para que las propuestas de manejo pesquero u otras herramientas se

[5] http://blueprints.ucsd.edu/blueprint/bahia_magdalena

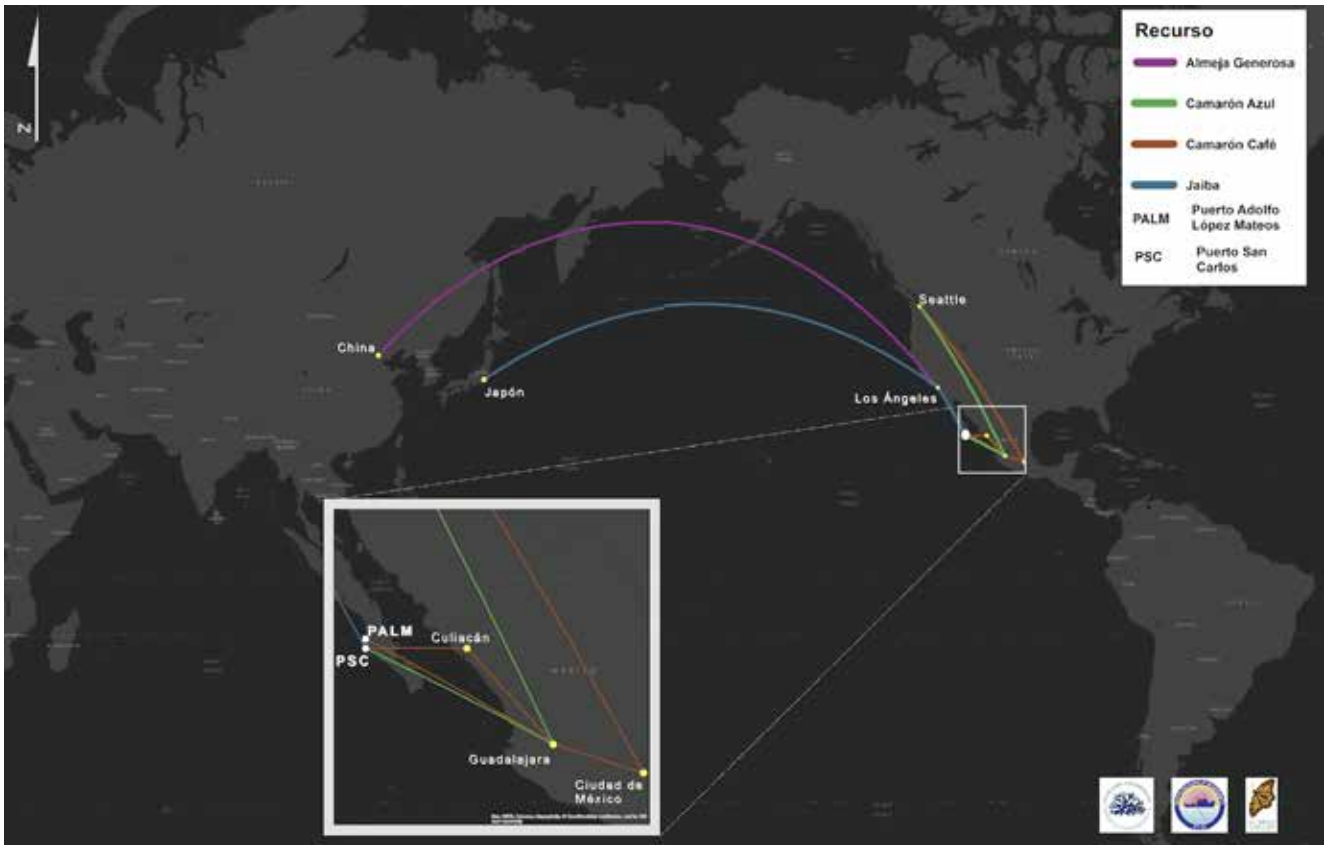
formulen con información que ha sido generada de manera transparente y pueda ser revisada por académicos.

Redes de mercado[6]

El objetivo fue definir la estructura actual de la cadena productiva de los productos de mayor importancia comercial para esta región. Se identificaron las pesquerías que tienen demanda de mercado internacional y nacional. Se hallaron 41 actores en Puerto Adolfo López Mateos y 44 en Puerto San Carlos, los cuales se separaron en dos niveles: comercializadoras y cooperativas pesqueras. Se trata de recursos como la almeja generosa y la jaiba, de cuyas capturas se comercializa más del 95% hasta Japón y China, o del camarón azul y el camarón café, que tienen mercado nacional (Sinaloa, Jalisco y la Ciudad de México), pero cerca de 80% se exporta a Estados Unidos, a ciudades como Seattle, WA (FIGURA 1).

FIGURA 1

Red de comercialización de los recursos pesqueros con demanda internacional.

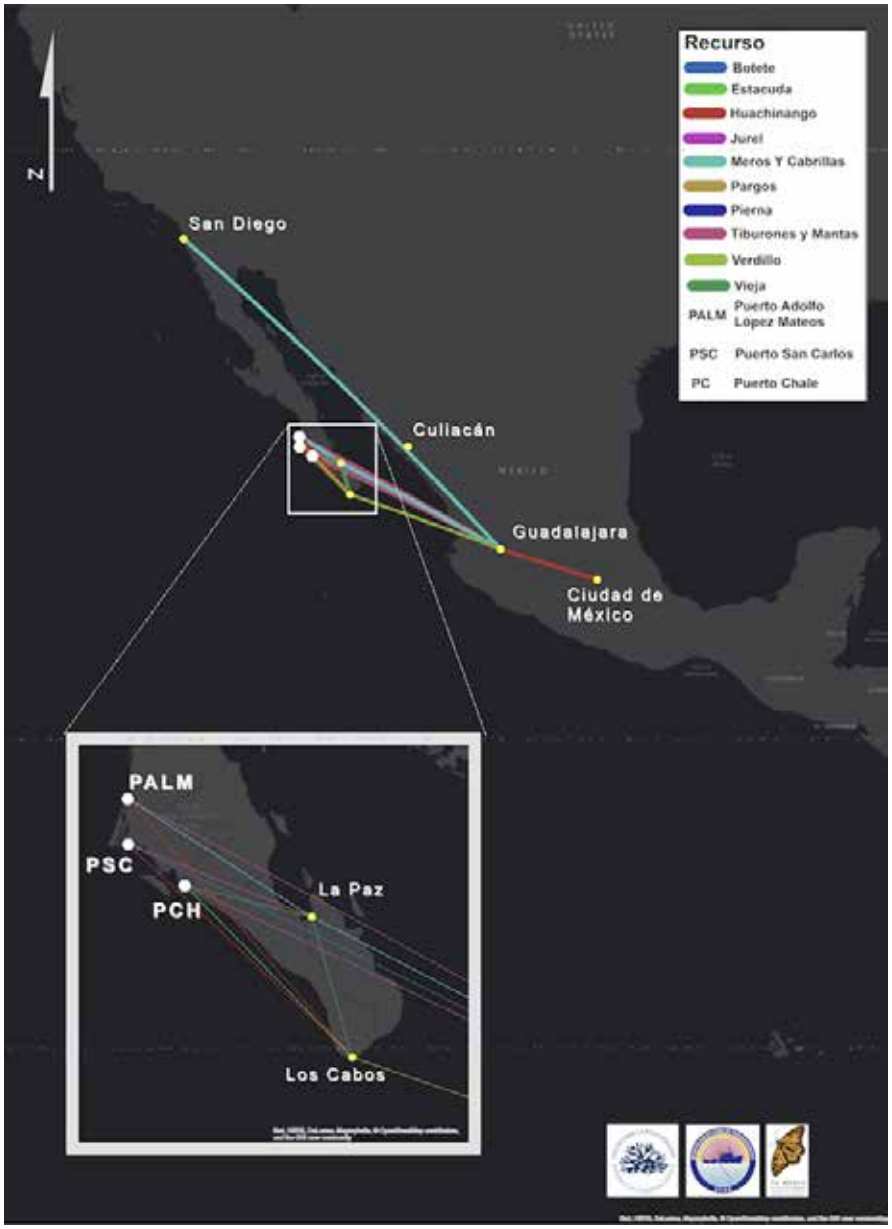


[6] De los principales recursos pesqueros monitoreados con el programa de rastreadores en Bahía Magdalena-Almejas.

Para los recursos con demanda nacional, los principales sitios de comercialización son La Paz y Los Cabos en BCS; Guadalajara, Jal., y la Ciudad de México. Hay casos particulares, como botetes, meros y cabrillas, que ocasionalmente se exportan a Estados Unidos, principalmente a la ciudad de San Diego, CA. Más de 70% del total de todos los recursos que se comercializan en el país se concentran en Guadalajara y la Ciudad de México. Pargos, pierna y vieja se comercializan a nivel local y regional (FIGURA 2).

FIGURA 2

Red de comercialización de los recursos pesqueros con demanda nacional.



Aprovechamiento para el sector ambiental

Un componente esencial es la participación de las comunidades. Se ha realizado una caracterización de los principales hábitats para la actividad pesquera en Bahía Magdalena[7] (Cota Nieto *et al.* 2016), se analizaron los datos históricos y actuales de producción pesquera para estimar la importancia económica que el complejo lagunar representa en el ámbito estatal[8] (Cota-Nieto *et al.* 2016) y, utilizando los datos generados con el programa de rastreadores,[9] se estimó la ganancia económica de cada pesquería[10] en Puerto San Carlos y Puerto Chale bajo dos premisas de escenarios: el mejor y el peor (Jiménez-Esquivel *et al.* 2017). Se logró describir la dinámica espacial y temporal de las pesquerías más importantes de la región[11] utilizando herramientas innovadoras.

Se ha dado difusión a los resultados del proyecto entre las comunidades de Bahía Magdalena a través de reuniones, y se generaron reportes y una serie de infografías específicamente para esas comunidades, con la intención de comunicar, de manera sencilla y clara, los resultados de las investigaciones y el trabajo colaborativo. Además, se compartieron los resultados con otras instituciones de investigación como el INAPESCA y organizaciones de la sociedad civil.

Bibliografía

J. José Cota Nieto, Victoria Jiménez Esquivel, Ismael Mascareñas Osorio (2016). *Bahía Magdalena: habitat diversity sustains fisheries*. DataMares. InteractiveResource. http://dx.doi.org/10.13022/M3HP4F

J. José Cota Nieto, Victoria Jiménez Esquivel, Ismael Mascareñas Osorio (2016). *Fishing in Bahía Magdalena-Almejas: economic engine for Baja California Sur*. DataMares. InteractiveResource. http://dx.doi.org/10.13022/M39599

Victoria Jiménez Esquivel, Juan José Cota Nieto, Ismael Mascareñas Osorio, Dayana Méndez y Octavio Aburto Oropeza (2017). *Valoración económica de la actividad pesquera en el complejo lagunar Bahía Magdalena-Almejas, BCS, México*. DataMares. InteractiveResource. http://doi.org/10.13022/M3DK5V

http://blueprints.ucsd.edu/blueprint/bahia_magdalena

[7] http://datamares.ucsd.edu/stories/bahia-magdalena-habitat-diversity-sustains-fisheries/?lang=bahia-magdalena-habitat-diversity-sustains-fisheries

[8] http://datamares.ucsd.edu/stories/fishing-in-bahia-magdalena-almejas-economic-engine-for-baja-california-sur/?lang=fishing-in-bahia-magdalena-almejas-economic-engine-for-baja-california-sur

[9] http://conacytprensa.mx/index.php/tecnologia/biotecnologia/5824-pesca-sustentable-con-tecnologia-geoespacial-reportaje

[10] http://datamares.ucsd.edu/stories/valoracion-economica-de-la-actividad-pesquera-en-el-complejo-lagunar-bahia-magdalena-almejas-b-c-s-mexico/?lang=valoracion-economica-de-la-actividad-pesquera-en-el-complejo-lagunar-bahia-magdalena-almejas-b-c-s-mexico&lang=es

[11] http://blueprints.ucsd.edu/blueprint/bahia_magdalena

Aprovechamiento sustentable del maguey sacatoro (*Agave angustifolia* Haw.) en el estado de Guerrero

Elías Hernández Castro[1]
RESPONSABLE TÉCNICO

[2]Patricia Álvarez Fitz[a]
Blas Cruz Lagunas[a]
Agustín Damián Nava[a]
Miguel Ángel Gruintal Santos[a]
Juan Elías Sabino López[a]
Óscar Talavera Mendoza[a]
Nicacio Cruz Huerta[b]
J. Antonio Mora Aguilera[b]
Cristian Nava Díaz[b]
Ángel Villegas Monter[b]
Édgar León Esparza Ibarra[c]
Lenin Sánchez Calderón[c]

[1] Licenciatura por la Escuela Superior de Agricultura de la Universidad Autónoma de Guerrero. Estudios de maestría y doctorado: Programa en Agroecosistemas Tropicales del Colegio de Postgraduados, Veracruz, Ver. Maestría en Ciencias Agropecuarias y Gestión Local por la Universidad Autónoma de Guerrero. SNI-I. 40 artículos científicos publicados en revistas indizadas y 14 tesis dirigidas de licenciatura, maestría y doctorado. Reconocimiento a perfil deseable. PRODEP. 2017-2020

[2] [a] Universidad Autónoma de Guerrero. [b] Colegio de Postgraduados. [c] Universidad Autónoma de Zacatecas.

RESUMEN

La investigación plantea el aprovechamiento sustentable del maguey sacatoro. Para su estudio se colectarán pencas, piña, hijuelos, semilla y suelo en la región del Bajo Balsas de Guerrero. El propósito ulterior es el de incrementar la población de este agave para su aprovechamiento en la elaboración de mezcal y derivados.

PALABRAS CLAVE

maguey; mezcal; sustentable; caracterización

Introducción

Los agaves son plantas endémicas de América, de distribución tropical y subtropical, frecuentemente presentes en zonas de clima árido. En México hay 251 especies, de las cuales 177 son endémicas. En tales ecosistemas los agaves son especies clave, debido a la gran cantidad de recursos que proporcionan a otros organismos a través de sus hojas, flores, polen, néctar y frutos.

El maguey sacatoro es importante en varias regiones del estado Guerrero debido a sus diferentes usos en actividades gastronómicas, culturales y económicas, entre las que destaca la producción de mezcal, industria aún artesanal que se ha abastecido de poblaciones naturales de este y otros agaves, lo que ha provocado la disminución y deterioro de las poblaciones silvestres de estas plantas.

Planteamiento y desarrollo de la investigación

Los objetivos del presente proyecto son:

1. Colectar y caracterizar material silvestre del maguey sacatoro;
2. generar protocolos de reproducción sexual y asexual de este agave;
3. elaborar un paquete tecnológico para el cultivo, y
4. análisis sensorial del mezcal obtenido del agave sacatoro.

Se contemplan tres etapas de trabajo:

- **Primera**
  Verificar si el maguey sacatoro pertenece a la especie *Agave angustifolia* Haw., debido a que se ha reportado hibridación en diferentes especies de manera natural, además de realizar colectas de semillas y materiales vegetativos (hijuelos de raíz) para su caracterización.
- **Segunda**
  Generar protocolos de reproducción sexual y asexual, así como la evaluación de los materiales obtenidos en vivero.
- **Tercera**
  Establecimiento y manejo de tres parcelas, con la evaluación de las plántulas obtenidas a través de la reproducción sexual y asexual; incluye un análisis de calidad del mezcal elaborado con agave sacatoro, según las normas vigentes para este tipo de productos.

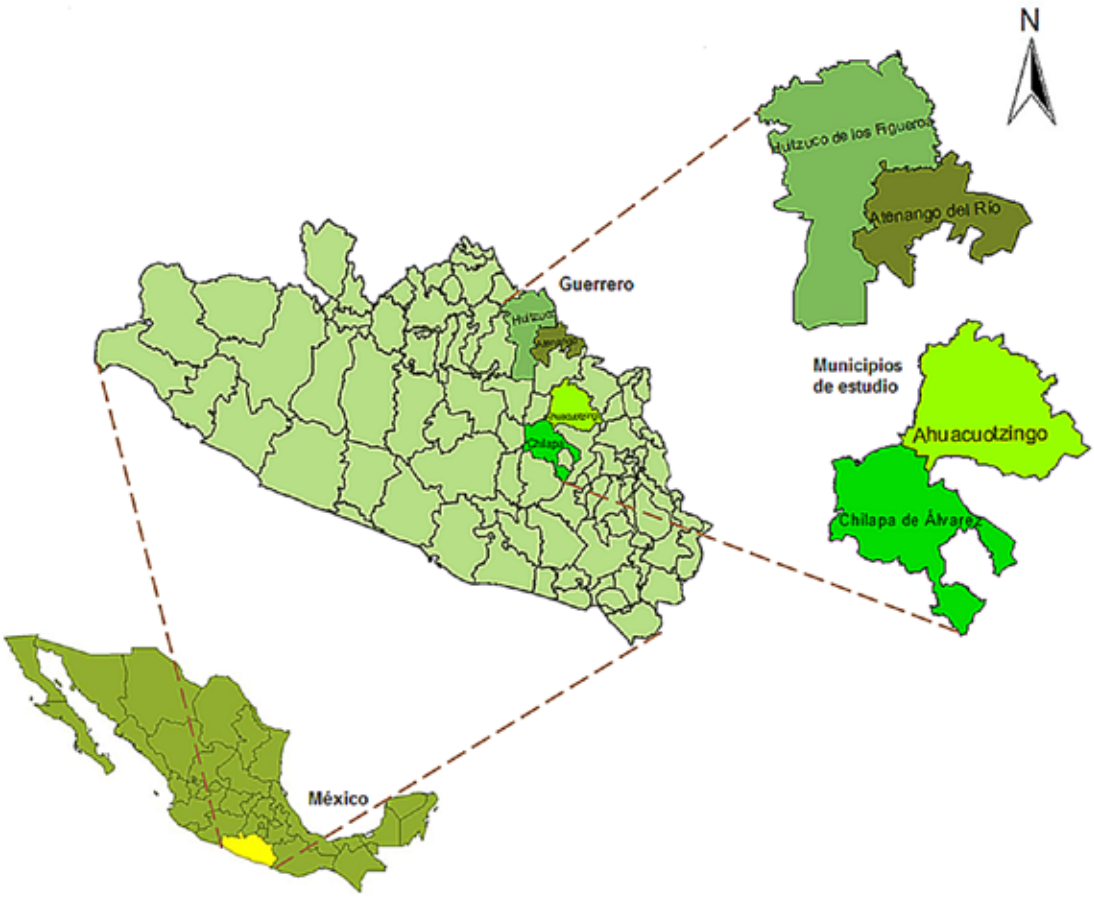
Metodología

El proyecto de investigación se condujo en las regiones Norte y Centro del estado de Guerrero, en cuatro municipios y ocho comunidades (FIGURA 1):

- **Huitzuco de los Figueroa**
  Comunidades Atetetla y Paso Morelos
- **Atenango del Río**
  Comunidad Coacán
- **Chilapa de Álvarez**
  Comunidades Los Amates, Ayahualco y Santa Cruz
- **Ahuacuotzingo**
  Comunidades Motuapa y Trapiche Viejo

FIGURA 1

Localización del área de estudio; municipios de Huitzuco de los Figueroa, Atenango del Río, Ahuacuotzingo y Chilapa de Álvarez.



Las comunidades seleccionadas se ubican en una zona que posee importantes poblaciones de agaves silvestres o semisilvestres y son productoras de mezcal tradicional.

Para la caracterización fenotípica de las plantas de maguey sacatoro se utilizó la guía técnica para la descripción varietal de agave del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS). Se practicaron 32 evaluaciones a cada taxón (planta de maguey) para las variables hoja, planta, piña e hijuelo, de una muestra de diez individuos por cada población; los 2,560 datos resultantes se concentraron en una hoja de MS Excel.

Se midieron los grados Brix y se colectaron muestras de piñas y de suelo, hijuelos de rizomas y cápsulas de semillas, para su posterior análisis. También se realizaron entrevistas a productores de mezcal para conocer el proceso de elaboración del destilado en cada una de las zonas productoras y la problemática que enfrentan en esa actividad.

De los materiales con semillas se cortaron cinco cápsulas cerradas y a cada una se le tomaron medidas de longitud, anchura y peso. Por cada cápsula se tomó una fotografía a 15 semillas viables (FIGURA 2). Las medidas del largo y ancho de cada semilla fueron procesadas con el programa ImageJ versión IJ 1.46r. Los datos de las medidas y pesos de cápsulas y semillas fueros analizados en una hoja de cálculo de MS Excel 2010.

Por otro lado, se hicieron identificaciones moleculares al maguey sacatoro mediante marcadores RAPD (*Random Amplification of Polymorphic DNA*). Se realizó un análisis con el objetivo de evaluar la variabilidad genética e identificar molecularmente las variantes del maguey sacatoro a partir de un dendrograma. Se utilizaron ejemplares de doce localidades. La extracción de ADN se hizo utilizando el kit DNeasy® Plant Mini de Qiagen, siguiendo las recomendaciones de este fabricante, a partir de hojas sanas y frescas de hijuelos de plantas de agave maduro.

Resultados

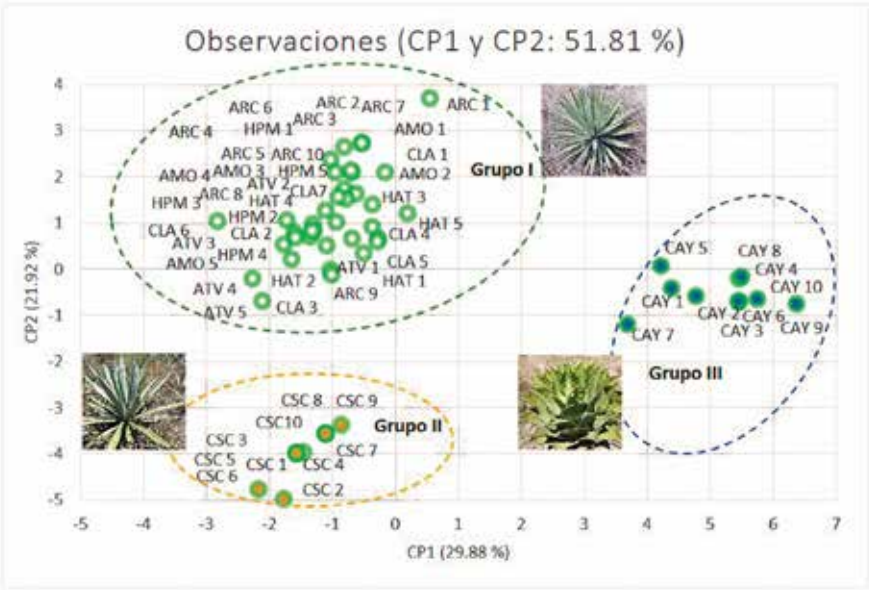
Se hicieron matrices de datos de las evaluaciones fenotípicas. Posteriormente, esos datos se homogeneizaron obteniendo los mínimos y máximos, para después someterlos a un análisis de componentes principales (ACP) para cada grupo muestreado. El ACP permite identificar tres grupos correspondientes a cada especie de agave (*A. angustifolia,* Grupo II; *A. cupreata,* Grupo III, y maguey sacatoro, Grupo I), lo cual coincide con la localidad y características morfológicas de cada una de ellas. Las del maguey sacatoro son muy semejantes a las de *A. angustifolia*; pudieran ser variedades de dicha especie, resultado quizá de condiciones edafológicas, climáticas o antrópicas (FIGURA 3).

FIGURA 2

Caracterización de cápsulas y semillas del agave sacatoro.

FIGURA 3

Análisis de componentes principales, donde se puede observar la agrupación de los agaves muestreados, con base en las características fenotípicas de las plantas.



Se realizaron análisis proximales a las muestras de hojas (pencas) y piña de los agaves colectados, para determinar porcentaje de humedad, cenizas, grasa y fibra cruda.

El largo de la cápsula fue de 4.9 cm, el ancho de 2.41 cm y su peso de 6.73 g. El número total de semillas por cápsula fue 186; semillas viables por cápsula, 102. El largo de las semillas viables fue 0.91 cm, y el ancho, 0.68 cm. El peso de semillas viables fue 2.00 g. Generalmente este tipo de magueyes generan una gran cantidad de semillas, no todas ellas viables.

El ADN de cada muestra se cuantificó en un espectrofotómetro y la pureza se determinó considerando relaciones de absorbancia de 260/280 y 260/230 nm. Las reacciones de amplificación se desarrollaron con cebadores OPA 02, OPA 11 y OPA 20, sintetizados por Invitrogen™. Con los resultados de la amplificación se elaboró una matriz de resultados 0/1 donde se evaluaron las bandas como ausentes (0) o presentes (1) para cada uno de los materiales estudiados. Las estimaciones de similitud genética mediante la matriz obtenida se calcularon según el índice de similitud de Jaccard. Aún está pendiente la tarea de secuenciar todas las muestras.

Aprovechamiento

Los resultados obtenidos de la presente investigación servirán para incrementar las poblaciones de maguey sacatoro y que éstas puedan ser aprovechadas por el sistema-producto agave-mezcal del estado de Guerrero.

Bibliografía

Castillo Quiroz, D., Martínez Burciaga O.U., Ríos González, L.J., Rodríguez de la Garza, J.A., Morales Martínez, T.K., Castillo Reyes, F. y Ávila Flores, D.Y. 2014. Determinación de áreas potenciales para plantaciones de agave lechuguilla torr. para la producción de etanol. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila* 6(12). México, p. 7.

CONAFOR. 2013. *Inventario Estatal Forestal y de Suelos - Guerrero*. Conjunto de Datos Vectoriales de Guerrero, de la Carta de Recursos Forestales Estatal Guerrero.

García Mendoza, A. 2007. Los Agaves de México. *Ciencias* (87): 14-23.

Gentry, H.S. 1985. *Agaves of Continental North American.* The University of Arizona Press. Tucson.

Illsley, C., E. Veg, I. Pisanty, A. Tlacotempa, P. García, P. Morales, G. Rivera, J. García, V. Jiménez, F. Castro y M. Calsada. 2007. Maguey papalote: hacia el manejo campesino de un recurso colectivo en el trópico seco de Guerrero, México, pp. 85-106, en: P. Colunga García-Marín, A. Larqué Saavedra, L. Eguiarte, D. Zizumbo Villarreal (eds.), *En lo ancestral hay futuro: del tequila, los mezcales y otros agaves*. CICY-CONACYT-CONABIO-SEMARNAT-INE. México.

Valorización del pelo de desecho de la industria de la curtiduría para la alimentación avícola

María Maldonado Santoyo[1]
RESPONSABLE TÉCNICA

[2]Luz Elena Mora Maldonado[a]
Beatriz Padilla Rizo[a]
Roberto Zitzumbo Guzmán[a]
Mireya González Colín[b]

[1] Licenciatura en Ingeniería Química, maestría en Ciencias Químicas y doctorado en Química con especialidad en Química Analítica. Actualmente está adscrita al área de Ingeniería Ambiental en el Departamento de Investigación, Posgrado y Capacitación del Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas, A.C. (CIATEC). Tiene experiencia en el desarrollo de metodologías analíticas para determinación de contaminantes medioambientales en diferentes matrices, gestión ambiental y elaboración de materiales y/o productos sustentables.

[2] [a] Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas, A.C.
[b] Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Diseño Sustentable.

RESUMEN

Implementación de un proceso de laboratorio para la valorización del pelo de desecho (pelambre) de la industria de la curtiduría para su potencial aplicación como alimento avícola.

PALABRAS CLAVE

pelambre; curtiduría; acv; avícola

Introducción

La industria mexicana de la curtiduría se cuenta entre las diez más productivas de su ramo en el orbe: genera 4% de la producción mundial. La mayor parte de las curtidurías se encuentran en los estados de Guanajuato –primer productor nacional, con 65% del curtido y acabado del cuero–, Jalisco, México, la Zona Metropolitana de la Ciudad de México y Nuevo León.

Esta industria transforma en cuero las pieles de bovinos, ovinos y porcinos mediante procesos que pueden agruparse, de manera general, en las etapas de ribera, curtido y acabado (Alzate-Tejada 2004; INE 2007), cada una de las cuales genera una cantidad considerable de desechos (Bajza 2001).

Los estudios relacionados con el aprovechamiento real o potencial de esos desechos son escasos. Por ejemplo, cada tonelada de cuero crudo produce 200 kg de cuero acabado y más de 600 kg de residuos sólidos y líquidos en los que predominan pelo, carne y raspa (Bautista, M.E. 2015; INE 2007). Es decir, la industria del cuero se caracteriza por producir gran cantidad de residuos. De ahí el interés por valorizarlos mediante su transformación en diferentes productos comerciales como pegamentos, gelatinas, fibras para cueros artificiales, colágeno para uso médico, recuperación de proteína soluble para uso comercial, colágeno hidrolizado, productos cosméticos y/o alimenticios, entre otros (Bajza, 2001).

La mayoría de los desechos sólidos de la industria curtidora son muy ricos en proteínas: colágena, elastina y queratina. Si se considera solamente la ciudad de León, Gto., donde diariamente se procesan 30,000 cueros (CICUR 2015), las cantidades estimadas de residuos y subproductos son del orden de 13.8 toneladas de pelo; 5.52 de carne; 34.5 de carnaza y recortes, y 5.8 de raspas (ordinaria y cromada). La mayor parte de estos materiales se desperdicia. El único proceso comercial es el aprovechamiento de las carnazas en alimentos para perros. En el resto de los casos los estudios no han rebasado la etapa de laboratorio (Alzate-Tejada 2004; Bautista 2015).

Planteamiento y desarrollo de la investigación

En esta primera etapa del proyecto se llevó a cabo la implementación del proceso en el laboratorio. Para ello se acopiaron muestras de pelo de desecho (pelambre) a partir de lotes de diferentes fechas, en una empresa curtidora de León, Gto., que transforma principalmente pieles de bovinos.

Las muestras de pelo se lavaron y molieron para después caracterizar fisicoquímicamente las propiedades de humedad, masa seca, cenizas, distribución de partícula, digestibilidad y perfil elemental. Todas las pruebas se ajustaron a la normatividad vigente.

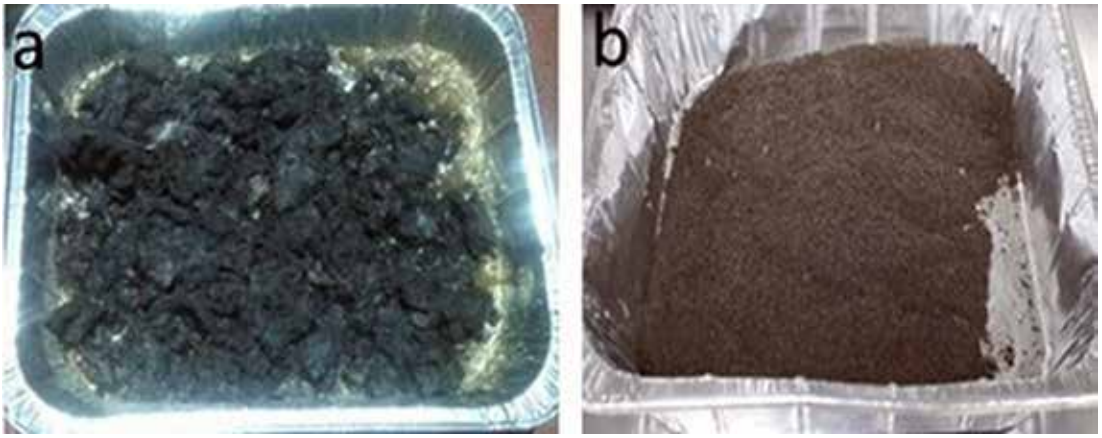
Posteriormente se descompuso el pelo mediante hidrólisis y el material resultante se caracterizó cualitativa y cuantitativamente mediante diferentes técnicas analíticas para determinar su aporte nutricional. A la par, se realizó un estudio para evaluar de forma general el análisis del ciclo de vida (ACV) tipo *scan* del proceso de curtiduría, tomando como base un kilogramo de piel vacuna procesada.

Principales resultados de la investigación

En la FIGURA 1 se presentan dos imágenes del pelo estudiado en este trabajo. En ella se puede apreciar una gran mejora en la presentación física de las muestras de pelambre antes y después del lavado y la molienda, hasta obtener una harina queratinosa homogénea estándar.

FIGURA 1

Imágenes de muestras de pelambre antes (a) y después (b) del lavado/molienda.



En la TABLA 1 se presentan algunos de los resultados obtenidos en la caracterización del pelo después del lavado/molienda. Se observa que los valores obtenidos son muy parecidos a los reportados en la literatura para el pelo natural de vaca (sin tratamiento alguno), lo que demuestra la eficiencia del proceso propuesto para el lavado/molienda del pelambre, cuya finalidad es reducir al mínimo la cantidad de interferencias posibles para el proceso de hidrólisis.

Los resultados obtenidos en los hidrolizados muestran un aporte nutrimental en nitrógeno, azufre, calcio, cobre, magnesio, potasio, hierro y zinc como oligoelementos. Muestran asimismo que contienen aminoácidos libres, una distribución de peso molecular menor que 10,000 Dalton y digestibilidad mayor a 90 por ciento.

Respecto al ACV tipo *scan* del proceso de curtiduría se observó que la etapa de ribera es la que tiene mayor impacto ambiental en todas las categorías evaluadas, destacando ocupación y transformación del suelo agrícola, acidificación, ecotoxicidad terrestre, consumo de agua y cambio climático.

TABLA 1

Valores obtenidos en la caracterización del pelambre lavado/molido comparados con lo reportado en la literatura para pelo natural de vaca

Parámetro (%)	Pelo de vaca	
	Pelambre*	Natural
Humedad	8.53±0.19	6.75±0.15
Masa seca	91.47±0.19	93.25±0.15
Cenizas	5.44±0.13	4.34±0.11
Nitrógeno total	14.46±0.49	14.3±0.05
Carbono	42.54±0.06	40.7±0.60
Hidrógeno	6.33±0.06	5.86±0.15
Azufre	2.21±0.01	3.79±0.07
Mercurio	ND	ND
Arsénico	ND	ND
Cromo	ND	ND
Tamaño de partícula	< 250 pm	

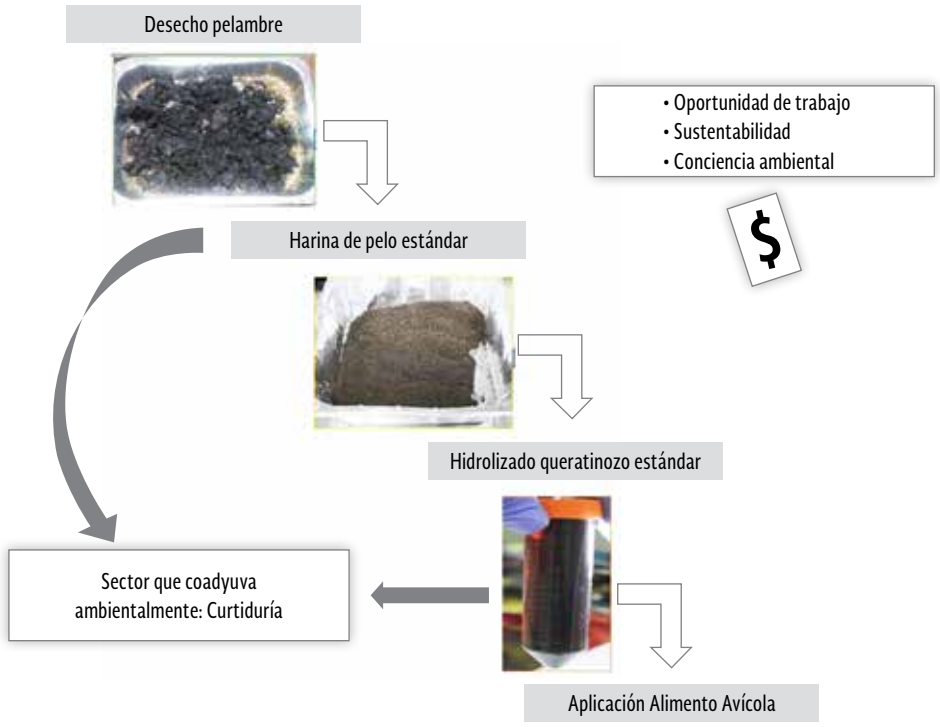
* Analizado después del lavado/molienda.

Generación de valor

Con la presente propuesta de valorización se puede percibir un fuerte potencial para el pelo de desecho (pelambre) de la industria de la curtiduría, para su aprovechamiento en avicultura como fuente alimenticia, por su contenido de aminoácidos esenciales y algunos oligoelementos necesarios en la alimentación de aves de cría. Derivado de esto, es importante comenzar a percibir el pelambre no como el desecho tóxico que comúnmente va al relleno sanitario, sino como una materia prima rica en proteína de tipo queratinoso que puede ser aplicada en diferentes contextos industriales (alimenticia, agrícola, cosmética, materiales, etc.) y en específico para este estudio, la alimenticia de uso avícola. De este modo se promueven la sustentabilidad, la conciencia ambiental y la oportunidad de negocio (FIGURA 2).

FIGURA 2

Esquema de generación de valor para el pelambre.



Bibliografía

Alzate Tejada, A., y Tobon-Mejía, O. (2004). Centro Nacional de Producción Más Limpia. Recuperado el 16 de 05 de 2015, de http://www.tecnologiaslimpias.org/curtiembres/manual.pdf

Bajza, Z., & Vrcek, V. (2001). Thermal and enzymatic recovering of proteins from untanned leather waste. Waste Management 21(1), 79-84.

Bautista, M.E., Pérez, L., García, M.T., Cuadros, S., y Marsal, A. (2015). Valorization of tannery wastes: Lipoamino acid surfactant mixtures from the protein fraction of process wastewater. Chemical Engineering Journal 262, 399-408.

CICUR. Cámara de la Industria de la Curtiduría del Estado de Guanajuato. 2015. https://www.cicur.net/

INE (2007). Recuperado el 29 de 05 de 2015, de http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/122/int.html Consultada 29 de mayo de 2015.

Sistema inteligente aplicado a la restauración de suelos con producción de caña de azúcar

Albino Martínez Sibaja[1]
RESPONSABLE TÉCNICO

[2]Ofelia Landeta Escamilla[a]
Francisco Quevedo Garay[a]
Óscar Osvaldo Sandoval González[a]

[1] Ingeniero industrial en Electrónica por el Instituto Tecnológico de Veracruz en 1992. Maestría en Ciencias y doctorado en Ciencias en Ingeniería Electrónica por el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico, en Cuernavaca, Morelos, en 1994 y 2011, respectivamente. Miembro del Cuerpo Académico de Ingeniería en Procesos Ambientales reconocido por el PROPED con estatus de Cuerpo Académico Consolidado. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores y tiene reconocimiento de Profesor con Perfil Deseable por parte del PROPED. Sus áreas de interés son el diagnóstico de fallas, la automatización y el control de procesos de reactores anaerobios para el tratamiento de aguas residuales y producción de biogás. Actualmente es profesor investigador del Tecnológico Nacional de México y el Instituto Tecnológico de Orizaba.

[2] [a] Instituto Tecnológico de Orizaba.

RESUMEN

Sistema electrónico capaz de proporcionar ciertas propiedades fisicoquímicas del suelo mediante inteligencia artificial, reduciendo costos y facilitando la comprensión de la información. Entre las variables se consideran materia orgánica, potasio, calcio, magnesio, sodio, capacidad de intercambio catiónico y saturación catiónica (potasio y calcio).

PALABRAS CLAVE

caña de azúcar; sensores; inteligencia artificial; propiedades fisicoquímicas; suelos

Introducción

La degradación química es uno de los principales procesos de deterioro de los suelos en México (hasta 17.9%; SAGARPA 2013), situación en la que destaca el caso de los destinados al cultivo de caña de azúcar, que abarcan una superficie cercana a 70 millones de hectáreas. Durante muchos años, México ha estado entre los seis primeros productores mundiales. Durante la zafra 2013-2014 el Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar reportó que

la mayor superficie cosechada de caña de azúcar en el país fue la del estado de Veracruz, con casi 300 mil hectáreas.

Se han realizado estudios con diversos modelos para estimar las dosis adecuadas de nutrientes en el cultivo de la caña. Por ejemplo, el de Ruiz Ramírez (2009), en el que se evaluaron doce experimentos de fertilización en el cultivo de caña de azúcar utilizando el coeficiente de variación para valorar la calidad; el resultado fue que en 25% de los casos no se alcanzó la adecuada. Otro estudio (Palma López *et al.* 2002) sobrestimó la dosis de fertilización –probablemente debido al exceso de humedad en el suelo– y esto llevo a los investigadores a determinar las proporciones basándose en la experiencia. Determinar de esta forma las concentraciones de nutrientes produce mayor incertidumbre en torno de la composición físicoquímica de los suelos plantados con caña de azúcar.

El estudio de las características de suelos con monocultivos es primordial, por tratarse de un recurso frágil y porque el sostén y mejoramiento de los niveles de producción van de la mano con la conservación de los suelos, el control en el cambio de uso y la reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

Desarrollo del proyecto

La primera etapa (puntos 1 y 2, FIGURA 1) está dirigida al diseño y desarrollo de sensores electrónicos para la medición de propiedades físicas como la humedad, conductividad térmica, conductividad eléctrica, textura y color de las muestras de suelos. La segunda etapa (puntos 3 y 4) tiene como objetivo la determinación de variables fisicoquímicas mediante los sensores fabricados en la primera etapa y la utilización de diferentes técnicas de inteligencia artificial para correlacionar las variables medidas por los sensores con las variables químicas y físicas de las muestras analizadas, según la metodología establecida por las normas mexicanas.

La tercera etapa (puntos 5 y 6) contempla la realización de un sistema inteligente que proponga estrategias de restauración del suelo, habiendo concluido los requerimientos del sistema en la etapa anterior.

Resultados

Mecanismo de extracción de muestras

La extracción de muestras de suelo es una actividad compleja que demanda tiempo y esfuerzo, razón por la cual se diseñó y construyó[3] un sistema mecatrónico

[3] Área de Manufactura del Laboratorio de Robótica y Automatización del Instituto Tecnológico de Orizaba

que permite extraer la muestra de suelo sin modificar significativamente las propiedades físicas del mismo (FIGURA 2). Integran el dispositivo cuatro secciones:

1. Sección de sujeción y acoplamiento;
2. tubo de extracción;
3. sistema de expulsión de material, y
4. sistema de cortadores.

Este sistema mecatrónico, fácil de transportar, está motorizado y tiene un sistema de expulsión de muestra que hace que el núcleo de suelo se mantenga intacto.

FIGURA 1

Diagrama de flujo que muestra el desarrollo del proyecto.

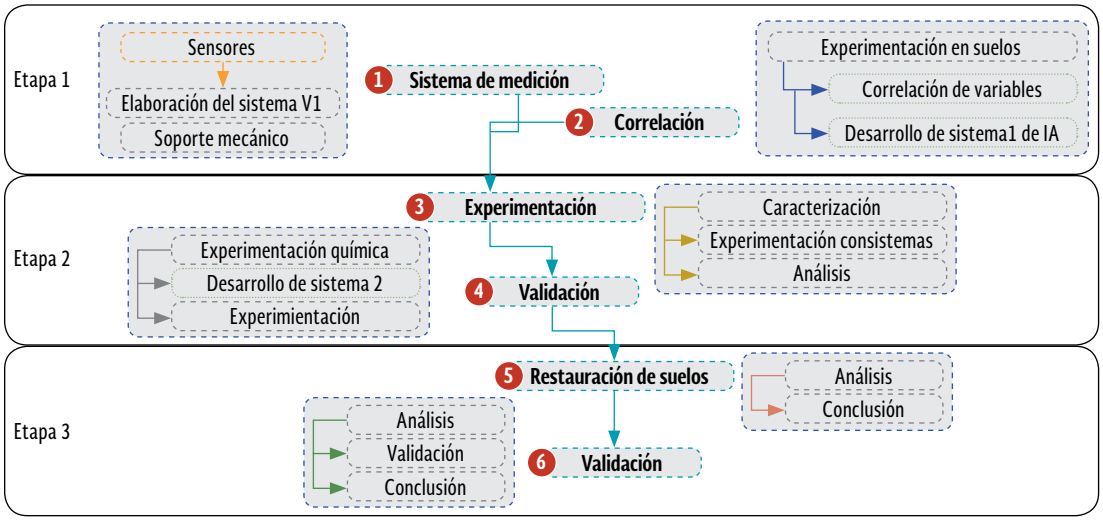


FIGURA 2

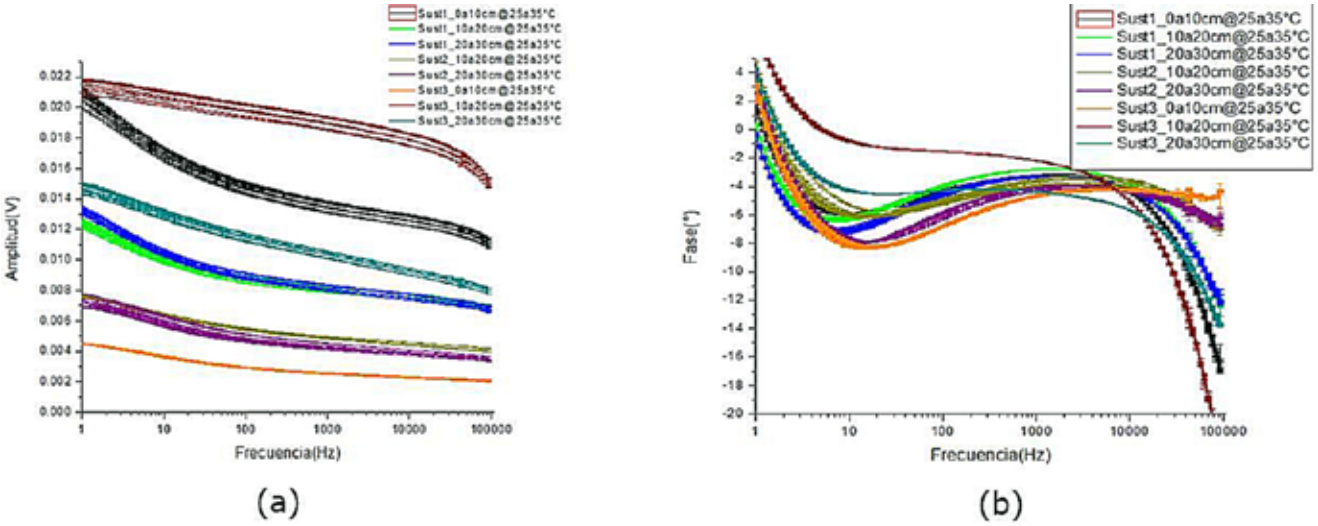
Sistema mecatrónico de extracción de muestras.

Sensor capacitivo

En esta sección se abordan el diseño y la fabricación de un sensor capacitivo que permita determinar las constantes dieléctricas de los suelos muestreados. La electrónica se enfoca al barrido en frecuencia de una señal analógica que ingresa al sensor capacitivo que contiene la muestra de suelo a analizar, con el propósito de obtener una respuesta en frecuencia de magnitud y fase correspondientes al tipo de suelo analizado. La FIGURA 3 muestra las gráficas de magnitud y fase en las cuales se observa la relación que media entre la frecuencia y las propiedades electroquímicas de las sustancias contenidas en el suelo. Para descartar la posible influencia de la temperatura y humedad en las mediciones durante la experimentación, éstas se hicieron dentro de una cámara con temperatura y humedad controladas. Esto permite trabajar con temperaturas cuyo margen de error es de ±0.1°C.

FIGURA 3

Respuestas en amplitud (a) y fase (b) de diversas muestras de suelos.



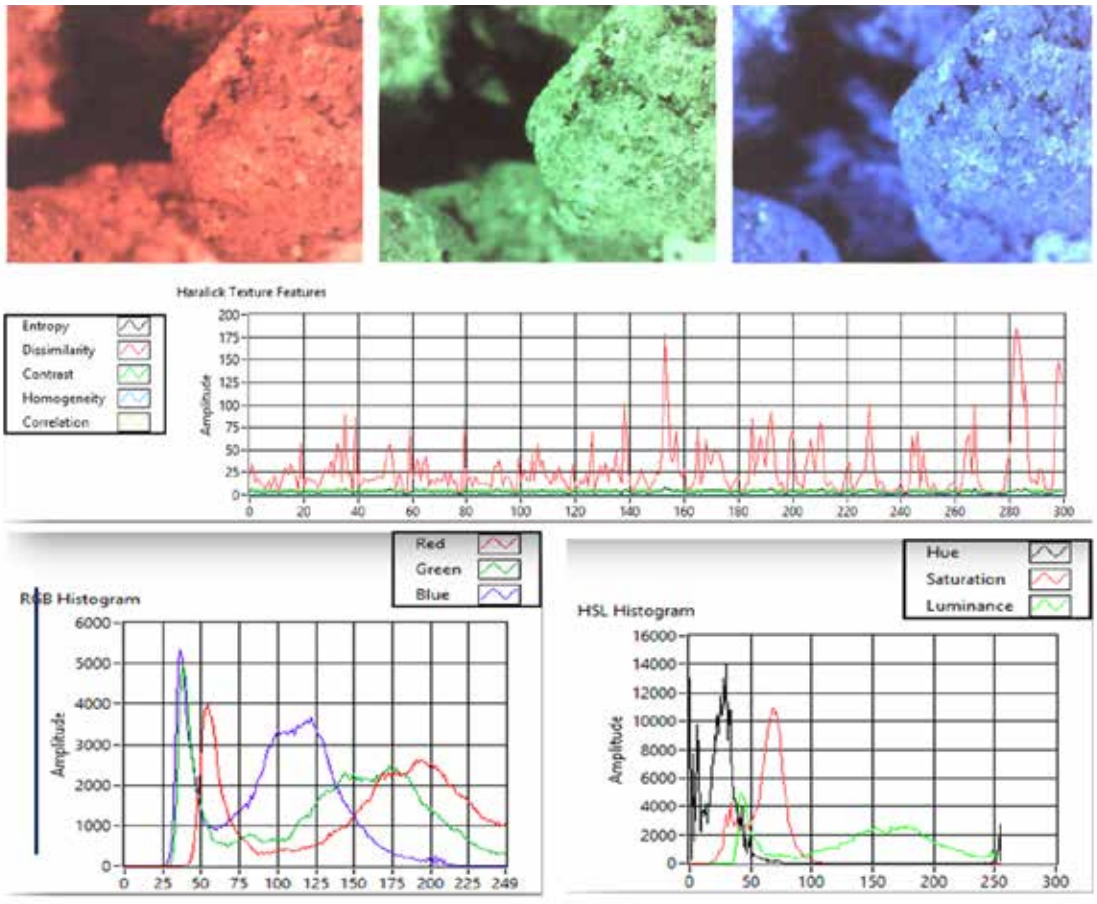
Se realizaron cuatro mediciones a temperaturas entre 20°C y 35°C, a intervalos de 5°C, a cada una de las ocho muestras de suelo. Se observó que la temperatura tiene un efecto de ligera atenuación en la respuesta en frecuencia de la magnitud; sin embargo, la forma de la señal se conserva. También se observó, en las ocho muestras, que hay una señal característica en la respuesta en frecuencia de la magnitud y fase según el suelo que se analice. Este resultado da un indicio en el sentido de que la respuesta en frecuencia de magnitud y fase tiene una estrecha relación con las propiedades electroquímicas de los suelos y, por lo tanto, este sensor capacitivo puede ser una variable importante para utilizarse en técnicas de inteligencia artificial para la determinación aproximada de las propiedades químicas del suelo.

Análisis de color y textura del suelo mediante visión artificial

Utilizando visión artificial se logró un análisis de color y textura de las muestras de suelo. En la FIGURA 4 se muestran los histogramas de color RGB, HSL y las características obtenidas de textura de Haralick.

FIGURA 4

Histogramas RGB, HSL y las características de textura de Haralick.



Sistema inteligente de correlación de variables

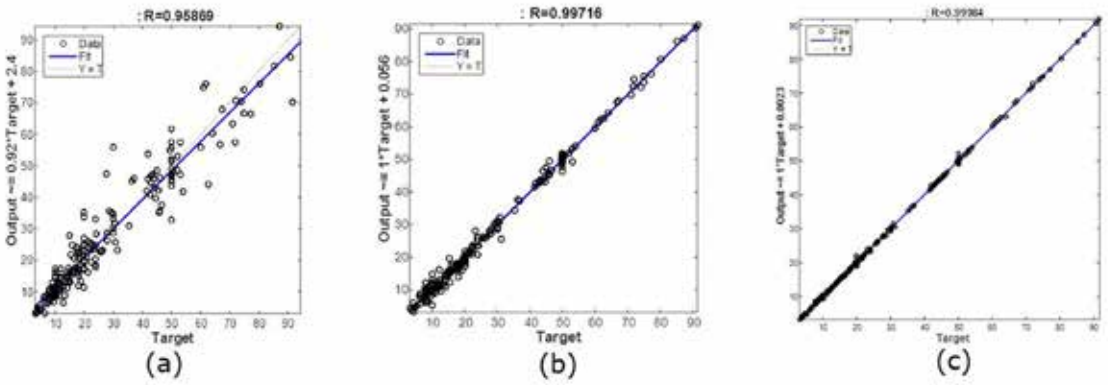
La determinación de propiedades químicas a través de sensores de variables físicas, mediante técnicas de inteligencia artificial, fue otro de los objetivos atendidos en esta investigación. Se determinaron variables como materia orgánica, potasio, calcio, magnesio, sodio, capacidad de intercambio catiónico y saturación catiónica (potasio y calcio), con la medición de diversas variables obtenidas por los sensores de conductividad y visión artificial. La correlación entre las variables de entrada y su comportamiento es de gran importancia, ya que puede determinar el éxito en el sistema de reconocimiento empleado. Por tal razón, se utilizaron

técnicas de aprendizaje no supervisado –como análisis de componentes principales– para establecer la correlación de estas variables y con ello reducir la dimensionalidad de los datos que se capturarán en el sistema de reconocimiento.

Las redes neuronales artificiales se utilizaron para establecer la correlación entre los datos de las variables físicas obtenidos por el sensor capacitivo y de visión y las variables de salida explicadas con anterioridad. La FIGURA 5 muestra los resultados de entrenamiento utilizando tres, diez y quince neuronas en la capa intermedia de la red neuronal.

FIGURA 5

Resultados de las redes neuronales artificiales con tres neuronas (a), diez neuronas (b) y quince neuronas (c).



Potencial de aprovechamiento

Las investigaciones y desarrollos tecnológicos que se realizan en este proyecto tienen entre sus objetivos contribuir a disminuir la degradación de suelos generada por la actividad humana en el sector agrícola y promover la mejora en la fertilidad de suelos y fijación de nutrientes en plantas y suelo, para producir un cambio positivo en el ambiente y crear consciencia en los productores de caña de azúcar.

Bibliografía

SAGARPA (2013). Manejo sustentable de suelos en México. Reporte realizado a la FAO, 3.

FAO. (2015). Faostat. Retrieved from http://faostat3.fao.org/home/RuizRamírez, J. (2009). Eficiencia relativa y calidad de los experimentos de fertilización en el cultivo de caña de azúcar. *Terra* 28, 149-154.

Palma López, D.J., Salgado García, S., Obrador Olán, J.J., Trujillo Narcía, A., Lagunes Espinoza, L. del C., Zavala Cruz, J., Ruiz Bello, A., y Carrera Martel, M.A. (2002). Sistema integrado para recomendar dosis de fertilización en caña de azúcar (SIRDF). *Terra Latinoamericana* 20, 347-358.

Materiales compuestos poliméricos a partir de fibras de *Agave cupreata* para fabricar mobiliario escolar sustentable

Georgina Montes de Oca Ramírez[1]
RESPONSABLE TÉCNICA

[2]Montserrat Contreras Hernández[a]
Adriana López León[a]
Italo Martínez Ponce[a]
Juan Manuel Rojas García[a]
P.N. Hernández Acuña[b]
Juan Martín Muñoz[b]

[1] Doctora en Ciencias Químicas por la UNAM. Posdoctorado en el desarrollo de metodologías para la dispersión de nanofibras de carbono en materiales compuestos poliméricos termoplásticos para impartir conductividad eléctrica a bajos niveles de carga, realizado en la Universidad de Alicante, España. Actualmente es líder de especialidad en CIATEQ Unidad Estado de México en la dirección de polímeros y materiales avanzados. Ha centrado su investigación en el desarrollo de materiales nanocompuestos y compuestos con fibras naturales, en laboratorio y en una planta piloto.

[2] [a] CIATEQ Unidad Estado de México. [b] Unión de Productores de Mezcal Xochicalehuálatl de Guerrero.

RESUMEN

En la región de Guerrero el proceso de elaboración de mezcal genera bagazo, el cual es desechado sin control y provoca focos de infección. Para mitigar tal situación, se analiza el comportamiento de esas fibras residuales como parte de un material compuesto en el que se mezclen con polipropileno. Tal material pudiera ser útil para fabricar mobiliario.

PALABRAS CLAVE

fibras naturales; materiales compuestos poliméricos

Introducción

Ante la necesidad de materiales más ligeros, más resistentes y, a la vez, amigables con el medio ambiente, surgió el interés por los compuestos poliméricos con fibras naturales. La finalidad es el desarrollo de materiales compuestos poliméricos a base de polipropileno y fibra de *Agave cupreata* para la elaboración de mobiliario escolar.

En el estado de Guerrero, durante el proceso de elaboración del mezcal se generan aproximadamente 600 ton/año de bagazo (Muñoz *et al.* 2014), residuo

que se desecha en tiraderos clandestinos que se convierten en focos de infección. Estas dos situaciones dieron origen al desarrollo de metodologías orientadas al aprovechamiento de fibras residuales de agave en la elaboración de materiales compuestos poliméricos.

El uso de fibras naturales cobra cada vez mayor importancia en el mundo por las ventajas que representan para el medio ambiente como recurso natural renovable, además de poseer baja densidad, alta rigidez y capacidad de biodegradarse (Muñoz *et al.* 2014; Fernández *et al.* 2009; Rao *et al.* 2010). Para garantizar la compatibilidad con la matriz polimérica las fibras se someten a un proceso de lavado, molienda, tamizado y modificación superficial; para esta última se utilizan dos agentes de acoplamiento: peróxido de dicumilo y trimetoxisilano. Una vez modificadas superficialmente las fibras se procede a preparar los materiales compuestos poliméricos para la elaboración del mobiliario escolar.

Etapa 1

Materiales y métodos

Las fibras del bagazo se lavaron con agua caliente y después se secaron en un horno de convección forzada durante 24 horas. A continuación se utilizó un molino universal Ika para molerlas hasta obtener partículas con tamaño aproximado de 500 µm (FIGURA 1). Para la modificación superficial de las partículas se utilizó N- [3- (trimetoxisilil) propil] -etilendiamina y peróxido de dicumilo (ambos de Sigma-Aldrich), ácido acético, acetona (proveedor J.T. Baker), metano (proveedor Tecsiquim) y agua desionizada (proveedor Meyer).

FIGURA 1

Partículas de agave limpias y molidas.

Imagen generada durante el desarrollo del proyecto.

Tratamiento superficial de las fibras de agave

Peróxido de dicumilo (DCP)

Se colocaron las partículas de fibra en una solución de peróxido de dicumilo en acetona al 2.5 % v/v durante una hora. Transcurrido ese tiempo de reacción, la solución se enfrió y decantó. Las fibras se lavaron para eliminar residuos del peróxido. Finalmente, las partículas de agave se secaron en un horno de convección durante 24 horas (M. Zimmermann *et al.* 2015; Madera *et al.* 2013).

N-[3-(trimetoxisilil) propil] etilendiamina (TEVS)

En un reactor de vidrio de 2 L de capacidad se colocaron las partículas de bagazo de agave y el N-[3-(trimetoxisilil) propil] etilendiamina disuelto en una solución de metanol/agua 90% v/v. La reacción se llevó a cabo durante cuatro horas a 25°C. Transcurrido ese tiempo, la solución se enfrío y decantó. Las fibras se lavaron para eliminar residuos de silano y después se secaron en un horno de convección durante 24 horas (M. Zimmermann *et al.* 2015; Madera *et al.* 2013).

DCP y TEVS

Se colocaron las partículas en un reactor de vidrio de 2 L de capacidad. Se adicionaron el peróxido de dicumilo y el silano disueltos en una solución metanol/agua (10:90). La reacción se llevó a cabo a 25ºC durante tres horas. Acto seguido, las partículas se separaron por filtración, se lavaron y después se secaron durante 24 horas (M. Zimmermann *et al.* 2015; Madera *et al.* 2013).

Caracterización de las fibras mediante FTIR, microscopía óptica y ATG

Al final de cada tratamiento químico las fibras se caracterizaron por espectroscopía de infrarrojo (FTIR) con un espectrofotómetro Agilent Varian 640-IR, el cual tiene un rango de medición de 400-4000 cm^{-1}. Se prepararon pastillas de KBr con las fibras de agave.

El análisis termogravimétrico (ATG) se llevó a cabo en un equipo Q50 de TA Instruments; se realizó en un rango de temperatura de 40°C a 600°C con una rapidez de 10°C/min en atmósfera de nitrógeno. Se siguió la norma ASTM E1131-08. La observación de las muestras se realizó mediante la técnica de microscopía óptica, con un microscopio de fluorescencia Zeiss, Axio Zoom V.16. Las muestras se dispersaron en metanol, el cual fue evaporado antes de la observación.

Resultados

En la figura 2 se observan las partículas de agave molidas y modificadas superficialmente. Presentan una forma aplanada y cuadrada con longitud promedio de 100 µm, con dispersión homogénea.

La figura 3 muestra los espectros de infrarrojo de las partículas de agave sin modificar y modificadas en superficie. Se observan las bandas a 1030-1617 cm^{-1} características de los grupos COC que están presentes en la celulosa. Se observan asimismo las bandas a 1238, 1317 y 1418 cm^{-1}, características de los grupos CH que se encuentran en la lignina y hemicelulosa. Mientras que las bandas CH y OH corresponden a vibraciones y estiramientos de la celulosa, hemicelulosa y lignina. En la figura 3b se observan bandas a una longitud de onda de 2920 cm^{-1} que corresponden a los enlaces C–O–C y CH_2 característicos de las vibraciones de metilos presentes en el peróxido de dicumilo. En la figura 3c se observa el espectro de las partículas de agave modificadas con silano; se presentan bandas a 1031 cm^{-1} de longitud características de los estiramientos C–O–C, mientras que las bandas 768-890 cm^{-1} corresponden a estiramientos asimétricos de los enlaces Si–O–Si y Si–O–C. En la figura 3d se observa el espectro de infrarrojo de las partículas modificadas con silano; se aprecia una banda característica a 1031-1026 cm^{-1} que corresponde a los enlaces Si–O y Si–O–Si, indicando que hubo una modificación química de la superficie de las partículas de agave.

En la figura 4 se observa el termograma de las partículas de *Agave cupreata* modificadas superficialmente y sin modificar. Presentan una primera pérdida de peso en el rango de 0-100°C, debido a la de agua y disolventes; una segunda reducción del peso se presenta en un rango de 100-200 °C debido a la pérdida de celulosa amorfa presente en las partículas de agave. La tercera se presenta de 200-400 °C debido a la pérdida del resto de celulosa.

Se puede observar que las partículas modificadas con TEVS y DCP-TEVS presentan valores de temperatura de degradación mayores que los de las partículas de agave no modificadas superficialmente.

Las partículas modificadas superficialmente de *Agave cupreata* presentan menor degradación en un rango de temperatura de 200-250°C, respecto a las fibras no modificadas, dando por lo tanto mayor estabilidad durante el procesamiento térmico para elaborar los materiales compuestos poliméricos.

FIGURA 2

Microscopía óptica de las partículas de *Agave cupreata* modificadas superficialmente.

Imagen generada durante el desarrollo del proyecto.

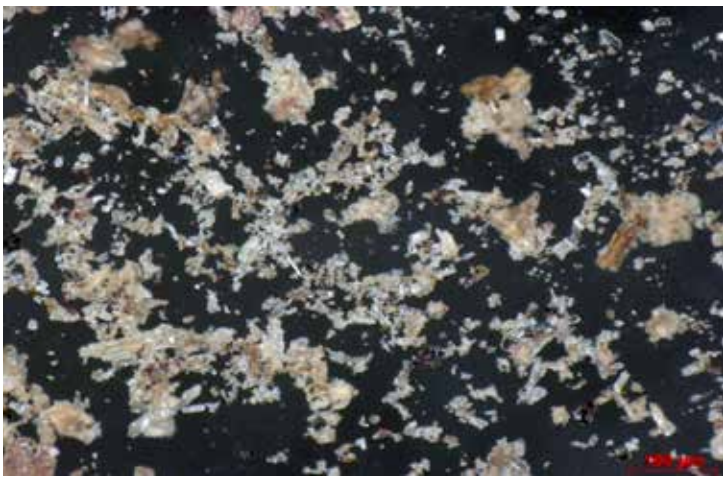


FIGURA 3

Espectro de infrarrojo de las partículas de *Agave cupreata*.

(a) Sin modificar.
(b) Modificadas, DCP.
(c) Modificadas, TEVS.
(d) Modificadas, DCP-TEVS.
Imagen generada durante el desarrollo del proyecto.

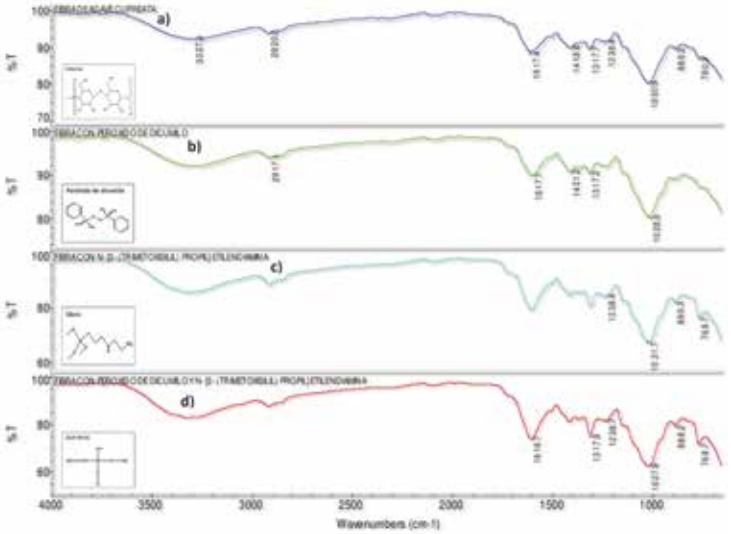
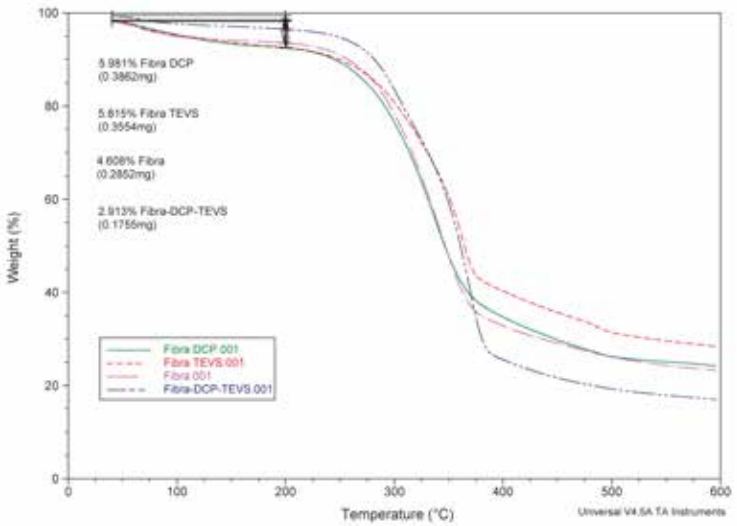


FIGURA 4

Termograma de las fibras de agave sin modificar y modificadas superficialmente.

Imagen generada durante el desarrollo del proyecto.



Potencial de aprovechamiento

Este proyecto, hecho en colaboración con la Unión de Productores de Mezcal Xochicalehuálatl de Guerrero, ha desarrollado un método experimental que permitirá el aprovechamiento del residuo orgánico generado en la producción de mezcal y fomentar su utilización en la elaboración de materiales compuestos poliméricos para diversas aplicaciones: fabricación de mobiliario, embalaje y transporte e industria de la construcción, entre otras posibilidades. Generará nuevos productos y fuentes de empleo. Por añadidura, al utilizarse las fibras residuales de *Agave cupreata* se evitará la propagación de focos infecciosos debidos al desecho sin control del bagazo después de la producción del destilado.

Bibliografía

Fernández, A., 2009, Por qué hay que proteger las fibras vegetales, http://www.ecodes.org/noticias/por-que-hay-que-proteger-las-fibras-naturales. (Agosto, 2010)

T. Madera, H. Soto y M. Richardson, 2013, Influence of surface treatments on the physicochemical properties of short sisal fibers: ethylene vinyl acetate composites, *Polymer engineering and science* 53(1), pp. 59-68.

H.J. Muñoz, J. García, V.M. Corla, H. Hernández y J. Hernández, 2014, Selección de plantas madre de *Agave cupreata* trel et berg. en Axaxacualco, Guerrero, México, *Foresta Veracruzana* 16(1), pp. 1-8.

Rao, K., Rao, M., Prasad, A., 2010, Fabrication and testing of natural fiber composites: vakka, sisal, bamboo and banana', *Journal of Materials and Design*. 31, pp. 508-513.

M. Zimmermann, V. Macedo, A. Zattera y R. Santana, Influence of chemical treatments on cellulose fibers for use as reinforcements in poly (ethylene-co-vinyl acetate) composites, *Polymer Composites* (37), 7, pp.1-10, 2015.

Desarrollo tecnológico de *Cordia elaeagnoides* en el municipio de Tumbiscatío, Michoacán, México

Crisanto Velázquez Becerra[1]
RESPONSABLE TÉCNICO

Serafín Solís Sandoval[2]

[1] Doctorado en Ciencias Biológicas con especialidad en biotecnología y materiales. Profesor e investigador de la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH). Experto en especies de interés forestal maderable, bajo las líneas de conocimiento en microbiología de la madera y biotecnología en especies forestales.

[2] Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

RESUMEN

En este trabajo se consiguió mejorar el índice de germinación en C. *elaeagnoides*, al evaluar la importancia e influencia de las características densitométricas de la semilla en esta especie. El proyecto se desarrolló en los municipios de La Huacana y Tumbiscatío, en el estado de Michoacán, México.

PALABRAS CLAVE

Cordia elaeagnoides; germinación; crecimiento; densitometría

Introducción

En México la cubierta vegetal se ha reducido drásticamente, ocasionando profundas alteraciones. Por ejemplo, la presencia de islas de vegetación primaria y secundaria rodeadas por terrenos degradados debido a la erosión del viento y la lluvia, diversos cultivos agrícolas, potreros, asentamientos humanos y plantaciones forestales monoespecíficas, muchas de ellas establecidas con especies exóticas. Es prioritario el estudio de especies de los bosques naturales a través de la identificación de árboles ejemplares y establecimiento de rodales semilleros (RS).[3]

[3] Área delimitada en un bosque natural dedicada a la producción de semillas.

Cordia elaeagnoides es una especie fuertemente explotada para la obtención de leña. Su población natural ha disminuido debido al cambio de uso de suelo y al bajo índice de germinación, ya que es susceptible a estaciones de lluvia y cambios de temperatura ambiental. Se han detectado RS que consideran individuos con características deseables, buena conformación, arbolado sano y edad óptima para la producción de semillas vigorosas, entre otros aspectos. La recolección de semilla se efectúa en los mejores individuos de la población (López 2009).

La viabilidad de la semilla depende de las características genéticas de la planta progenitora, condiciones climáticas en distintas etapas, grado de madurez en cosecha y el manejo de colecta. Otro factor que influye considerablemente en la conservación de la viabilidad de la semilla es la calidad y cantidad de sustancias químicas contenidas en el embrión (Doria 2010). El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar factores dasométricos en árboles semilleros de *C. elaeagnoides* y su relación con la viabilidad en semilla, con mayor eficiencia en la colecta del material vegetativo, así como la adaptación de plántulas en condiciones de vivero.

Planteamiento y desarrollo de la investigación

Etapas

Evaluación de rodales semilleros

A partir de los RS detectados como árboles semilleros de *C. elaeagnoides* y utilizando la base de datos de CONAFOR, se preparó un listado de los estudios realizados con esta especie, así como la documentación de autorización de germoplasma forestal, dictaminación de datos generales del predio, ubicación geográfica y superficie.

Estudio dasonómico

Para la obtención de datos, se tomó como base un formato de variables dasonómicas del manual de Unidades Productoras de Germoplasma Forestal (UPGF).

Selección de árboles

Al recolectar material vegetativo de *C. elaeagnoides* se consideraron características fenotípicas importantes como fuste, bifurcaciones, inserción y número de ramas, posición del dosel, plagas y enfermedades. Así se obtuvieron valores de las características de los árboles como excelentes, buenos o indeseables. Se caracterizaron los sitios geográficos de los que provienen las semillas y se seleccionaron nueve árboles de características sobresalientes, sanos, rectos y con abundante producción de semilla.

Recolección del material vegetativo

Durante el periodo de diciembre de 2015, diciembre a marzo de 2016 y diciembre a febrero de 2017, con la maduración de semilla, se procedió a la colecta de material vegetativo en nueve árboles y en tres posiciones de la copa arbórea en los RS (baja, media y alta). Se obtuvieron 24 muestras (225 semillas/muestra).

Pruebas de viabilidad

Con técnicas de ISTA[4] se realizaron pruebas de viabilidad y se acopiaron datos de peso, contenido de humedad, largo, ancho y diámetro de cada semilla, pruebas de flotabilidad y tinción con tetrazolio al 1 %.

Pruebas de germinación

Con los procedimientos ISTA se prepararon las semillas y sembraron en charolas de plástico y sustrato (vermiculita/*peat moss*/tierra de monte 1:1:1), bajo condiciones de cámara de crecimiento con luz y temperatura controladas (COFOM).

Resultados

Evaluación de RS

En los municipios de Tumbiscatío y La Huacana del estado de Michoacán, fueron ubicados y georreferenciados ocho rodales, pero únicamente se tomaron muestras de cuatro de ellos (FIGURA 1). Los sitios de muestreo se localizaron en los ejidos Las Cruces, Las Caramicuas, Los Chivos, Profesor Graciano Sánchez, Zicuirán y Caja de Zicuirán. El estudio tuvo una importante cobertura vegetal de *C. elaeagnoides* en las localidades muestreadas (TABLA 1).

Características densitométricas de los RS

Entre las características evaluadas más importantes se encuentran el diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura y diámetro de la copa, las cuales se exponen en la FIGURA 2A. Los valores fueron similares en los cuatro rodales evaluados. Por su parte, las muestras de semilla obtenidas sí fueron distintas, en función del estrato de la copa arbórea, tal como se muestra en la FIGURA 2B.

[4] International Seed Testing Association. Asociación Internacional de Pruebas en Semillas.

FIGURA 1

Ubicación de rodales semilleros con distribución de *Cordia elaeagnoides* en los municipios de Tumbiscatío y La Huacana, Michoacán.

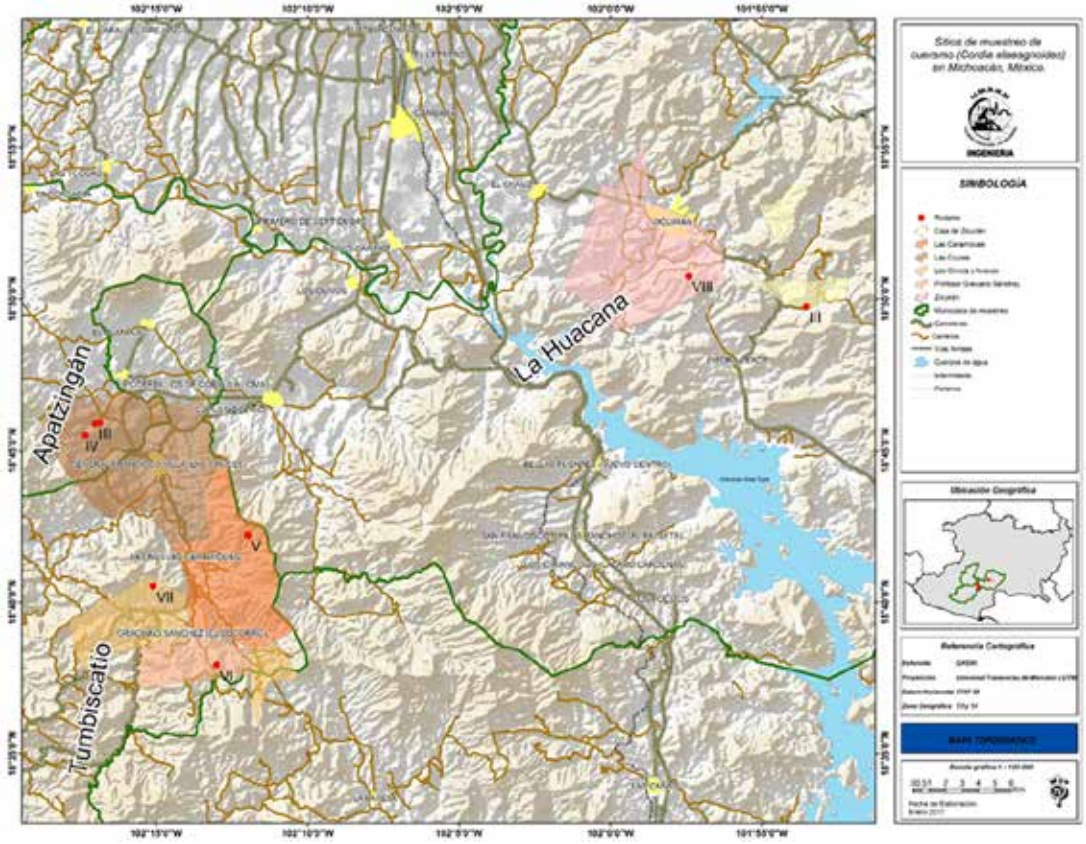


TABLA 1

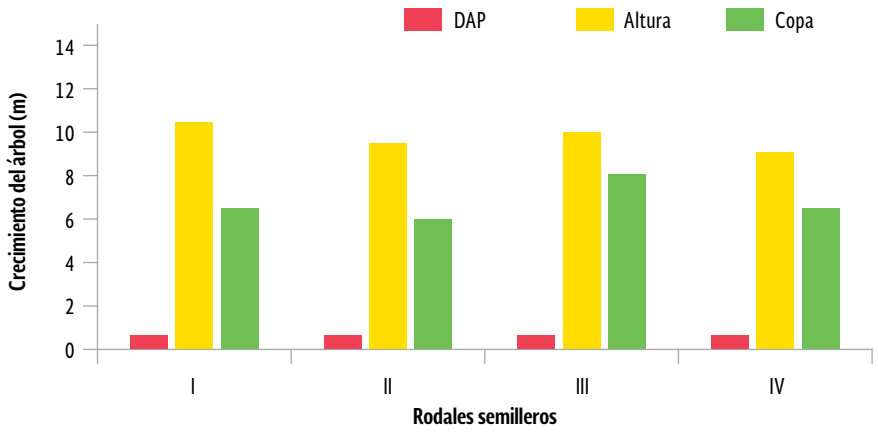
Cobertura de *Cordia elaeagnoides* y otras especies forestales en los municipios de estudio

Municipio y predio	Lugar	Altitud msnm	Clima	Precipitación anual (mm)		Longitud/Latitud	
Tumbiscatío/Las Cruces	Manila I	354	BS1(h')w	744		18°45´53.37"/102°17´00.73"	
	Manila II	300	BS1(h')w	742		18°45´55.50"/102°16´50.47"	
	Cuirindales IV	362	BS1(h')w	746		18°45´30.47"/102°17´20.30"	
Especie	Cueramo[1]	Frijolillo[2]	Rosa Morada[3]	Parota[4]	Mezquite[5]	Quiringuca[6]	Papelillo[7]
Cobertura (%)	30	30	20	10	NI	NI	NI
La Huacana/Caja de Zicuirán	Caja III	297	BS1(h')w	627		18°49'45.3"/101°53'32.2"	
Especie	Cueramo[1]	Frijolillo[2]	Rosa Morada[3]	Parota[4]	Mezquite[5]	Quiringuca[6]	Papelillo[7]
Cobertura (%)	10	6	7	NI	7	NI	NI

NI= no inventariado.
[1] *C. elaeagnoides*; [2] *Caesalpinia platiloba*; [3] *Tabebuia rosea*; [4] *Enterolobium cyclocarpun*; [5] *Prosopis leavigata*; [6] *Andira inermis*, y [7] *Bursera simaruba.*

FIGURA 2

Caracterización dasométrica de los árboles de *Cordia elaeagnoides*, en los diferentes rodales semilleros seleccionados: Manilla I, Manilla II, Caja III y Cuirindales IV.



Copa Arbórea*	Peso obtenido por muestra (g)**	Semillas por gramo	Rendimiento (Semillas/Kg)	Contenido de humdad (%)
Alta	83.83 (±2.75)	35.75 (±0.59)	35,750 (±592.93)	8.48 (±0.16)
Media	78.71 (±1.93)	35.75 (±0.67)	35,000 (±517.55)	8.50 (±0.21)
Baja	53.36 (±5.32)	40.00 (±2.13)	42,250 (±2056.95)	8.12 (±0.18)

(A) El Diámetro la Altura del Pecho (DAP), altura total y tamaño de la copa.
(B) Características de las muestras de semilla obtenidas a partir del estrato de la copa arbórea.
*, ** Los datos representan la muestra total obtenida sin previa limpieza de semilla.

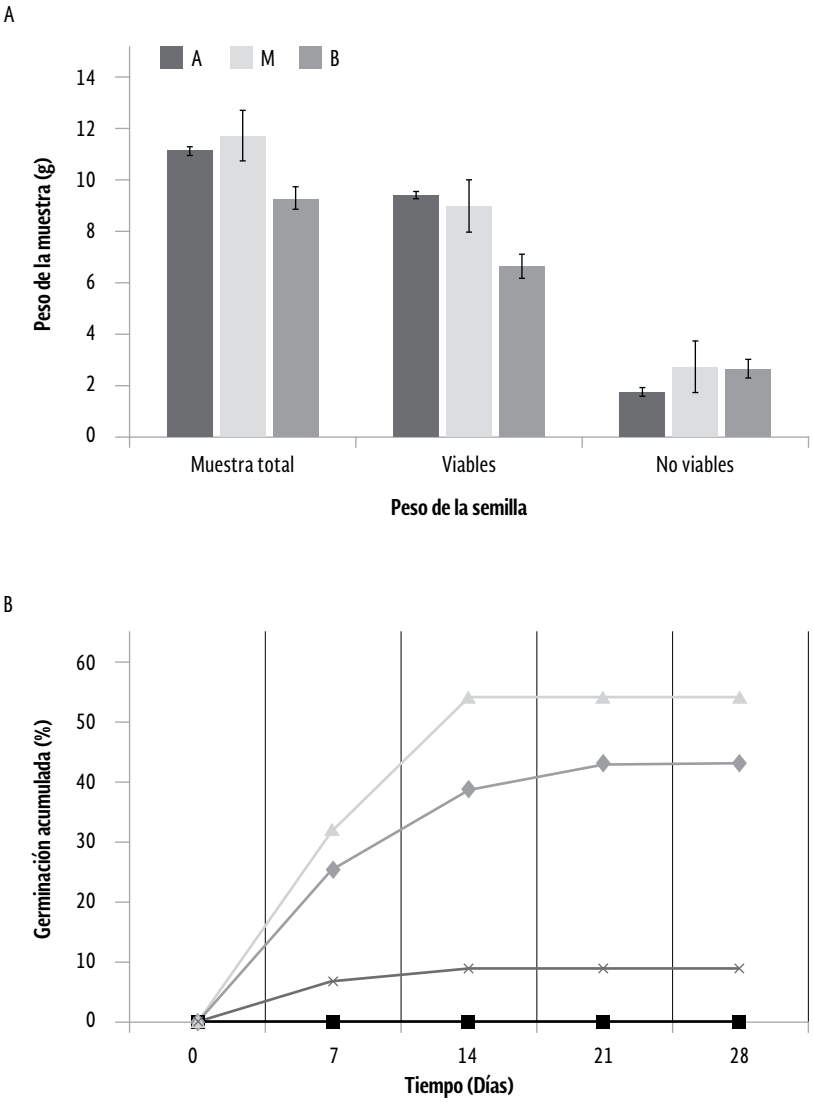
Pruebas de viabilidad y germinación

En los ensayos de viabilidad en semilla se registró que aumenta si las muestras provienen de estratos altos (FIGURA 3A) y la mayor parte de las muestras tomadas corresponden a semillas potencialmente viables.

Del mismo modo, las pruebas de germinación indicaron que es posible obtener hasta 53% de eficiencia en condiciones de vivero, siempre que se mantengan controladas la humedad, la luz y la temperatura, conforme a las empleadas en la localidad de Las Cruces (FIGURA 3B).

FIGURA 3

(A) Peso de semillas viables de acuerdo con el estrato de la copa arbórea. (B) Porcentaje de germinación acumulada según el sitio.



Los sitios corresponden a
(■) Invernadero de las instalaciones de la UMSNH/Morelia;
(♦) Banco de Germoplasma COFOM/Morelia;
(▲) Vivero Las Cruces/Tumbiscatío, y
(×) Banco de Germoplasma COFOM/Morelia.

Aprovechamiento

El cueramo (*Cordia elaeagnoides*) es un árbol maderable utilizado para la construcción y para producir muebles finos. También se le considera melífero y participa en la restauración de suelos degradados por su alta producción de hojas. Estas características lo convierten en una especie de alta importancia económica y de interés forestal maderable.

Los limitados resultados en investigación de la especie, en cuanto a promover su índice de germinación y generar una alternativa para su aprovechamiento han motivado este estudio. Nuestro trabajo contribuye al conocimiento del uso sustentable y la propagación de la especie, y brindará conocimiento a los productores de la región donde se distribuye, mejorando su manejo con técnicas reproductivas que favorezcan la selección de semilla y aumenten el porcentaje de germinación para la producción de planta forestal.

Bibliografía

Asociación Internacional de Ensayos de Semillas (ISTA), http://www.fao.org/forestry/4995/es/

CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2004. Programa Nacional para el Manejo de los Recursos Genéticos Forestales 2004-2005. SEMARNAT. México. 35 p.

Doria, J. (2010). Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos tropicales*, *31*(1).

López, 2009. Selección de árboles y conversión de un ensayo de procedencias a un rodal semillero. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 32 (abril-junio).

Valoración económica de los servicios ecosistémicos de las islas del Golfo de California

Luis César Almendarez Hernández[1]
RESPONSABLE TÉCNICO

[2]Marian Rodríguez Fuentes[a]
José Alberto Zepeda Domínguez[a]

[1] Economista. Maestría en Manejo de Recursos Marinos y doctorado en Ciencias Marinas. Pertenece al SNI. Desde su incorporación al IPN (septiembre de 2014) comenzó a liderar investigaciones sobre temas vinculados a los recursos pesqueros más relevantes del país. Participa con regularidad en estudios que permiten el manejo sustentable de las principales pesquerías de México. Cuenta con publicaciones de impacto nacional e internacional. Dirige tesis de licenciatura y posgrado e imparte tres cursos en este último. Ha dirigido diversos proyectos de investigación.

[2] [a] Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional.

RESUMEN

Caso de estudio de Isla Cerralvo y comunidades aledañas dedicadas a la pesca deportiva y recreativa. A partir de encuestas a turistas que pescan en esa zona de Baja California Sur, se estimó un modelo de demanda de visitas, se identificó el perfil del pescador y los atributos que valora para volver al sitio.

PALABRAS CLAVE

perfil del pescador; pesca deportiva; área natural protegida; valoración económica; costo-viaje; Baja California Sur

Introducción

La pesca deportiva es una actividad recreativa o de esparcimiento que agrupa a los pescadores en función de las temporadas de abundancia y distribución de las especies objetivo. Esta actividad se ha convertido en una de las formas de turismo de más rápido crecimiento en México y ha aumentado su alcance y atractivo en el ámbito internacional gracias a las campañas impulsadas por el país en el extranjero. Cada año hay múltiples iniciativas nuevas que enriquecen la oferta mexicana para el desarrollo de la pesca recreativa; entre ellas se incluyen nuevos y alejados

sitios de pesca. Todo esto, junto a los sistemas de promoción turística y al aparato normativo de esta actividad, le confieren un creciente potencial y desarrollo como actividad recreativa de bajo impacto ambiental (Ibáñez Pérez 2014).

En el estado de Baja California Sur la pesca deportiva representa una actividad económica de gran relevancia en cuanto a ingresos por divisas y creación de empleos, con un efecto multiplicador en la propia pesca, el turismo y la industrialización (Hernández-Trejo *et al.* 2012). Los principales destinos donde arriban los pescadores son Los Cabos, Los Barriles-Buenavista, Loreto y La Paz; sin embargo, en las dos últimas décadas un número importante de pescadores tradicionales de las localidades aledañas a Isla Cerralvo han optado por convertirse en prestadores de servicios turísticos, principalmente de pesca deportiva y recreativa (Avilés Amador 2013).

Planteamiento y desarrollo de la investigación

No hay un estudio anterior al presente, acerca de la pesca deportiva en las inmediaciones de Isla Cerralvo, la cual forma parte del área natural protegida (ANP) Islas del Golfo de California. En este sitio se concentra un número considerable de pescadores deportivos que generan una actividad económica aún no cuantificada. El objetivo de este trabajo es analizar el impacto económico de la pesca deportiva y recreativa en Isla Cerralvo y localidades aledañas que prestan servicios turísticos, así como la demanda potencial de otras actividades recreativas para esta región. El área de estudio abarca a las localidades de El Sargento, La Ventana y Ensenada de Muertos como sitios de concentración para prestadores de servicios turísticos y usuarios visitantes para la pesca deportiva.

Para estimar el tamaño de muestra se consultó directamente a los prestadores de servicios en el área de estudio (TABLA 1). Esto se debió a la ausencia de registros oficiales de los viajes realizados por las embarcaciones de pesca deportiva, específicamente al sitio de interés.

TABLA 1

Información proporcionada por los prestadores de servicios de pesca deportiva

Temporada	Meses del año	Semanas	Viajes por semana	Pescadores promedio por lancha	Lanchas reportadas	Visitantes
Alta	abr-nov	31	5	2	82	25,420
Baja	dic-mar	21	1	2	82	3,444
					Total (N)	**28,864**

Con base en lo anterior se obtuvo un universo aproximado de 28,864 y se utilizó un muestreo aleatorio simple para calcular el tamaño de la muestra:

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

donde:

n = Tamaño de muestra.

N = Tamaño del universo.

Z = Desviación del valor medio que se acepta para lograr el nivel de confianza deseado. En este caso se utilizó el 95% de confianza (Z = 1.96).

e = Margen de error máximo admitido (para este caso 5%).

p = Proporción de individuos de la población que poseen la característica (para este caso 0.5, considerando el error en el peor de los casos).

El trabajo se apoyó en el método de valoración económica por costo de viaje, que es un método indirecto para inferir un valor económico que se asigna a la pesca recreativa. Se utilizó un modelo de conteo de datos (Haab & McConell 2002), ya que especifica la cantidad demandada de viajes como un número aleatorio no negativo y con una media independiente de regresores exógenos (Preez & Hosking 2011). El modelo econométrico para estimar la demanda de viajes V_{ij} del individuo *i* para el sitio *j* (Isla Cerralvo), con argumentos explícitos se muestra en la siguiente ecuación:

$$V_{ij} = f\,(CV_{ij}, HV_{ij}, E_{ij}, I_{ij}, EP_{ij}, TV_{ij});\ i = 1 \ldots n$$

donde:

CV_{ij} = costo total de viaje para visitar el sitio j;

HV_{ij} = tiempo total (horas) del viaje para llegar al sitio j;

E_{ij} = edad de los visitantes;

I_{ij} = ingresos anuales;

EP_{ij} = experiencia en pesca, y

TV_{ij} = tiempo (años) que tiene visitando el sitio j.

Principales resultados preliminares

El tamaño calculado de muestra fue 379 encuestas, las cuales representarían adecuadamente los resultados obtenidos en este trabajo. Entre agosto de 2016 y mayo de 2017 se han realizado 234 encuestas del total de la muestra, con el propósito de recabar datos acerca del pescador deportivo, como son edad, género, escolaridad, motivo principal del viaje al sitio, costos totales asociados al viaje de pesca, ingresos anuales y sitios sustitutos, entre otros. El final del muestreo se programó para agosto de 2017.

La aplicación de las encuestas se realizó cara a cara y de manera anónima, con el objetivo de asegurar que la información que brindaba el entrevistado fuera lo más representativa de la realidad. El muestreo se realizó en cuatro días del mes, dos días a la mitad y dos al final, con el propósito de no repetir la encuesta a los visitantes que ya habían respondido.

En general se identificó que 89% de los pescadores deportivos son hombres; 68% tienen una edad superior a 40 años, y 74% cuentan con estudios universitarios o superiores. En cuanto a ocupación, la mayoría son empleados (78%); después se encuentran los retirados (16%); enseguida, los jubilados (5%), y los estudiantes son minoría (1%). Por otro lado, 61% de los visitantes provienen de Estados Unidos de América, 32% son nacionales y el resto de otros países.

La estadística descriptiva de las variables utilizadas en el análisis de regresión se presenta en la TABLA 2. Se puede observar que los visitantes realizan, en promedio, casi tres viajes al sitio de estudio por año, incurriendo en un costo total de alrededor de $2,876 dólares americanos (USD) y un tiempo estimado de casi cinco horas para arribar al lugar. En general, el turista que visita Isla Cerralvo tiene más de 40 años (70%).

TABLA 2

Estadística descriptiva de las variables utilizadas en el modelo de demanda de recreación

Variable	Obs.	Media	Min	Max
Visitas	127	3	0	50
Costo total del viaje (USD)	127	$2,876	$7.51	$70,000
Tiempo total del viaje (días)	127	4.89	0.10	26
Edad (años)	127	4.71	1	7
Ingresos anuales (USD)	127	$87,612	$2,105	$500,000
Experiencia en pesca	127	2	1	3
Tiempo que tiene visitando el sitio (años)	127	8.46	0	40

Por otro lado, la encuesta también reveló que los pescadores deportivos perciben ingresos anuales, antes de impuestos, de alrededor de USD $87,000 (TABLA 2). En promedio los pescadores cuentan con un nivel de experiencia intermedia y tienen entre ocho y nueve años visitando Isla Cerralvo y sus inmediaciones.

Los resultados del modelo de conteo de datos para estimar la demanda de viajes de pesca recreativa se presentan en la TABLA 3. El modelo estimado obtuvo un R^2 de 0.612 y un R^2 ajustado de 0.592. El coeficiente estimado para el costo de viaje es negativo y significativo. El signo negativo de esta variable sugiere una curva de demanda con pendiente negativa, indicando que los visitantes viajarán menos si el costo de viaje aumenta. Este resultado es respaldado con solidez por la variable del tiempo total del viaje para arribar al sitio, con coeficiente negativo y significativo.

Por otro lado, las variables con coeficientes positivos y significativos son la experiencia de pesca, la edad, el tiempo que tiene visitando el sitio y el ingreso, según la magnitud de cada coeficiente (TABLA 3). Los resultados sugieren que la pesca deportiva genera un valor económico de poco más de USD $83 millones al año.

TABLA 3

Descripción de las variables y resultado del análisis econométrico del modelo por costo de viaje

Nombre de la variable	Símbolo	Signo esp.	Coef.	Error estándar	Estadístico-z	Prob.
Variable dependiente						
Visitas	V					
Variables independientes						
Constante	C		-6.035894	2.592224	-2.328461	0.0199
Costo total del viaje	CV	-	-0.033515	0.010942	-3.063007	0.0022
Tiempo total del viaje	HV	-	-0.463275	0.336818	-1.375445	0.1690
Edad	E	+	0.581933	0.183182	3.176799	0.0015
Ingresos	I	+	0.000016	0.000005	3.171409	0.0015
Experiencia en pesca	EP	+	3.287572	0.819468	4.011837	0.0001
Tiempo que tiene visitando el sitio	TV	+	0.081882	0.045836	1.786422	0.0740

Aprovechamiento para el sector ambiental

Conocer la importancia de la pesca deportiva y las características de los visitantes (ingresos, escolaridad, origen, ocupación, etc.) que arriban a la zona puede ayudar a las autoridades encargadas del manejo de los recursos naturales a hacer más eficientes sus campañas de promoción y difusión, así como a favorecer a la población dependiente de esta actividad. Los beneficios generados por la promoción de la pesca deportiva en Baja California Sur pueden optimizarse (Óptimo de Pareto) si se identifica con mayor precisión el tipo de turista que puede dejar mayor derrama económica. Una fracción de los recursos obtenidos por el cobro de licencias de pesca deportiva se destina a la vigilancia de los recursos marinos; en la medida en que el ingreso por este concepto aumente, mayor será el presupuesto que la autoridad pueda dirigir a esta tarea.

Bibliografía

Avilés Amador, E.M. 2013. *Diagnóstico de la organización de las actividades recreativas acuáticas en temporada alta de la Bahía de La Ventana, B.C.S., México*. Universidad Autónoma de Baja California Sur. Departamento de Economía. Trabajo terminal profesional. 68 p.

Haab, Timothy & McConell, Kenneth. 2002. *Valuing Environmental and Natural Resources: The econometrics of non-market valuation.* Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 321 p.

Hernández Trejo, V.A., G. Ponce Díaz, D. Lluch-Belda & L.F. Beltrán Morales. 2012. Economic benefits of sport fishing in Los Cabos, México: is the relative abundance a determinant? In: F.D. Pineda & C.A. Brebbia (eds). Sustainable Tourism V. WIT Press. *Transactions on Ecology and The environment* 161: 165-176.

Ibáñez Pérez, R. 2014. Turismo y sustentabilidad en pequeñas localidades costeras de Baja California Sur (VCS). *El Periplo Sustentable* 26: 67-101.

Preez, M. & S.G. Hoskins. 2011. The value of the trout fishery at Rhodes, North Eastern Cape, South Africa: a travel cost analysis using count data models. *Journal of Environmental Planning and Management* 54:2, 267-282 pp.

Biodiversidad y servicios ambientales en una cuenca periurbana de la Ciudad de México

Víctor Daniel Ávila Akerberg[1]

[1] Licenciatura en Biología y maestría en Restauración Ecológica por la UNAM. Doctorado en Recursos Naturales por la Universidad de Friburgo, Alemania, en 2009. Realizó una estancia posdoctoral en la Universidad Sueca de Ciencias Agrícolas. Tiene amplia experiencia en proyectos de manejo y conservación de recursos naturales, biodiversidad y servicios ambientales en bosques templados y educación ambiental. Es investigador de tiempo completo del Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales de la Universidad Autónoma del Estado de México. SNI-I. Profesor de asignatura B en la UNAM.

RESUMEN

Este proyecto caracteriza y valora integralmente la biodiversidad y los servicios ecosistémicos de la cuenca Presa de Guadalupe, para su conservación y aprovechamiento sustentable. Se caracterizan y evalúan servicios de provisión, regulación, culturales y de soporte, y se levantan entrevistas de percepción y valoración, para valorar integralmente los servicios ecosistémicos.

PALABRAS CLAVE

biodiversidad; cuenca periurbana; ecosistemas; evaluación

Introducción

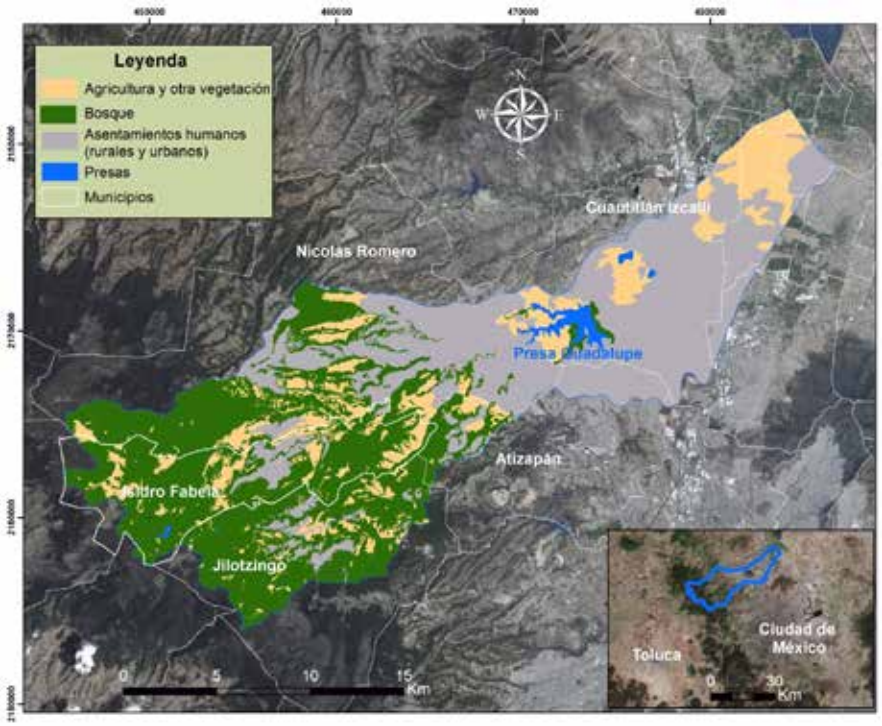
El eje fundamental en la agenda ambiental, desde la Cumbre de Río de Janeiro en 1992, es lograr un desarrollo sustentable en el que haya equilibrio entre el bienestar de la naturaleza y el del ser humano. Desde entonces se ha generado una mayor consciencia ecológica de la importancia del desarrollo humano sin el deterioro de la naturaleza.

La economía, como el estudio de la repartición de recursos limitados, se sostiene con la valoración para brindar información a la sociedad del nivel relativo de escasez de los recursos. "Millennium Assessment" (MA 2005)[2] define los servicios ecosistémicos como todos los beneficios que los hombres obtienen de los ecosistemas; es decir, las condiciones y procesos en donde los ecosistemas naturales y las especies que habitan en ellos satisfacen las necesidades del hombre. El valor de los servicios ecosistémicos y la biodiversidad es un reflejo de lo que nosotros, como sociedad, estamos dispuestos a sacrificar para conservarlos. La valoración económica de los servicios ecosistémicos y la biodiversidad puede hacer explícito a la sociedad en general y a los tomadores de decisiones en particular, que la biodiversidad y los servicios ecosistémicos son escasos y que su degradación o depreciación tienen costos asociados para la sociedad.

El proyecto tiene como meta la evaluación integral de la cuenca Presa de Guadalupe (Conagua 2008; Comisión Cuenca Presa de Guadalupe 2014), al noroeste de la Ciudad de México, la cual brinda bienes y servicios ambientales a por lo menos 1,500,000 personas de manera directa (FIGURA 1).

FIGURA 1

Mapa de localización y uso de suelo de la cuenca Presa de Guadalupe.



Fuente: Elaboración propia como parte del proyecto con imágenes de spot de 2015.[3]

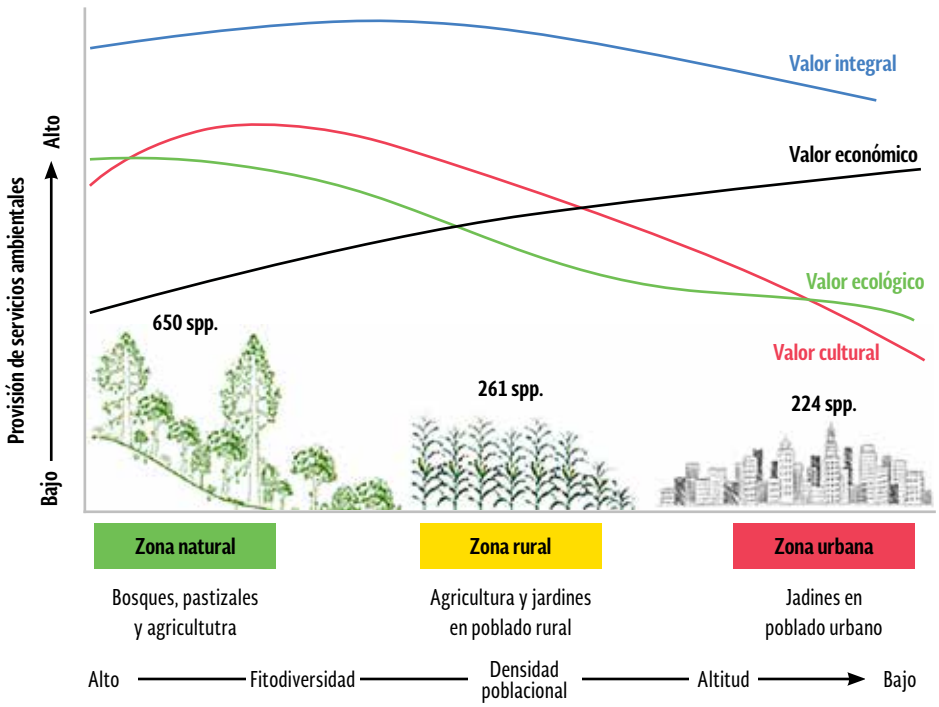
[2] *Millennium Ecosystem Assessment.*

[3] SPOT, *Satellite Pour l'Observation de la Terre. Satélite para la observación de la Tierra.*

Se aplican metodologías para la evaluación y valoración integral de los bienes y servicios en bosques, zonas agropecuarias y jardines en casas rurales y urbanas del área de estudio. Hay diferentes métodos para estimar el valor de los servicios que generan los ecosistemas y la biodiversidad; todos tienen ventajas y desventajas, y por eso es recomendable utilizar metodologías híbridas que puedan reducir algunas de las desventajas. Los métodos de valoración son altamente dependientes de los contextos sociales, culturales y económicos; la mejor valoración se obtiene identificando e incluyendo a actores sociales relevantes. En este proyecto se caracterizan y evalúan servicios de provisión (agua, productos forestales maderables y no maderables, alimentos en suelos agrícolas), de regulación (almacén y captura de carbono en suelo y árboles, infiltración y calidad de agua), culturales (actividades recreativas y de turismo, capital social) y de soporte (conservación de la biodiversidad). Partiendo de una división del territorio, con el apoyo de imágenes satelitales recientes y de alta resolución (*spot*), se hacen muestreos estratificados aleatorios en zonas de bosque, tierras agrícolas, jardines de casas, cuerpos de agua y ríos, para caracterizar la biodiversidad y los servicios ambientales. Además se levantan entrevistas de percepción y valoración a diferentes actores (dueños de la tierra, visitantes, autoridades, otros investigadores, etc.). Todo esto permite valorar integralmente (valores ecológico, económico y cultural) los servicios ecosistémicos (FIGURA 2).

FIGURA 2

Esquema de las unidades de paisaje en la cuenca Presa de Guadalupe.



Se muestran los cambios en la valoración y la riqueza de la diversidad de plantas para las zonas natural, rural y urbana.

Esta investigación permite entender cómo se distribuyen las unidades de vegetación y uso de suelo, qué biodiversidad albergan, los servicios ecosistémicos que proveen y su valoración integral, así como conocer las percepciones y necesidades de los diferentes actores en el uso y cuidado de los bosques y tierras agrícolas, entre otros, identificando las principales amenazas y oportunidades. También se transfiere la información básica generada a niños y jóvenes a través de talleres de educación ambiental, y a tomadores de decisiones locales (FIGURA 3).

FIGURA 3

Pláticas de educación ambiental para transferencia de información generada.

Se muestra un ejemplo de una charla (A); ganadoras (B), y carteles promocionales para los concursos de 2016 (C y D).

Los informes, bases de datos, publicaciones en revistas indexadas, formación de recursos humanos, tesis, vínculos interinstitucionales, pláticas de educación ambiental y presentaciones en foros nacionales e internacionales, servirán para dar a conocer la importancia biológica y de provisión de servicios ambientales de la zona de estudio, su problemática y las percepciones de los principales actores, con el objetivo de contar con información actual e integral para la toma de decisiones hacia la gestión ambiental del territorio, promoviendo su desarrollo sustentable. La información generada y las metodologías utilizadas serán de gran utilidad para el entendimiento, conservación y manejo sustentable de los bosques en esta zona y las demás áreas forestales que rodean a la Ciudad de México.

Principales resultados

Transferencia de información

Se ha impartido un taller de educación ambiental a más de 7,000 niños y jóvenes (4° de primaria a 3° de preparatoria) en escuelas rurales y urbanas de los municipios de Isidro Fabela, Jilotzingo y Nicolás Romero.

Formación de recursos humanos

Se tituló a una alumna de la licenciatura en Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias, UNAM, y a un alumno de la maestría en Agroindustria Rural, Desarrollo Territorial y Turismo Agroalimentario, UAEM.

Están por titularse dos alumnos de la licenciatura en Biología, Facultad de Ciencias, UAEM.

Bibliografía

Aguilar, A.G. 2008. Peri-urbanization, illegal settlements and environmental impact in Mexico City. *Cities* 25:133-145.

Ávila-Akerberg, V. 2010. Forest quality in the southwest of Mexico City. Assessment towards ecological restoration of ecosystem services. *Culterra* 56, Institut für Landespflege. Freiburg, Alemania.

Conagua (Comisión Nacional del Agua), CCPG (Comisión de Cuenca Presa Guadalupe). 2008. *Programa hídrico de gran visión de la Cuenca Presa Guadalupe*. Fecha de consulta: febrero 2014. Disponible en: http://cuencapresaguadalupe.org/documentacion/programa-h%C3%ADdrico.html

De Groot, R.S., Wilson, M.A., & Boumans, R.M. 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 408.

MA (Millenium Ecosystem Assessment). 2005. *Ecosystems and human well-being: Our human planet. Summary for decision makers*. Island Press, Washington DC.

Integridad ecosistémica de una comunidad indígena frente al crecimiento de la ciudad de Ixmiquilpan, Hidalgo

Marcelo Rojas Oropeza[1, a]
RESPONSABLE TÉCNICO

Nathalie Cabirol[a]
Leonardo O. Alvarado Cárdenas[b]

[1] Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México: [a] Grupos de trabajo "Ecología microbiana funcional del suelo" y "Protección ambiental", Departamento de Ecología y Recursos Naturales, y [b] Grupo de trabajo "Plantas vasculares", Departamento de Biología Comparada.

RESUMEN

Caso de estudio: integridad ecosistémica de la comunidad indígena hñahñu de El Alberto, como garantía de "cinturón verde" frente al crecimiento del municipio de Ixmiquilpan, en el estado de Hidalgo, que presenta un crecimiento alto, con riesgo de sobreexplotación de los recursos naturales, y donde es necesario evitar el avance de la degradación ambiental.

PALABRAS CLAVE

sustentabilidad; conservación; reforestación; agroecología; valoración económica

Introducción

La integridad ecosistémica generalmente permite el asentamiento humano y la actividad social para su desarrollo. Sin embargo, el crecimiento urbano de las sociedades causa un desequilibrio en esta relación y provoca eventos con efectos negativos y riesgos a mediano y largo plazo sobre la integridad de los ecosistemas, y por lo tanto de la actividad social. El principal desacierto de esta relación ecosistema *versus* sociedad es el crecimiento poblacional y, con éste, el urbano. El actual modelo de valoración económica y explotación de los recursos naturales es principalmente de sobreexplotación y de degradación ambiental.

Las actuales políticas globales sobre el medio ambiente tienden hacia una revalorización, hacia un desarrollo sustentable en el que los pilares ecología, economía y sociedad tienen la misma importancia. Bajo este nuevo esquema, el reto es preservar y conservar la integridad del ecosistema y, en el caso que se necesite, restaurarlo. Para enfrentar tal reto es necesario plantear nuevos métodos de análisis que modelen simultáneamente el desarrollo económico junto con la sociedad y el ambiente. Pero sobre todo se valora la preservación de los recursos para las futuras generaciones tomando en cuenta la diversidad biológica (ecosistémica, poblacional y genética) en todo tipo de sociedad (rural, urbana e industrial). La complejidad de dicha relación sociedad/economía/ecología lleva a la necesidad de una gestión distinta.

Es de este modo que se redimensiona la comprensión del valor agroecosistémico *versus* la revolución verde; los ecosistemas naturales *versus* áreas protegidas, y también la transformación de los recursos y la materia *versus* la ciencia y tecnología. Por ejemplo, los "cinturones verdes" pueden ser estrategias para conservar esta integridad ecosistémica *versus* el crecimiento urbano en una región. La comprensión de los "cinturones verdes" como recurso de contención, preservación y conservación (como zona de amortiguamiento entre corredores biológicos) requiere de una cooperación interinstitucional (sociedad, academia y gobierno) y al interior de cada institución, para garantizar su función sustentable.

El municipio de Ixmiquilpan no escapa a este esquema de desarrollo incontrolado. Actualmente se encuentra en un crecimiento alto, con riesgo de sobreexplotación de los recursos naturales y de degradación ambiental. Antes de llegar a este punto, es primordial proponer una estrategia de desarrollo de "cinturones verdes" dentro de un ordenamiento territorial.

La zona montañosa al sur de Ixmiquilpan (parte del Eje Neovolcánico) alberga el territorio de la comunidad indígena hñahñu El Alberto, y las comunidades vecinas de Maguey Blanco, Dios Padre, La Estancia, Panales y El Dadho. Todas ellas comparten un "cinturón verde", que se puede considerar en buen estado de conservación, en donde es importante evaluar la calidad como banco de germoplasma en relación directa con su variabilidad genética, en las cuales se encuentran especies vegetales protegidas de la norma oficial mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010.[2]

Sin embargo, las comunidades Panales, Dios Padre y La Estancia presentan una fuerte presión demográfica por la mancha urbana de Ixmiquilpan; mientras que Maguey Blanco, El Dadho y El Alberto, parte norte del valle de Mezquital, sufren una fuerte presión sobre la explotación de su árbol icónico, el mezquite (*Pro-*

[2] Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo, *Diario Oficial,* 30 de diciembre de 2010

sopis laevigata el principal representante), además de una pérdida de fertilidad de los suelos de la zona especialmente por el riego con aguas negras y el cambio de uso de suelo. Por lo tanto, el desarrollo de "cinturones verdes" debe basarse sobre el análisis de los valores de la biodiversidad de la región junto con su agrobiodiversidad, para que permitan conservar la variabilidad genética, fomentar la fertilidad de los suelos y generar mercados viables. La comunidad indígena hñahñu El Alberto representará el estudio de caso necesario para poder fomentar y desarrollar el "cinturón verde" del municipio de Ixmiquilpan, Hidalgo.

Es primordial obtener información del valor económico y social del ecosistema semidesierto y semiárido que caracteriza a la comunidad de El Alberto; información que, a través de un análisis de factibilidad y sostenibilidad, en su calidad de "cinturón verde" asegure los servicios ecosistémicos frente al crecimiento urbano de Ixmiquilpan y áreas periurbanas.

Área de estudio

El Valle del Mezquital conforma una macrorregión de 27 municipios, caracterizada por un clima semidesértico, con temperaturas extremas durante el día. Presenta escasa precipitación y la vegetación es principalmente xerófila. La temperatura promedio es de 18°C; en enero, el mes más frío, se registra una temperatura promedio de 13°C, y de junio a agosto, los meses más cálidos, se registra una temperatura de 21°C. La precipitación anual promedio es de 409 mm. La región se divide en tres subregiones que tiene diferentes características de suelo, y esto determina que la población se relacione de distinta manera con el entorno.

La subregión de interés para este estudio es la centro-sur, cuyo clima es semiseco y se extiende como una franja desde el centro hacia el sureste. El suelo de esta región ha sufrido importantes modificaciones debido a la introducción de canales de riego que lo hacen propicio para la agricultura y permiten diversificar los cultivos, con el consecuente aumento del volumen de producción (CDI 2006).[3]

Dentro de la subregión centro-sur del Valle del Mezquital se encuentra la región de Ixmiquilpan, que comparte con Tula y Actopan una serie de características físicas, históricas, culturales y étnicas que determinan la dinámica regional interna. Ixmiquilpan se encuentra dentro de la zona hidrológica del río Pánuco; la corriente principal de esta región es el río Moctezuma, uno de los más caudalosos del estado de Hidalgo y que tiene como principal afluente al río Tula (FIGURA 1).

[3] CDI, Comisión para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas.

Una gran extensión del territorio de esta región presenta un clima semiseco templado, con temperaturas registradas entre 14 y 21°C, con una precipitación anual entre 363 y 480 mm. Cuenta con dos presas, doce ríos y ocho arroyos, fundamentales para un clima templado (Cuaderno Región VI Ixmiquilpan). El llamado Valle del Mezquital, originalmente una región desértica, es el asiento de una significativa actividad agropecuaria que se desarrolló a partir de la recepción de las aguas residuales de la Ciudad de México, que alimentan al Distrito de Riego 003 de Tula (Cuaderno Región VI Ixmiquilpan).

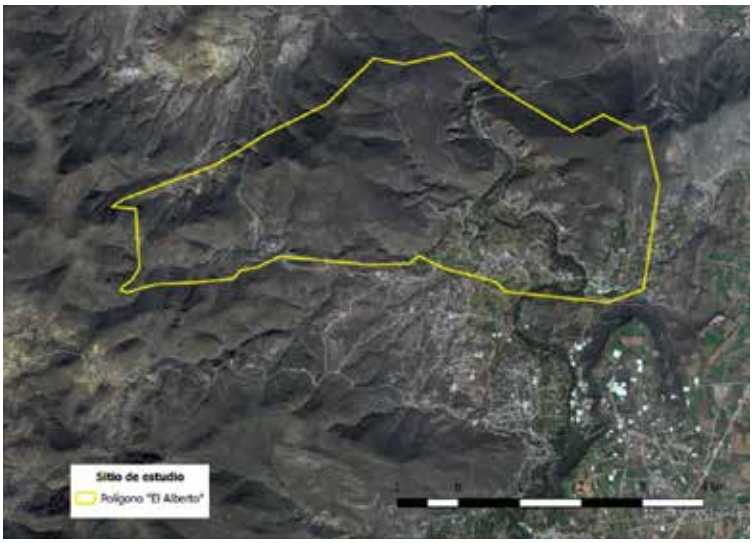
El Alberto forma parte del Valle del Mezquital y se localiza en el municipio de Ixmiquilpan. Los indígenas hñahñu (mejor conocidos como otomís) fueron los primeros habitantes de la zona, ya que estratégicamente representa un paso importante entre las áridas llanuras del norte de México y los valles fértiles del sur, y aún se mantienen asentados ahí hasta hoy (FIGURA 2).

FIGURA 1

Mapa georreferenciado del municipio de Ixmiquilpan con límites (en rojo) de la comunidad El Alberto al sur.

FIGURA 2

Polígono de delimitación de la comunidad de El Alberto, Ixmiquilpan, Hidalgo.



Materiales y métodos

El estudio se basa en las normas oficiales mexicanas NOM-021-SEMARNAT-2000, NOM-059-SEMARNAT-2010, NOM-060-SEMARNAT-1994, NMX-AA-169-SCFI-2014 y NMX-AA-170-SCFI-2014 (de Alba y Reyes 1998; Sarukhán *et al.* 2012).

Sitios de muestreo

Los suelos se obtuvieron dentro del territorio de la comunidad de El Alberto, dividida en dos grandes áreas: tierras comunales y de pequeña propiedad (39 muestras). En el área de pequeña propiedad, los campos agrícolas presentan tres tipos de riego, por lo cual se dividió en otras tantas zonas: riego por aguas negras, agua del río Tula y agua de manantial (18 muestras).

El criterio de selección de los sitios de muestreo fue al azar en cada una de estas áreas y zonas. Las coordenadas geográficas se determinaron mediante *Global Positioning System* (GPS). Para la toma de cada muestra de suelo se trazó un cuadrante de 10m x 10m, el cual se subdividió en cinco transectos en el sentido de la pendiente. Se obtuvieron 3 kg por campo de cada sitio. Los suelos fueron transportados bajo refrigeración para los distintos ensayos.

Preparación del suelo

Se hizo la preparación necesaria para la determinación de las características fisicoquímicas (textura, densidad real y aparente, pH, materia orgánica, carbono total, nitrógeno total, fósforo disponible y potasio...) según la NOM-021-SEMARNAT-2000 en el apartado para fertilidad de suelo (TABLA 1).

TABLA 1

Análisis de las muestras de suelo

Características	Análisis	Utilidad del resultado para evaluar o determinar
Físicas	pH; conductividad eléctrica (CE); sodio, magnesio y calcio	Fertilidad
	Porosidad; densidad (real y aparente); permeabilidad	Nivel de compactación
	Capacidad de campo; humedad	Contenido de humedad; fertilidad
	Textura superficial; capacidad de retención de agua (CRA)	Susceptibilidad a la erosión; reserva de agua para las plantas; fertilidad
Químicas	Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	Reserva de nutrientes para las plantas; fertilidad
	Nitrógeno extraíble (NH_4+, NO_2-, NO_3-, N-total)	Disponibilidad; fertilidad
	Materia orgánica/carbono orgánico y total	
	Potasio, fósforo extraíbles	
	Hierro, magnesio, zinc, cobre, boro, plomo, níquel y cadmio	Nivel de micronutrientes; acumulación y contaminación para algunos metales
	Plaguicidas fosforados y clorados	Contaminación por prácticas agrícolas
Biológicas	CO_2, CH_4, N_2O	Cambio en la respiración del suelo; gases de efecto invernadero
	Diversidad botánica; densidad de cada población observada	Cambio en la estructura botánica

Caracterización fisicoquímica del suelo

Propiedad	Método
pH	Se determinó en una suspensión de agua: suelo (1:2.5, w/w), usando un electrodo de vidrio (Thomas 1996).
Porcentaje de humedad	Método gravimétrico (Baver 1973).
Color en seco y en húmedo	Por comparación con las Tablas Munsell (1975).
Densidad aparente	Método de la Probeta (Baver 1973).
Densidad real	Método del picnómetro (Baver 1973).
Porcentaje de espacio poroso	A partir de las densidades aparente y real.
% Arcilla	Método del hidrómetro de Bouyoucos (1963), las muestras se trataron con peróxido de hidrógeno al 8 %, secando en "baño maría" y como dispersantes el metasilicato y oxalato de sodio al 5%.
Distribución del tamaño de partícula	Método de Gee y Bauder (1996).
Carbono total en suelo	Por oxidación con dicromato de potasio (K_2Cr_2O7) (Amato 1983).
Carbono inorgánico	Se determinó adicionando 20 ml de una solución de HCl 1N a 1 g de suelo seco (Nelson y Sommers 1996).
Carbono orgánico	Se definió como la diferencia entre el carbono total y el carbono inorgánico.
Materia orgánica	Método de Walkey y Black, modificado por Walkley (1947).
Nitrógeno total	Método de Kjeldahl (Bremner 1996).
NH_4+, NO_2- y NO_3-	En un extracto 0.5M de K_2SO_4, se determinaron colorimétricamente (Mulvaney 1996).
CIC	Método de centrifugación, saturando con $CaCl_2$, 1N, pH 7, lavando con alcohol etílico y eluyendo con NaCl 1N pH 7, y titulando con EDTA 0.02N (Jackson 1982).
Calcio y magnesio solubles	Método volumétrico, en el que se efectúa la titulación por el método del Versenato (EDTA 0.02N) (Cheng y Bray 1951).
Sodio y potasio solubles	Espectrofotometría (Jackson 1982).
Cloruros	Utilizando $AgNO_3$ (0.01N) e indicador $K_2Cr_2O_7$ (5%) (Jackson 1982). sulfatos por gravimetría en forma de $BaSO_4$ (Bower y Huss 1948).
Carbonatos y bicarbonatos	Método volumétrico (Reitemeier 1943).
Metales trazas y pesados extractables	Se determinaron con DTPA-TEA-CaCl2 (Lindsay y Norvell 1978) y por espectrofotometría de absorción atómica con un equipo Perkin-Elmer Modelo 2380.

Inventario florístico

Se han realizado colectas botánicas en la localidad de El Alberto, de manera intensiva, desde junio de 2016. Se trata de fragmentos de plantas que presenten flores o frutos que posteriormente se han identificado con ayuda de bibliografía específica.

Estructura florística

Se están trazando cuadrantes de vegetación de 10 m por 20 m en los sitios de muestreo seleccionados para el estudio de calidad de suelo.

Creación de viveros

Se construyó un invernadero en la tierra comunal y se asignaron áreas de vivero, con las características recomendadas según la NMX-AA-169-SCFI-2014 para el establecimiento de unidades productoras y manejo de germoplasma forestal. Esto como primera etapa del proyecto, en la que la comunidad, por asamblea, ha aceptado el interés y la necesidad de crear un vivero de manejo forestal para la reproducción de especies nativas, principalmente el mezquite (*Prosopis laevigata*), el sabino o ahuehuete (*Taxodium mucronatum*) y el sauce (*Salix sp.*). Y como segunda etapa de este proyecto, después de la puesta en marcha, dirigir la operación y el funcionamiento según la NMX-AA-170-SCFI-2014 para la certificación de la operación de viveros forestales.

Fortalecimiento

Se trata del fortalecimiento de una cultura sobre desarrollo sustentable en conservación de la biodiversidad, agricultura y ecoturismo. Es un trabajo prospectivo de formación de albertanos para concientizar y sensibilizar a la comunidad indígena en su compromiso con el cuidado de la salud ambiental y su resiliencia, en concordancia principalmente con:

- Programa Nacional de Manejo Sustentable de Tierras (SAGARPA-SEMARNAT 2008);
- Ley de Desarrollo Rural Sustentable (DOF 02-02-2007);
- Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (DOF 26-03-2015), y
- NOM-020-RECNAT-2001 (que establece los procedimientos y lineamientos que deberán observarse para la rehabilitación, mejoramiento y conservación de los terrenos forestales de pastoreo) con objeto de proponer un plan de manejo para las actividades pecuarias de la comunidad.

Se intenta asimismo regular y fomentar la conservación, protección, restauración y aprovechamiento de los recursos forestales de la comunidad y la biodiversidad de sus ecosistemas, a fin de propiciar un desarrollo sustentable acorde con el fortalecimiento de un "cinturón verde" para la municipalidad de Ixmiquilpan, Hidalgo. El trabajo incluye la medición de indicadores presentados en la TABLA 2; la elaboración de encuestas y talleres, y el desarrollo de recorridos en turismo ecológico: caminatas paisaje del ecosistema "cinturón verde" asociados a los usos y costumbres de la comunidad hñahñu, según la NMX-AA-133-SCFI-2006 que establece los requisitos y especificaciones de sustentabilidad del ecoturismo.

Valoración económica

Las actividades propuestas son:

- Medición del valor económico agrupado de acuerdo con el tipo de mercado que se utiliza para su cálculo: a partir de un mercado real, sustituto o simulado (de Alba y Reyes 1998).
- Diagnóstico de valor de uso directo y de uso indirecto con base en las actividades de los varios rubros del proyecto, resumidas en la TABLA 3.
- Elaboración de encuestas.
- Desarrollo del diagnóstico de valor de no uso de herencia y de existencia de la zona.
- Valoración económica del programa de reforestación.
- Cooperación interinstitucional en mecanismos de pago por servicios ambientales (SEMARNAT 2006; Silva Flores *et al.* 2010; Conagua 2013).

Resultados y discusión

(Avance: mayo de 2017; 50%)

Inventario florístico

Con los datos de campo y los de las determinaciones se generó una lista de especies pertenecientes a la localidad. Los datos están aún en proceso de acopio y análisis. Hasta la fecha de este reporte se han registrado 401 especies de plantas contenidas en 268 géneros y 87 familias, superando así lo reportado por otros trabajos (FIGURA 3). De éstas, 106 especies se han identificado como endémicas del país y ocho están restringidas al Desierto Queretano-Hidalguense, donde se encuentra El Alberto. Se han registrado asimismo cinco especies dentro de alguna de las categorías de riesgo previstas en la NOM-059-SEMARNAT-2010. Y al me-

TABLA 2

Indicadores*

Calidad de vida
Convivencia comunitaria

Salud Ambiental	
Efecto del ambiente en las enfermedades	Agua potable y saneamiento
	Abastecimiento
	Saneamiento

Vitalidad de los ecosistemas	
Recursos hídricos	Biodiversidad y hábitat
Calidad del agua natural	Riesgo de conservación
Demanda sobre el agua disponible	Conservación efectiva

Recursos naturales productivos	
Recursos forestales	Recursos agrícolas
Reserva de árboles en crecimiento	Intensidad de la Irrigación
	Intensidad de tierras irrigadas
	Regulación del uso de pesticidas

* Environmental Performance Index, University of Yale, 2008.

TABLA 3

Actividades para el diagnóstico de valor de uso directo e indirecto

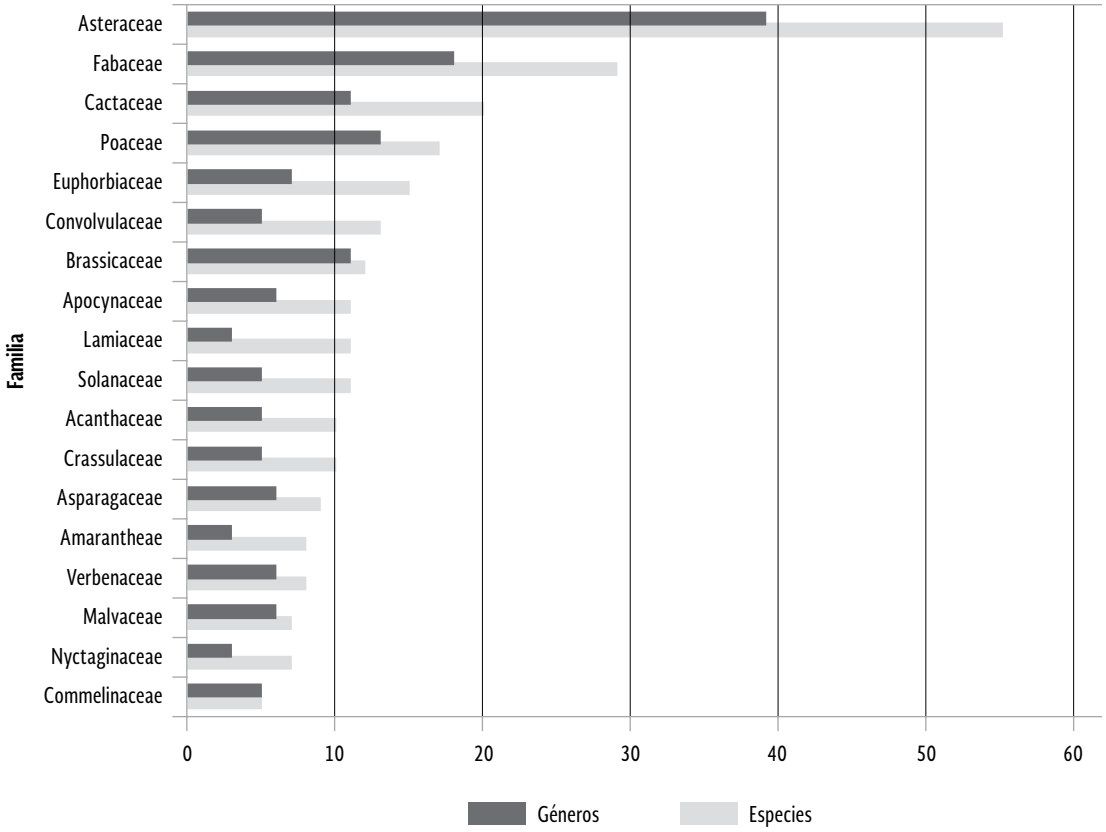
Valor de uso directo	Valor de uso indirecto (suelo)
> Recursos biológicos de las zonas áridas y semiáridas (inventario florístico de la comunidad). > Preservación de especies en riesgo. > Recolección de plantas relacionados con los usos y costumbres de la comunidad hñahñu. > Colecta de semillas de las especies: mezquite (*Prosopis laevigata*), sabino o ahuehuete (*Taxodium mucronatum*), sauce (*Salix sp.*), lechuguilla (*Agave lechuguilla*), sábila (*Aloe vera*). > Evaluación del uso de especies como leña (biocombustible). > Uso de especímenes y material genético de plantas para la producción agropecuaria y florística.	> Efectos del cambio de uso del suelo para la realización de actividades agropecuarias o de urbanización. > Efecto de la contaminación del agua sobre los ecosistemas (riego por aguas negras). > Construcción de un vivero con invernadero. > Elección de parcelas agrícolas: caracterización de los suelos (tipo y fertilidad), análisis de persistencia de agroquímicos. > Prueba en campo sobre parcelas agrícolas caracterizadas: método convencional y de conservación (silvopastoreo, policultivos, agro-orgánicos).

nos cien especies cuentan con algún uso o son conocidas por la gente de la localidad.

Estos resultados permiten destacar a El Alberto como una zona de importante diversidad. En los 22 km^2 que presenta la localidad se han registrado más especies que en el municipio de Ixmiquilpan.

FIGURA 3

Familias de flora representadas en la comunidad El Alberto, Ixmiquilpan, Hidalgo.



Calidad de los suelos de la comunidad

Los datos están aún en proceso de tratamiento para su estudio estadístico. De manera preliminar, se puede afirmar que tanto las laderas (partes altas) como las planicies (parte baja) tienen capacidad para el desarrollo vegetal. Los contenidos de nutrientes son bajos pero suficientes para las plantas en las dos regiones. El suelo puede absorber agua, pero no tiene gran capacidad para retenerla, sobre todo en las laderas. El principal problema para el desarrollo vegetal en las áreas de ladera es, por tanto, el agua, aunque es un suelo productivo (con cobertura vegetal).

TABLA 4

Características fisicoquímicas de los suelos de El Alberto, Ixmiquilpan, Hidalgo

	Mínimo	Máximo	Promedio
Textura	Franco arenoso	Franco arcilloso	Franco arenoso
Humedad %	4.9	32	13
pH	6.2	8.90	8
Materia orgánica %	0.43	19.90	8.9
CIC cmol (+) /kg suelo	0.56	14.20	3.2
Na ppm	0.29	10.48	4.42
Ca ppm	15.4	2709	511
Mg ppm	24	170	77
P asimilable ppm	5.24	42.70	16
N-total ppm	0.03	0.61	0.25
NO_3^- ppm	0.64	40	6.4
NO_2^- ppm	0.01	0.47	0.15
Cd ppm	0.02	0.24	0.07
Pb ppm	0.03	0.27	0.13
Co ppm	0.09	0.17	0.1

Las partes bajas han sufrido por cambio en el uso de suelo, que lo hace vulnerable. Se utiliza para la agricultura, con tres tipos de riego: agua de manantial, agua del río Tula y agua negra. Los resultados indican que no hay una diferencia significativa de la fertilidad en cada categoría de la calidad de agua. La acumulación de materia orgánica o de nitrógeno por aporte de estiércol y agua negra no se observa en estos suelos.

TABLA 5

Contenido en materia orgánica de suelos agrícolas El Alberto, Ixmiquilpan, Hidalgo

Calidad del agua de Riego	Muestra	MO (%)
Río Tula	1R	1.54*
	2A	1.25**
	3M	1.77**
Manantial	4A	0.96*
	5R	1.48**
	9MG	1.37**
Aguas negras	6G	1.65**
	7F	1.19*
	8M	2.51***

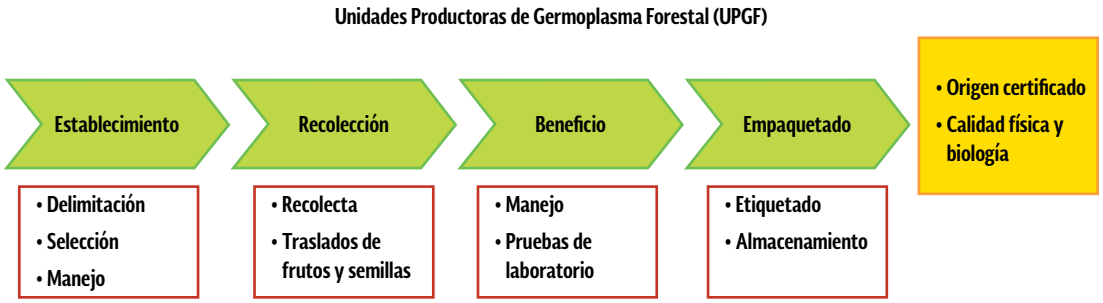
*Pobre; **Modernamente pobre, y ***Modernamente rico

Creación de vivero con tres especies autóctonas

Con base en las actividades consideradas en la NMX-AA-169-SCFI-2014, el proyecto se encuentra en la etapa de recolección para la implementación de unidades productoras de germoplasma forestal (FIGURA 4). El germoplasma seleccionado proviene de *Prosopis laevigata*, el mezquite icónico de la zona.

FIGURA 4

Actividades que considera la NMX-AA-169-SCFI-2014.



Los talleres de sensibilización y concientización acerca de la reforestación con mezquite se realizaron. Su impacto está actualmente en evaluación.

Bibliografía

Alba, E. de, Reyes, ME. 1998, Valoración económica de los recursos biológicos. En: *La diversidad biológica de México.* CONABIO, pp. 212-234.

Conagua. 2013, Estimación económica de los recursos biológicos forestales. Capítulo 13. En: Documento técnico Zapotillo/07. Estudios Ambientales/7.01. CUSTF/7.01.02. Estudios/ETJ P1FB-36.4 ha.

Sarukhán, J., Carabias, J., Koleff, P., Urquiza-Haas, T. 2012, *Capital natural de México: acciones estratégicas para su valoración, preservación y recuperación.* CONABIO, pp. 91.

SEMARNAT 2006, *La investigación ambiental para la toma de decisiones*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología 2001-2006.

Silva Flores, R., Pérez Verdín, G., Návar Cháidez, JJ. 2010, Valoración económica de los servicios ambientales hidrológicos en El Salto, Pueblo Nuevo, Durango. *Madera y Bosques* 16: 1, 31-49.

Yale Center for Environmental Law & Policy. 2008, Environmental Performance Index.

Valoración de servicios ecosistémicos en áreas naturales protegidas de la Sierra Madre de Chiapas

Juan Manuel Núñez Hernández[1]
RESPONSABLE TÉCNICO

[2]Mauricio Galena Pizaña,[a]
Aldo Daniel Jiménez Ortega,[a]
Alonso Aguilar Ibarra,[b]
Sergio López Mendoza[c]

[1] Doctorado y maestría en Geomática con especialidad en Análisis Espacial y Percepción Remota. Estudios de licenciatura en Ingeniería Topográfica y Geodesia. Es investigador asociado del CentroGeo, donde ha participado en proyectos de investigación aplicada y vinculación en relación con sus líneas de investigación: geomática aplicada al monitoreo de bosques y áreas verdes; análisis espacial de servicios ecosistémicos, y percepción remota urbana.

[2] [a] CentroGeo. [b] Instituto de Investigaciones en Ecosistemas y Sustentabilidad, Universidad Nacional Autónoma de México. [c] Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas.

RESUMEN

Propuesta metodológica para integrar, con la participación de tomadores de decisiones locales, modelos biofísicos y valores económicos de servicios ecosistémicos –almacenamiento de carbono, infiltración hídrica y provisión de alimentos, los prioritarios– en el Complejo de Áreas Naturales Protegidas de la Sierra Madre de Chiapas y espacios contiguos.

PALABRAS CLAVE

servicios ecosistémicos; modelado biofísico; valoración económica; áreas naturales protegidas; ANP; Chiapas

Introducción

En México, las áreas naturales protegidas (ANP) juegan un papel fundamental en la provisión de servicios ecosistémicos necesarios para la transferencia de beneficios económicos, sociales, culturales y ambientales que trascienden a su delimitación geográfica e impactan en el bienestar de todos los mexicanos (CONANP 2015).

Actualmente, la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP), en conjunto con la Corporación Alemana para la Cooperación Internacional (GIZ)[3]

[3] *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit*.

desarrolla el proyecto de cooperación "Valoración de servicios ecosistémicos en áreas naturales protegidas federales de México: una herramienta innovadora para el financiamiento de la biodiversidad y el cambio climático" (EcoValor Mx). Se trata de un esfuerzo por incorporar al proceso de toma de decisiones el papel de los servicios ecosistémicos (SE) que se proveen desde las ANP al bienestar humano y al desarrollo económico. Si bien es cierto que numerosas evaluaciones han cuantificado, mapeado y valorado SE, en su mayoría no han sido partícipes en el proceso de toma de decisiones para la gestión de los ecosistemas (Martínez-Harms *et al.* 2015). Una forma de hacerlas parte de ese proceso es la generación de escenarios que describan estados potenciales futuros de un ecosistema, que luego puedan emplearse para modelar los servicios de los ecosistemas que se proveen desde las ANP.

En este trabajo se propone una metodología basada en la generación de escenarios prospectivos para integrar, mediante la participación de tomadores de decisiones locales, modelos biofísicos y valores económicos de servicios ecosistémicos en áreas naturales protegidas.

Se hizo un análisis de modelación integral biofísica y prospectiva de servicios ecosistémicos y de herramientas de valoración económica, que pretenden facilitar el apoyo a la toma de decisiones en la gestión del territorio al ilustrar el estado actual y futuro, así como la vulnerabilidad de los servicios ecosistémicos frente a escenarios de cambio de uso del suelo en el Complejo de Áreas Naturales Protegidas de la Sierra Madre de Chiapas, México, y de espacios contiguos.

Aspectos metodológicos

Área de estudio

La Sierra Madre de Chiapas (SMC) es una cadena montañosa paralela a la costa del Pacífico, de alrededor de 250 km de longitud, que presenta una gran diversidad de ecosistemas. Extendiendo el área de la SMC a los municipios donde tiene presencia, se cuenta con una extensión de 2.6 millones de hectáreas y una población cercana a 1.7 millones de habitantes, distribuida en unas 9,500 localidades.

En su mayor parte, la cadena montañosa de la SMC se considera de áreas naturales protegidas que incluyen a las reservas de la biosfera de La Sepultura (decretada en 1995), El Triunfo (1990) y Volcán Tacaná (2003), y el área de protección de recursos naturales La Frailescana (1979), conocidas como el Complejo de Áreas Naturales Protegidas de la Sierra Madre de Chiapas (FIGURA 1). Este complejo tiene una superficie de 409,596 hectáreas y una población de 123,890 habitantes (FIGURA 2).

FIGURA 1

Área de estudio.

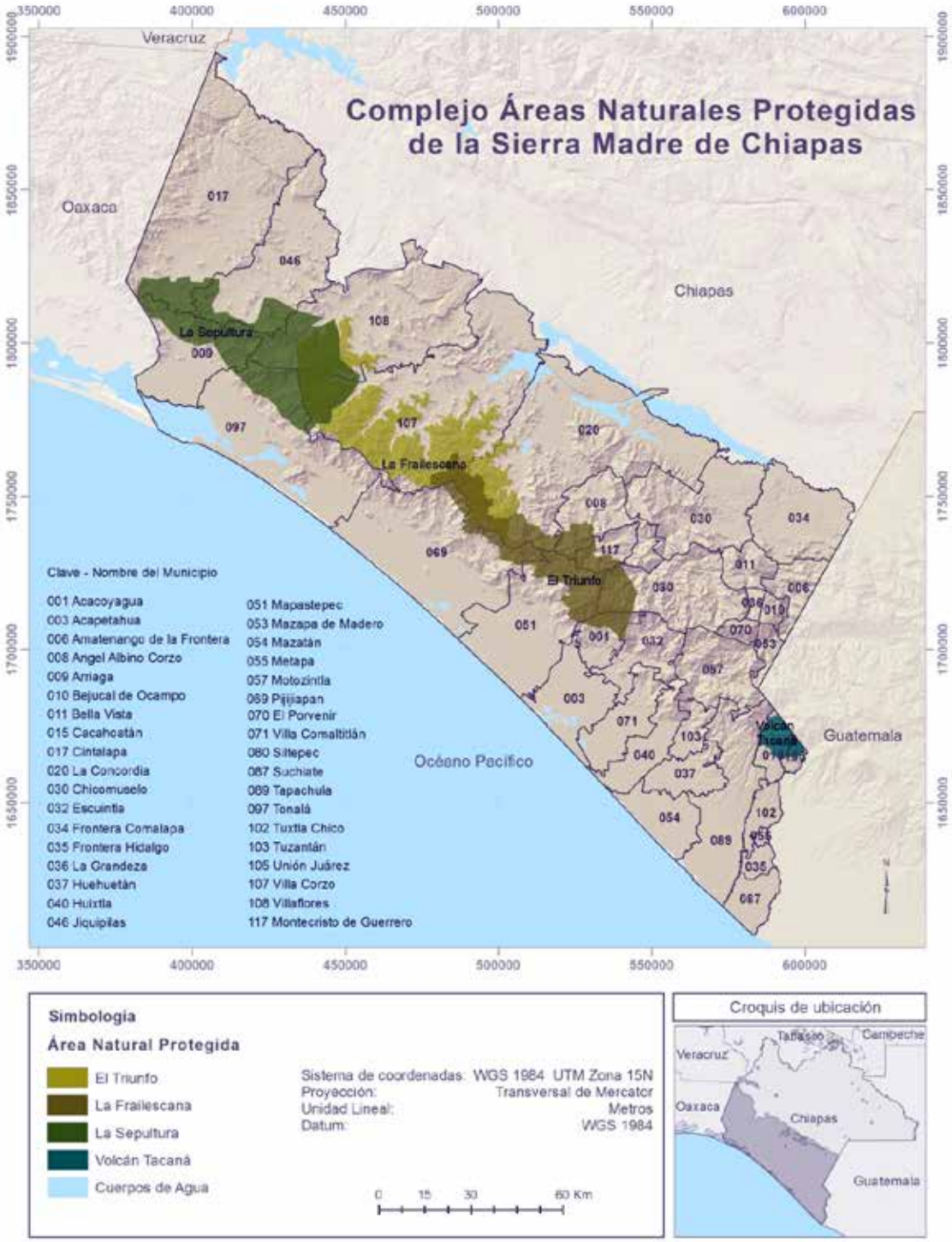


FIGURA 2

Vivero en el ejido Sombra de la Selva, en Villaflores, Chiapas. REBISE. CONANP.

Fotografía de Miguel Ángel Cruz Ríos, 2013.

Propuesta metodológica

Mediante una adaptación de la integración de los servicios ecosistémicos en la planificación del desarrollo (ISE) propuesto por GIZ (Kosmus *et al.* 2012), se ha desarrollado una propuesta metodológica que integra modelos biofísicos y valores económicos de servicios ecosistémicos en las ANP de Chiapas, mediante talleres con tomadores de decisiones y actores interesados, tanto federales como estatales, miembros de la sociedad civil organizada y del sector académico del estado.

Servicios ecosistémicos

Durante un primer taller participativo se identificaron servicios ecosistémicos mediante el uso de matrices de priorización sobre la base de la percepción del valor social y financiero en las diferentes actividades económicas de la región. Del taller se identificaron como SE prioritarios para la región, el almacenamiento de carbono, la infiltración hídrica y la provisión de alimentos. Para cada uno de ellos se desarrollaron enfoques metodológicos específicos que a continuación se describen:

- **Almacenamiento de carbono**
  Se realizó la estimación puntual de los almacenes en biomasa aérea, para posteriormente espaciar su distribución con métodos geoestadísticos.

- **Infiltración hídrica**
  Se estimó el equilibrio hídrico de las cuencas en el área de estudio para calcular valores referidos a la entrada de agua en un perfil de suelo de la superficie terrestre en relación con la información específica sobre clima, propiedades de los suelos, topografía, vegetación y usos de suelo.

- **Modelación de la provisión de alimentos**
  Se aproximó a partir de la identificación de aquellas áreas que poseen condiciones biofísicas y climáticas para que el cultivo pueda desarrollarse sin que se presenten condiciones de estrés ambiental, en lugar de considerar el conjunto de actividades antropogénicas relacionadas con la actividad agrícola, como lo son el uso de variedades mejoradas, riego, mecanización, fertilizantes y agroquímicos.

Modelación prospectiva

Se generaron escenarios prospectivos a 2029 de patrones espaciotemporales de cambio, a partir del análisis del cambio en la vegetación y uso del suelo 1993-2011, mediante la aplicación de redes neuronales multicapa. Estos modelos prospectivos se emplearon para identificar las áreas potenciales de transición y permanencia mediante dos escenarios: el tendencial, denominado *business as usual*, y el denominado restrictivo, bajo el supuesto de mayor protección de las ANP.

Estos escenarios permiten explorar cómo podrían modificarse las principales clases de cobertura terrestre bajo diferentes conjuntos de impulsores de cambio, que luego se emplean para modelar a futuro los servicios de los ecosistemas priorizados.

Valoración económica

Para calcular el valor monetario de los servicios ecosistémicos en el área de estudio se emplean diferentes técnicas. En el caso del almacenamiento de carbono, se empleó la técnica de transferencia de beneficios, un método para incluir datos de una valuación monetaria en un sitio en particular, en valuaciones de otros lugares, por lo que los datos provienen de trabajos previamente publicados a los que se les aplicaron ajustes a la inflación y al peso molecular.

Por otra parte, para la evaluación de la infiltración hídrica se propone el uso del método denominado costo de reemplazo, que contabiliza el de proveer el servicio referido por un medio alternativo.

Finalmente, para valorar la provisión de alimentos se propone el método denominado función de producción.

Resultados

Hasta ahora los resultados obtenidos se han centrado en el primero de los SE priorizados: el almacenamiento de carbono.

La región cuenta con 40 249 770 MgC/ha almacenados en biomasa aérea, de los cuales el 31.7% se encuentra contenido en las cuatro ANP descritas (TABLA 1).

TABLA 1

Almacenes de carbono en biomasa aérea para las ANP

ANP	Biomasa aérea MgC/ha	Valor monetario (lím. Inferior / lím. superior) (Dólares/ha)
El Triunfo	47.7 (12.5%)	$1094.60 – $1626.70
La Sepultura	29 (9.7%)	$752.50 – $1119.00
Volcán Tacaná	83.2 (1%)	$1384.00 – $2057.90
La Frailescana	35.7 (8.5%)	$826.20 / $1228.40

Mg= mega gramo= 1 tonelada métrica= 1000 kg

El valor actual de las reservas de carbono almacenado en las ANP de la Sierra Madre de Chiapas es de $122.2 millones de dólares. Mientras que para el año de 2029 el valor en el escenario restrictivo representa $32.3 millones de dólares más que en el escenario tendencial. Actualmente el proyecto está enfocado en estimar los valores económicos del resto de los servicios ecosistémicos priorizados, para evaluar el papel que las ANP aportan a una región y la medida en que constituyen un apoyo a la toma de decisiones para la gestión del territorio.

Aprovechamiento para el sector ambiental

Con el fin de facilitar la transferencia de conocimientos derivados de esta investigación se ha incorporado al proceso, mediante talleres y reuniones de trabajo, a los directores de las ANP del Complejo Sierra Madre de Chiapas, adscritas a la Dirección Regional Frontera Sur, Istmo y Pacífico Sur de la CONANP; así como a diversas organizaciones civiles presentes en la Sierra Madre de Chiapas.

Las memorias de este proceso y de las lecciones aprendidas estarán disponibles en una aplicación web diseñada con base en las necesidades de los tomadores de decisiones y actores involucrados en el proceso. Esta información será de gran importancia para evaluar las lecciones aprendidas en el proyecto EcoValor Mx acerca de la importancia de la valoración económica como herramienta para el financiamiento de la conservación de la biodiversidad y la mitigación del cambio climático que apoya la gestión de las ANP mexicanas.

Bibliografía

CONANP. 2015. *Valoración de Servicios Ecosistémicos: Un Enfoque para Fortalecer el Manejo de las Áreas Naturales Protegidas Federales de México*. Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.

Kosmus, M., Renner, I., & Ullrich, S. 2012. Integrating ecosystem services into development planning: A stepwise approach for practitioners based on the TEEB approach. GIZ.

Martinez-Harms, M.J., Bryan, B.A., Balvanera, P., Law, E.A., Rhodes, J.R., Possingham, H.P., Wilson, K.A., 2015. Making decisions for managing ecosystem services. *Biological Conservation* 184, pp. 229-238.

Expansión urbana de Ciudad Obregón en relación con la tenencia de la tierra en el Valle del Yaqui, Sonora

Jaime Garatuza Payán[1]
RESPONSABLE TÉCNICO

Jesús Ariel Castro López[a]
Agustín Robles Morúa[a]

[1] Ingeniero Agrónomo en Irrigación por la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Maestría en Ingeniería en Administración de Recursos Hidráulicos por el Instituto Tecnológico de Sonora, y doctorado en Hidrología por la Universidad de Arizona. Ingresó al Instituto Tecnológico de Sonora como profesor investigador de tiempo completo en 1990. Actualmente es investigador titular C. Fue jefe del Departamento de Ciencias del Agua y del Medio Ambiente, responsable del Laboratorio de Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica, responsable de la maestría en Administración de Recursos Hidráulicos, líder del cuerpo académico en Ciencias del Agua, director del área de Recursos Naturales y actualmente es Vicerrector Académico.

[a] Instituto Tecnológico de Sonora.

RESUMEN

Análisis histórico del crecimiento urbano de Ciudad Obregón mediante el uso de imágenes satelitales para la determinación de la expansión urbana en función del tipo de tenencia de la tierra en el área conurbada del Valle del Yaqui –pequeña propiedad y zonas agrícolas–, y para hacer una proyección del crecimiento urbano en función del incremento poblacional.

PALABRAS CLAVE

crecimiento urbano; modelación; cambio de uso del suelo; tenencia de la tierra

Introducción

Las zonas urbanas –que abarcan el 4% de la superficie terrestre– provocan impactos regionales significativos en el ambiente, la sociedad y la economía (Lee y Choe 2011). El crecimiento urbano disminuye la biodiversidad (Su *et al*. 2011) e incrementa la pérdida y fragmentación de hábitats y de tierras dedicadas a la producción agrícola (Tan *et al.* 2005). En algunas ciudades del mundo hay inquietud por el hecho de que, al crecer, tienden a incorporar áreas agrícolas cercanas,

y el tipo de tenencia de la tierra constituye un elemento sustancial en ese fenómeno (Nkambwe y Totolo 2005).

Estudios relacionados con el crecimiento urbano en México revelaron que la tenencia ejidal y comunal fueron las principales áreas de expansión urbana. Por ejemplo, en el caso de la Ciudad de México, Distrito Federal, hasta el año 1970, 68% del crecimiento urbano se dio sobre tierras ejidales y comunales; mientras que en los municipios del área conurbada, 50% de la expansión fue sobre tierras ejidales, 27% en propiedad federal y 23% correspondiente a pequeña propiedad (Cruz 2006).

Según estadísticas del INEGI, el Valle del Yaqui es la región del sur de Sonora que contribuye con el mayor volumen de grano de trigo, equivalente a 52% de la producción nacional. Esta zona de irrigación es adyacente a Ciudad Obregón, cuyo incremento demográfico ha obligado a urbanizar áreas que en principio eran destinadas a la producción agrícola.

El objetivo principal de este trabajo es estimar el crecimiento urbano histórico de Ciudad Obregón y los asentamientos aledaños más importantes, entre 1973 y 2015, en función del tipo de tenencia de la tierra en el área conurbada del Valle del Yaqui, así como su relación con el tamaño de la población. Asimismo, realizar una proyección del crecimiento urbano en función del incremento poblacional en la ciudad y la probable dirección del crecimiento urbano según el tipo de tenencia de la tierra que rodea a la urbe.

Planteamiento y desarrollo de la investigación

La extensión y la dirección en que se ha dado el crecimiento de la mancha urbana del área de interés, limitado a los alrededores de Ciudad Obregón, se delinearon mediante un preprocesamiento de imágenes satelitales de alta calidad del sensor remoto Landsat TM/ETM con el *software* Idrisi Selva durante el periodo 1973 a 2015 en intervalos de aproximadamente diez años (1973/1986, 1986/1995, 1995/2005 y 2005/2015). Las imágenes satelitales pertenecen al mes de marzo de cada año, época de máximo verdor en los terrenos agrícolas y de escasa vegetación natural debido al estiaje. Esto permitió observar un mayor contraste entre cultivos, vegetación natural y suelo desnudo y definir zonas donde el verdor del cultivo resulta más pronunciado y contrastante con el área urbana, con el fin de evitar los posibles errores en la clasificación debido a la variación estacional de la vegetación y del suelo agrícola.

Posteriormente se realizó un procesamiento en ArcGIS 10.2.1 para generar los polígonos de las manchas urbanas de cada periodo de estudio y realizar el análisis de expansión urbana con respecto a la capa de área urbana del año 2015

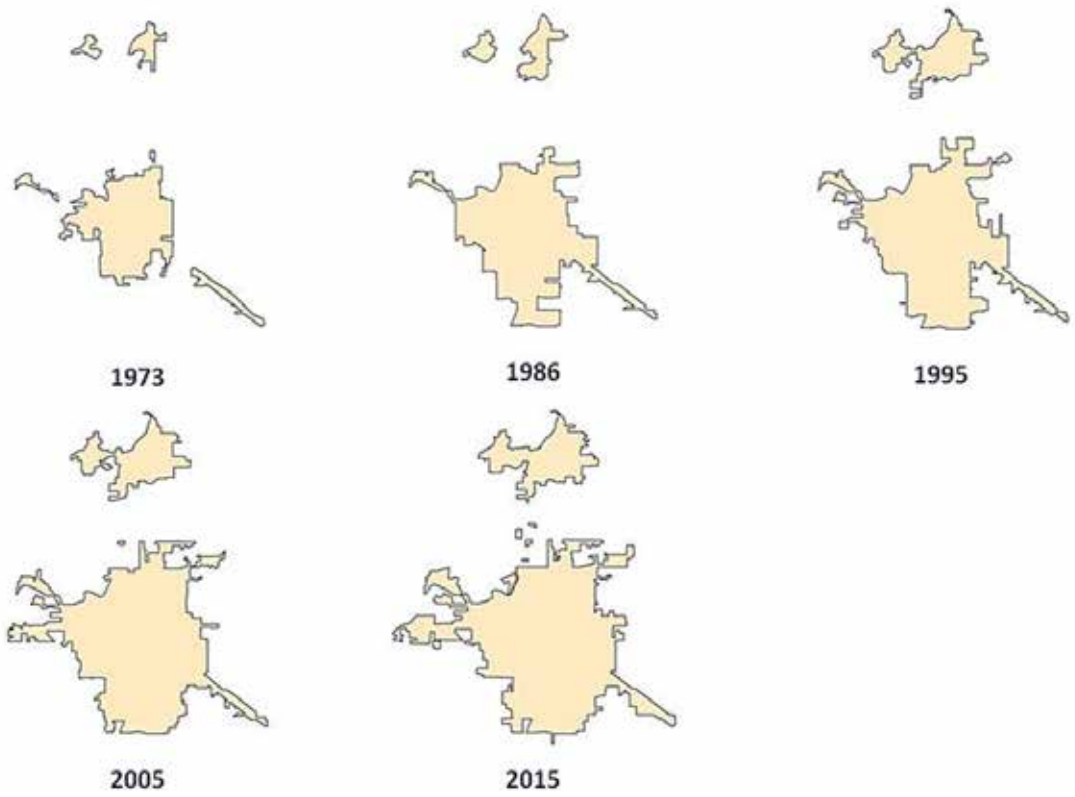
junto con la capa de zonas agrícolas del Registro Agrario Nacional (RAN). Por consiguiente, habiendo caracterizado ya el crecimiento hacia pequeña propiedad y zonas ejidales, se utilizó el módulo Land Change Modeler de Idrisi para generar una proyección de crecimiento urbano al año 2050, utilizando la información histórica disponible.

Resultados

La FIGURA 1 muestra el avance de los límites geográficos de Ciudad Obregón a través del tiempo. Estos polígonos permitieron analizar el crecimiento superficial de Ciudad Obregón de 1973 a 2015 en intervalos de diez años.

FIGURA 1

Polígonos del crecimiento de la mancha urbana de Ciudad Obregón entre 1973 y 2015.



La TABLA 1 muestra que, en el periodo de 1973 a 1986, Ciudad Obregón tuvo su mayor crecimiento superficial expandiéndose un 75%. En el periodo de 1986

a 1995 la ciudad creció 25% y en los periodos 1995/2005 y 2005/2015, el crecimiento superficial decreció a 14% y 13%, respectivamente. En total, entre 1973 y 2015 la ciudad expandió sus límites geográficos territoriales en 183%, equivalente a 4,625 hectáreas. La tendencia de crecimiento es evidentemente hacia las zonas sursureste y este-noreste de la ciudad (FIGURA 2).

TABLA 1

Análisis de superficie por periodo y tasas de crecimiento

Año	Superficie (ha)	Periodo	Crecimiento superficial en el periodo (ha)	Tasa de crecimiento en el periodo (%)	Tasa de crecimiento anual (%)
1973	2570.08	1973	0	0	0
1986	4488.91	1973-1986	1918.83	75	5.8
1995	5605.66	1986-1995	1116.75	25	2.5
2005	6417.17	1995-2005	811.51	14	1.4
2015	7265.09	2005–2015	847.92	13	1.3

FIGURA 2

Evolución del crecimiento de la mancha urbana de Ciudad Obregón en el periodo de 1973 a 2015.

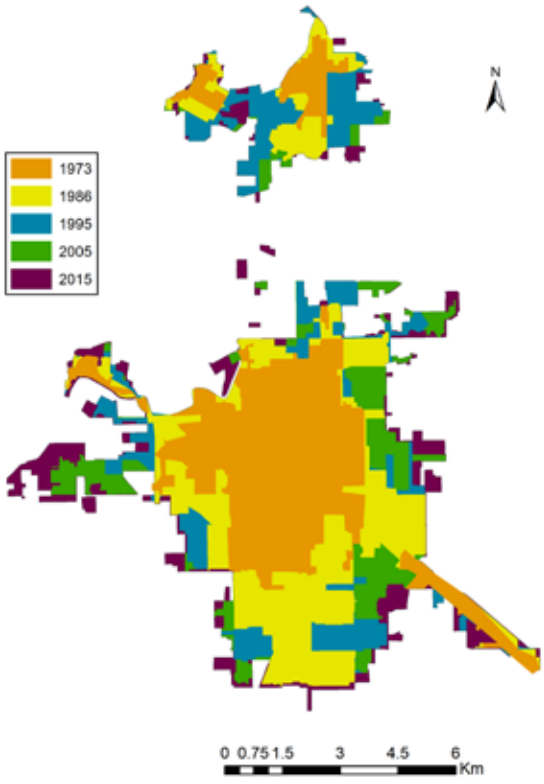


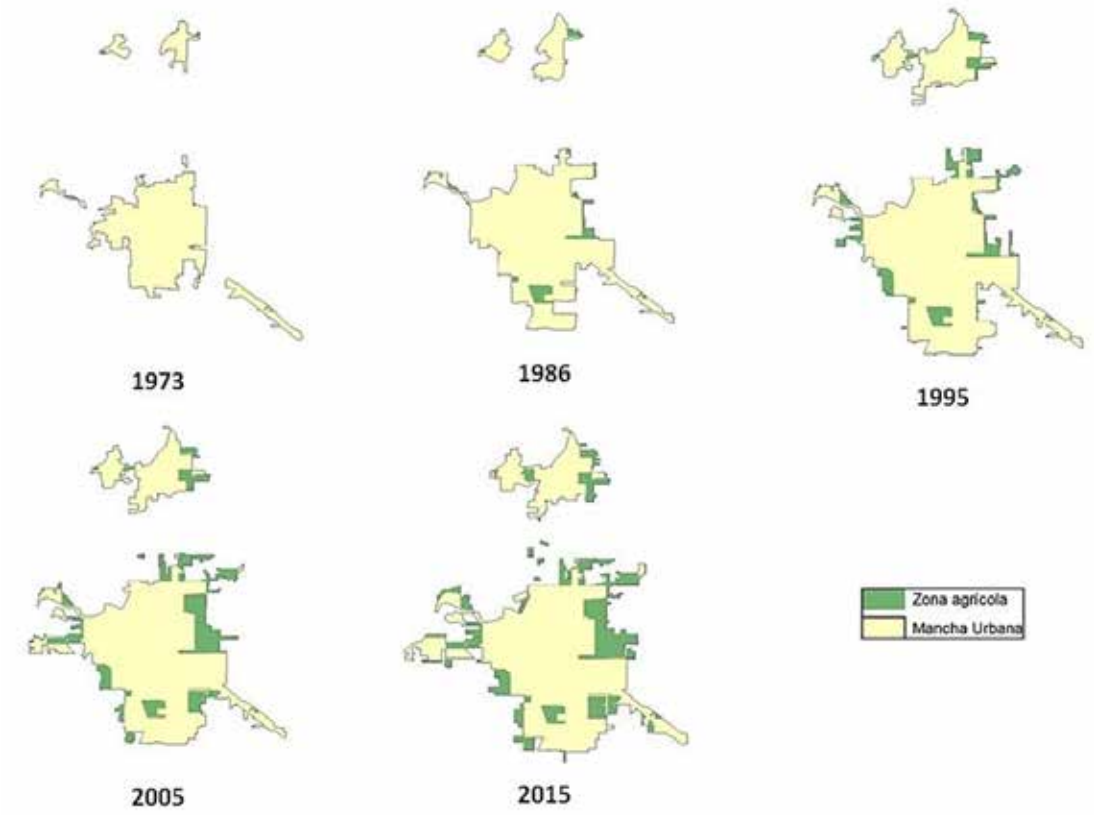
TABLA 2

Análisis de área agrícola que pasó a formar parte de la mancha urbana

Año	Superficie (ha)	Superficie agrícolaque formaba parte de la mancha urbana (ha)	Porcentaje de la mancha urbana que era agrícola (%)
1973	2570.08	38.87	1.51
1986	4488.91	274.58	6.12
1995	5605.66	726.88	12.97
2005	6417.17	1273.99	19.85
2015	7265.09	1757.75	24.19

FIGURA 3

Crecimiento urbano de Ciudad Obregón en relación con la zona agrícola adherida a la mancha urbana (1973-2015).



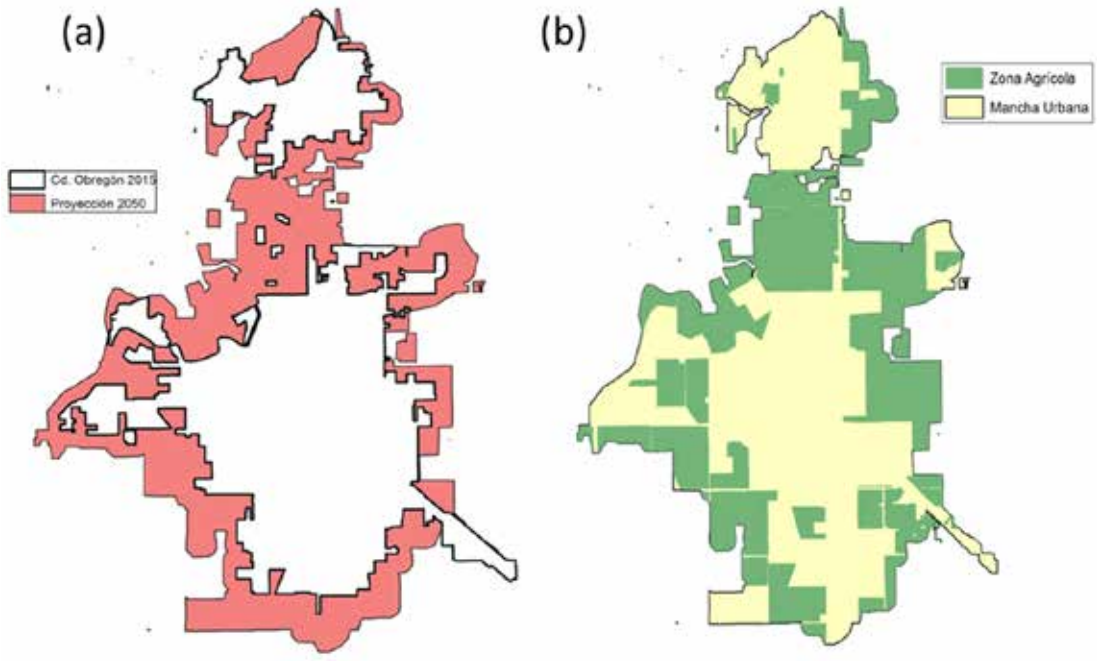
En la FIGURA 3 se muestra el análisis de imágenes utilizando datos del RAN. La TABLA 2 muestra la cantidad de hectáreas de tierra que forman parte del Registro Agrario Nacional y que consecuentemente han sido anexadas a la zona urbana durante el periodo de estudio. Se observa que, en 1973, sólo 1.51% del territorio

estaba constituido por tierras registradas en el RAN; sin embargo, esta proporción fue en aumento hasta llegar a 24.19% en el año 2015. Este incremento revela que de las 4,625 hectáreas que Ciudad Obregón ha crecido como zona urbana, 1,758 en un principio fueron tierras de uso agrícola, lo cual indica que en el periodo de estudio Ciudad Obregón ha crecido 62.6% sobre pequeñas propiedades y casi 37.4% sobre tierras de cultivo.

En la FIGURA 4 se muestran las proyecciones de la mancha urbana utilizando restricciones de canales de riego, infraestructura de transportes y distancia a los servicios de agua potable y alcantarillado. Esta restricciones imponen obstáculos al crecimiento de la ciudad hacia algunas zonas. Las proyecciones al año 2050 indican que la mancha urbana puede llegar a crecer hasta en 43% del área actual. Esto significa que el área de la mancha urbana se incrementaría en alrededor de 5,600 hectáreas para el año 2050.

FIGURA 4

(a) Estimación del crecimiento urbano de Ciudad Obregón proyectado para el año 2050 de 848 a 5,590 hectáreas; (b) proyección del crecimiento de la mancha urbana para el año 2050 de 24% a 43%.



Potencial de aprovechamiento

Este trabajo va dirigido principalmente a las instituciones encargadas de la planeación de una ciudad en potencial desarrollo. En el caso de Ciudad Obregón, el Instituto Municipal de Investigación y Planeación Urbana de Cajeme (IMIP) y, a su vez, Catastro Municipal, que colaboró con este estudio al aportar información valiosa, como vectores con datos acerca de zonas rurales, cuadras o manzanas, así como la proyección por parte del municipio para los próximos 30 años.

La metodología utilizada tiene gran alcance para planear de manera inteligente la expansión de una ciudad cuyo crecimiento sea potencialmente hacia tierras que se usen para producción alimentaria, conservación de hábitats o cualquier otro uso que produzca mayor beneficio en su actual estado que de manera urbanizada.

Bibliografía

Cruz, R.M. (2006). *Propiedad de la tierra, urbanización ejidal y poblamiento en la Zona Metropolitana del Valle de México 1990-2000*. Procuradora agraria, p. 24.

Lee, D., Choe, H., 2011. Estimating the impacts of urban expansion on landscape ecology: forestland perspective in the greater Seoul metropolitan area. *J. UrbanPlan*. Dev. (ASCE).

Nkambwe, M., Totolo, O. (2005). Customary land tenure saves the best arable agricultural land in the peri-urban zones of an African city: Gaborone, Botswana. *Applied Geography*, 25, 29-46.

Su, S.L., Ma, X.Y., Xiao, R., 2014. Agricultural landscape pattern changes in response to urbanization at ecoregional scale. *Ecol. Indic*. 40, 10–18.

Tan, M.H., Li, X.B., Xie, H., Lu, C.H., 2005. Urban land expansion and arable landloss in China. A case study of Beijing-Tianjin-Hebei region. *Land Use Policy* 22,187–196.

Ubicación de futuros rellenos sanitarios intermunicipales en el Estado de México y entidades aledañas

María del Consuelo Hernández Berriel[1]

RESPONSABLE TÉCNICA

María del Carmen Carreño de León[a]
María del Consuelo Mañón Salas[a]
Isaías de la Rosa Gómez[a]
Diana Gabriela Castro Frontana[b]
Ana Belem Piña Guzmán[b]
Fabián Robles Martínez[b]
Otoniel Buenrostro Delgado[c]
Amaya Lobo García de Cortázar[d]
Francisco J. Colomer Mendoza[e]
Antonio Gallardo Izquierdo[e]

[1] Doctora en Ciencias Biológicas. Docente desde 1991 en el Tecnológico Nacional de México (TecNM) y, desde 2003, investigadora en el Instituto Tecnológico de Toluca, en licenciatura y posgrado. Su investigación comprende la revalorización de los residuos sólidos urbanos, residuos agrícolas, biosólidos y lixiviados, así como el aprovechamiento energético de bio-CH4 y bio-H2. Colaboradora y/o responsable en proyectos de Investigación básica y aplicada, financiados por CRODE, CONACYT y TecNM. Cuenta con publicaciones en revistas indizadas y arbitradas, nacionales e internacionales. Es candidato a investigador nacional (CONACYT). Perfil deseable (Prodep) y miembro de Somers A.C., Redisa y ALAGIR A.C.

[a] Instituto Tecnológico de Toluca.
[b] Instituto Politécnico Nacional.
[c] Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
[d] Universidad de Cantabria, España.
[e] Universitat Jaume I, España.

RESUMEN

Sistema de información geográfica (SIG) para ubicar rellenos sanitarios intermunicipales entre el Estado de México y entidades colindantes. Etapa 1. Se ha consultado información acerca de 121 municipios del área de estudio en bandos municipales, planes o programas de manejo integral de residuos sólidos urbanos (RSU).

PALABRAS CLAVE

sig; intermunicipal; rellenos sanitarios

Introducción

La sociedad utiliza productos y servicios que generan residuos. Debido a la falta de educación ambiental o de información, tales residuos terminan en tiraderos a cielo abierto y provocan impactos negativos. Para América Latina y el Caribe, el

Banco Mundial proyecta que la generación de residuos sólidos urbanos (RSU), que en 2005 fue de 131 Mt,[2] aumentará, en el año 2030, a 139 Mt (Hoornweg 2012).

México generó 748.3 $MtCO_2$ en 2010 y se ubicó entre los principales emisores de gases de efecto invernadero (GEI) en el mundo. De ese volumen, el Sector Desechos, que incluye RSU de rellenos sanitarios, aguas residuales e incineración, aportó el 5.9%. México reconoce al cambio climático como un problema global que requiere soluciones nacionales, regionales y locales, por lo que cuenta con metas voluntarias de reducción de emisiones de GEI para los años 2020, 2030 y 2050, apoyadas con acciones como la publicación de la Ley General de Cambio Climático (SEMARNAT-INECC 2012; GR 2013). Sin embargo, se tiene conocimiento de limitaciones en las cifras reportadas de generación de RSU y GEI, debido a que son estimaciones y no mediciones directas; aunado a ello, los estudios de generación y composición de RSU se han realizado en las zonas metropolitanas, seguidas por las ciudades medianas, y no así en las localidades rurales o semiurbanas y las ciudades pequeñas (SEMARNAT 2015). Estas últimas, por añadidura, carecen de estudios de tratamiento/aprovechamiento de RSU y de relleno sanitarios.

Planteamiento y desarrollo de la investigación

Se propone elaborar un modelo cartográfico que permita ubicar futuros rellenos sanitarios intermunicipales en el Estado de México y entidades colindantes, basado en un SIG y en el enfoque de la sustentabilidad en cuanto al diseño, construcción, operación y clausura. El SIG será una herramienta de fácil uso para los responsables de MIRSU[3] en los municipios y coadyuvará a establecer alianzas intermunicipales y sinergias entre centros de acopio de residuos valorizables, empresas recicladoras, empresas explotadoras de rellenos sanitarios con tecnología para aprovechamiento de biogás y administraciones municipales. Este proyecto comprende cinco etapas:

1 Diagnóstico de la gestión integral actual de los rsu en el área de estudio.
2 Conceptualización del dominio.
3 Módulo de conocimiento.
4 Desarrollo del SIG en ambiente web.
5 Diseño de rellenos sanitarios sustentables intermunicipales.

Actualmente se encuentra en desarrollo la etapa 1. Se ha consultado información acerca de los 121 municipios del área de estudio en bandos municipales,

[2] Mt= megatoneladas; 131 millones de toneladas.

[3] Manejo integral de residuos sólidos urbanos.

planes o programas de manejo integral de RSU (como MIRSU), páginas oficiales de cada municipio, estadísticas y la plataforma Mapa Digital de México, de INEGI.

Se analizó la información recabada. Las variables categóricas de investigación son: de población (5), económicas (5) y en materia de RSU (10). Se determinaron los datos estadísticos de distribución; mediante análisis de correlación se detectaron problemas de multicolinealidad y se eliminaron las variables redundantes, mientras que en las no descartadas se verificaron datos atípicos mediante diagramas de caja (IBM® SPSS® Statistics V24).

Se realizó un análisis de clúster jerárquico para determinar el número apropiado de clústeres. Acto seguido, mediante k-medias, se agrupó a los municipios con características semejantes y, según el método de ponderación lineal (*scoring*), se hizo la selección de los representativos. Se consultó a expertos en RSU de la Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología aplicada a Residuos Sólidos (Somers A.C.) y de la Red Iberoamericana en Gestión y Aprovechamiento de Residuos (REDISA) para asignar las ponderaciones de cada uno de los criterios evaluados.

Paralelamente, se ha visitado el 90% de los municipios del área de estudio para aplicar las cédulas de entrevistas a las autoridades involucradas con el MIRSU.

Se contactó a los municipios seleccionados para realizar, sobre el terreno, la evaluación de los sitios de disposición final mediante una lista de verificación y la caracterización fisicoquímica de los RSU, lixiviados y biogás, aplicando la normatividad vigente (SEMARNAT 2016). La lista se elaboró conforme a la norma oficial mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003.

Resultados

A la fecha se ha analizado la información documental de los municipios del área de estudio (FIGURA 1) y se han integrado bases de datos con esta información y con la de las cédulas de entrevistas. Se han hecho estudios de evaluación y caracterización *in situ* a los sitios de disposición final de los municipios que se muestran en la TABLA 1.

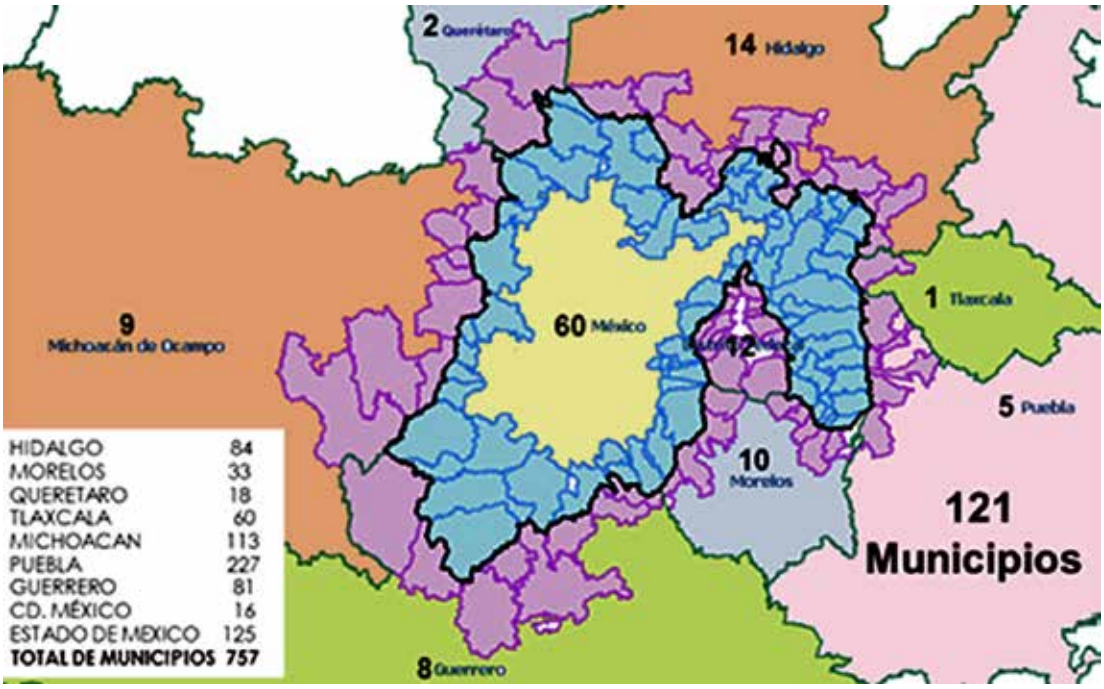
TABLA 1

Municipios donde se han realizado evaluación y caracterización *in situ*

Entidad	Municipios
Estado de México	Axapusco, Huixquilucan, Tejupilco, Tequixquiac, Villa de Carbón, Xalatlaco, Zacualpan y Zumpango
Guerrero	Pilcaya
Morelos	Huitzilac

FIGURA 1

Municipios del área de estudio.



Se han incorporado al proyecto varios grupos de estudiantes: doce de la Universidad Tecnológica del Valle de Toluca, que liberaron su estadía técnica en el Instituto Tecnológico de Toluca; tres de licenciatura de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo; cuatro del Instituto Politécnico Nacional, uno titulado; cinco de licenciatura del Instituto Tecnológico de Toluca (dos que han acreditado su residencia profesional y uno ya titulado); uno de doctorado de la Universitat Jaume I, España; uno de doctorado de la Universidad de Cantabria, España, y cuatro del Instituto Tecnológico de Toluca (dos de maestría y dos de doctorado).

Aprovechamiento para el sector ambiental

Los productos de la investigación servirán para el fortalecimiento de la colaboración interinstitucional entre las universidades participantes. Se cuenta con el apoyo e interés en los resultados de la Dirección General de Manejo Integral de Residuos de la Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México y de las autoridades de los municipios visitados. Además, la realización de esta investigación coadyuvará a crear sinergias entre municipalidades y empresas, con lo que se reducirá el número de tiraderos a cielo abierto.

Bibliografía

GR (2013). Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales (PROMARNAT), Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018. Gobierno de la República (GR). 22 de mayo 2017. http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/ Documents/PROMARNAT%202013-2018.pdf

Hoornweg D., Bhada-Tata, P. (2012). What a Waste. A global review of solid waste management. *Urban Developoment Series Knowledge papers*. The World Bank. Urban Development Series, March 2012, No. 15. 20 mayo 2017. http://documents.worldbank.org/curated/en/2012/03/16537275/ waste-global-review-solid-waste-management

SEMARNAT (2015). Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales. Indicadores clave, de desempeño ambiental y de crecimiento verde. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 21 mayo 2017. file:///C:/Users/proyecto/Documents/2017/conacyt%20FSIA/ Informe15_completo.pdf

SEMARNAT (2016). NMX - Normas Mexicanas ordenadas por materia. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 23 julio 2016. http://www.semarnat.mx/leyes-y-normas/normas

SEMARNAT-INECC (2012). Quinta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). 20 mayo 2017. http://unfccc.int/resource/docs/natc/mexnc5s.pdf

Impacto de emisiones móviles y fijas en una zona urbana, una suburbana y una periurbana del centro de México

Óscar Peralta Rosales[1]
RESPONSABLE TÉCNICO

Alejandro Bezanilla[a]
Telma Castro[a]
María de la Luz Espinosa[a]
Eugenia González[a]
Michel Grutter[a]
Carlos Ochoa[a]
Abraham Ortínez[a]
Ángel Ruiz[a]
Gerardo Ruiz-Suárez[a]
Isabel Saavedra[a]
Ricardo Torres[a]
Harry Álvarez[a]
Dara Salcedo[b]
Carlos Aguirre[c]
Karina Ávila[c]

[1] Investigador en el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM desde 2010. Sus estudios se enfocan en la composición de partículas atmosféricas, calidad del aire y ciclos biogeoquímicos. Ha publicado en varias revistas indizadas por CONACYT e imparte clase en el Posgrado en Ciencias de la Tierra de la UNAM. Ha formado parte de los proyectos científicos Stratospheric Ozone Layer Validation and Evolution (SOLVE, 2003), Megacities initiative: local and global research observations (MILAGRO, 2006) y Global Environment Facility (2014).

[a] Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

[b] Facultad de Ciencias, UNAM.

[c] Secretaría de Medio Ambiente del Estado de México.

RESUMEN

Evaluación del desempeño del inventario de emisiones del Valle de Toluca 2006 a través de mediciones de contaminantes atmosféricos en un punto urbano, uno suburbano y otro periurbano de la ciudad de Toluca, Méx., mediante mediciones directas de carbono negro y contaminantes atmosféricos en cuatro puntos de esa capital.

PALABRAS CLAVE

inventario de emisiones; carbono negro; Valle de Toluca; calidad del aire

Introducción

Los Programas de Gestión de la Calidad del Aire (Proaires) constituyen uno de los principales instrumentos para frenar las tendencias de deterioro de la calidad del aire en las principales ciudades del país, y una de sus funciones es reflejar las características atmosféricas de cada lugar, tanto en los escenarios de modelación de dispersión de especies químicas, como en la composición y el transporte de los contaminantes atmosféricos dentro y fuera de las urbes. De hecho, los inventarios de emisiones son la métrica para aplicar y evaluar medidas concretas para preservar el entorno, proteger nuestra salud y promover un desarrollo sostenible.

Los inventarios de emisiones suelen estimar las tasas de generación de contaminantes con base en factores de emisión que representan todo un sector o un grupo generalizado de actividades o compuestos. En el mejor de los casos los factores de emisión se basan en mediciones directas o en estudios desarrollados específicamente para ese fin. Sin embargo, con frecuencia son valores extrapolados, copiados o estimados de otros inventarios, y en esas ocasiones sólo deben servir como una primera aproximación de las emisiones de contaminantes. Por eso, los estudios que evalúan inventarios de emisiones con frecuencia encuentran inconsistencias al compararlos contra mediciones observadas.

Algunos inventarios se consideran aceptables para la modelación de dispersión de contaminantes, pero muchos otros sub o sobrestiman caudales o especies químicas y muestran problemas de compleción de fuentes de emisión, lo que propaga los errores de presencia de especies químicas generadas por fuentes no incluidas de manera adecuada.

La expansión urbana en México presenta un panorama preocupante sobre un uso ineficiente del suelo, al menos en la región central del país. El patrón de urbanización es la guía de crecimiento del transporte y en consecuencia de las emisiones vehiculares, las cuales pueden empeorar la calidad del aire, así como promover la disparidad entre los inventarios de emisiones y las mediciones reales, por la incompleción de fuentes incorporadas al padrón de emisiones.

Planteamiento

Se pretende evaluar el desempeño del inventario de emisiones del Valle de Toluca 2006 a través de mediciones de contaminantes atmosféricos en un punto urbano, uno suburbano y otro periurbano de esa ciudad. La información que se obtenga permitirá conocer la distribución de contaminantes y el transporte a escala local y regional, así como mostrar indicadores de crecimiento urbano y gestión territorial.

Para evaluar el desempeño del inventario de emisiones de fuentes carreteras y no carreteras del Valle de Toluca se midieron parámetros meteorológicos (radiación solar, velocidad y dirección del viento y humedad relativa), carbono negro, gases (NO_x, CO, CH_4, CO_2, SO_2, hidrocarburos) y partículas contaminantes ($PM_{2.5}$) cerca de una vía carretera en una zona urbana (Paseo Tollocan), en una suburbana (Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey campus Toluca) y en dos periurbanas (Escuela Primaria Adolfo López Mateos, San Antonio la Isla, y Universidad Politécnica de Otzolotepec, Villa Cuauhtémoc). Las concentraciones ambientales de contaminantes ayudarán a conocer las características de emisión de contaminantes de cada lugar y el desempeño del inventario de emisiones en esas zonas.

Los datos formarán una matriz de concentraciones que se usará para calcular y comparar los cocientes de las observaciones de contaminantes contra los del inventario. Las comparaciones servirán para proponer mejoras metodológicas para elaborar otros inventarios de emisiones.

Desarrollo

El Paseo Tollocan es una avenida importante en la zona urbana de Toluca y atraviesa la ciudad de este a oeste; tiene cuatro carriles de baja velocidad, seis de alta y una vía para tren. En teoría debe soportar el desplazamiento de 400 vehículos a 90 km/h, aunque claramente se obstruye en horas pico. Del 14 de febrero al 26 de abril de 2017, sobre la avenida Baja Velocidad del Paseo se instaló un laboratorio móvil con instrumentación para medir parámetros meteorológicos, contaminantes atmosféricos y recolección de muestras de gases y partículas.

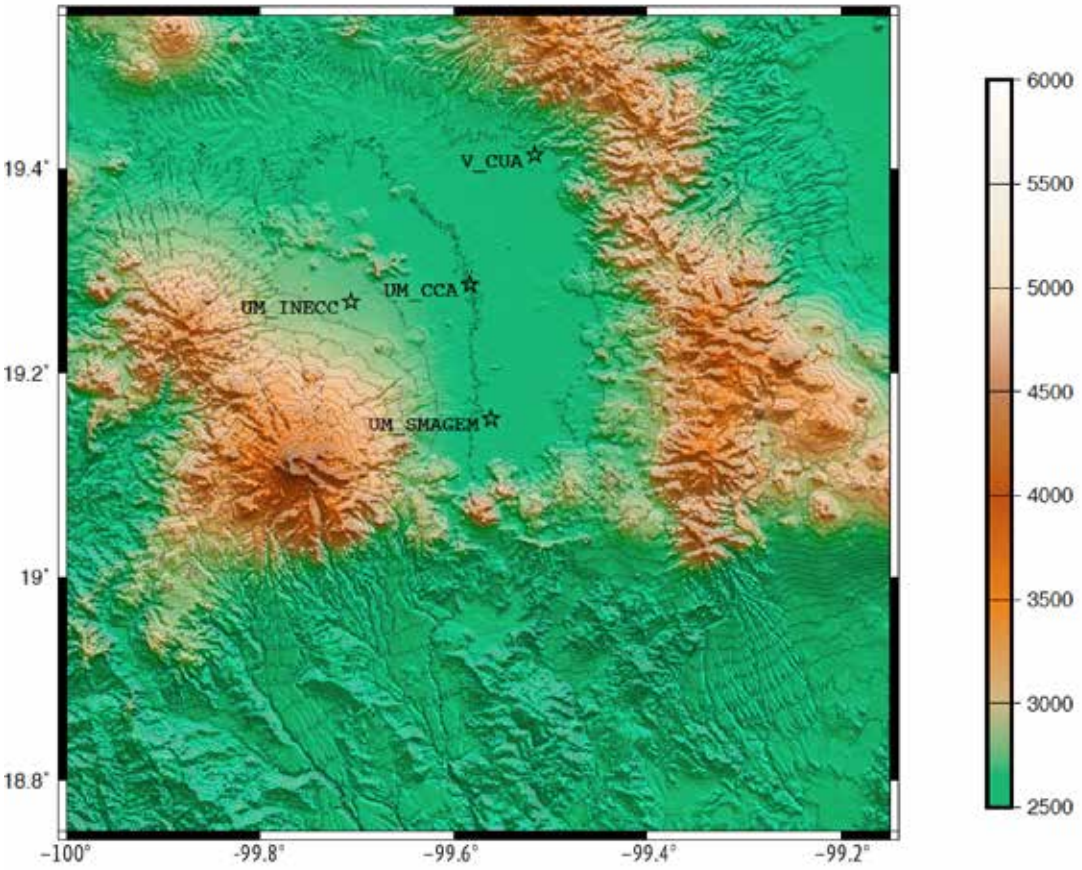
El Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey se encuentra en una zona suburbana a 8 km al este del centro de Toluca; tiene una baja densidad vehicular y habitacional. Del 12 de febrero al 26 de mayo de 2017, dentro del campus universitario se instaló un segundo laboratorio móvil para medir parámetros meteorológicos y la concentración de gases y partículas ambientales. También se tomaron muestras de gases y partículas para análisis de laboratorio. En ese punto se soltaron radiosondas para observar la velocidad de ascenso de las parcelas de aire y las propiedades de la atmósfera en la vertical.

La escuela primaria Adolfo López Mateos se encuentra en San Antonio la Isla, 17 km al sur del centro de Toluca. Es una zona periurbana donde la densidad vehicular y habitacional es muy baja y difusa y aún hay milpas y zonas de cultivo. Del 14 de febrero al 26 de abril de 2017 se colocó otro laboratorio móvil para medir meteorología y contaminantes criterio.

La Universidad Tecnológica del Valle de Toluca, el cuarto punto de muestreo, se encuentra en Villa Cuauhtémoc, 17 km al noreste del centro de Toluca. Es también un sitio periurbano con una extensa zona habitacional difusa junto con zonas de cultivo. La FIGURA 1 indica los puntos de muestreo ubicados en el Valle de Toluca.

FIGURA 1

Punto de muestreo de contaminantes en el Valle de Toluca.



a) Villa Cuauhtémoc (V_CUA), b) Tecnológico de Monterrey (UN_INECC), c) Paseo Tollocan (UM_CCA) y d) San Antonio la Isla (UM_SMAGEM)

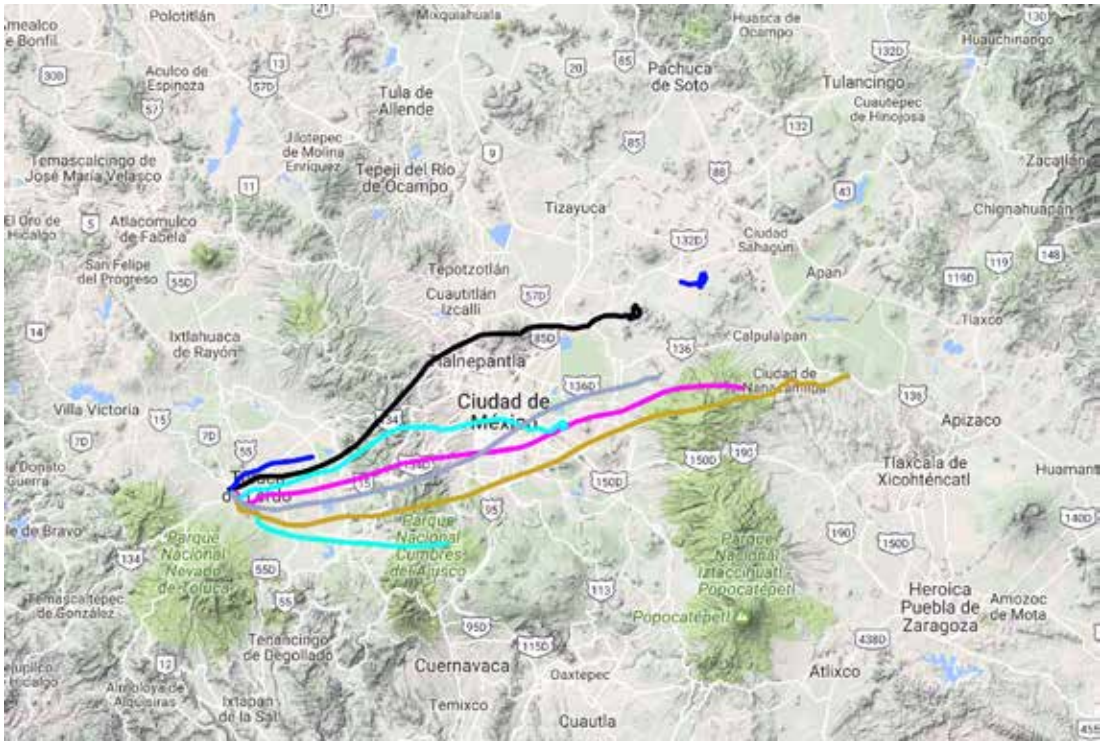
Resultados

Las sondas meteorológicas tuvieron un desplazamiento de oeste a este durante las mañanas (0700-1400), así que las parcelas de aire probablemente se enriquecen de contaminantes al atravesar la zona urbana e industrial de Toluca y dejan el Valle rumbo a la Ciudad de México completamente enriquecidas. La FIGU-

RA 2 muestra el desplazamiento de las sondas meteorológicas lanzadas durante la campaña.

FIGURA 2

Trayectorias de las sondas meteorológicas.

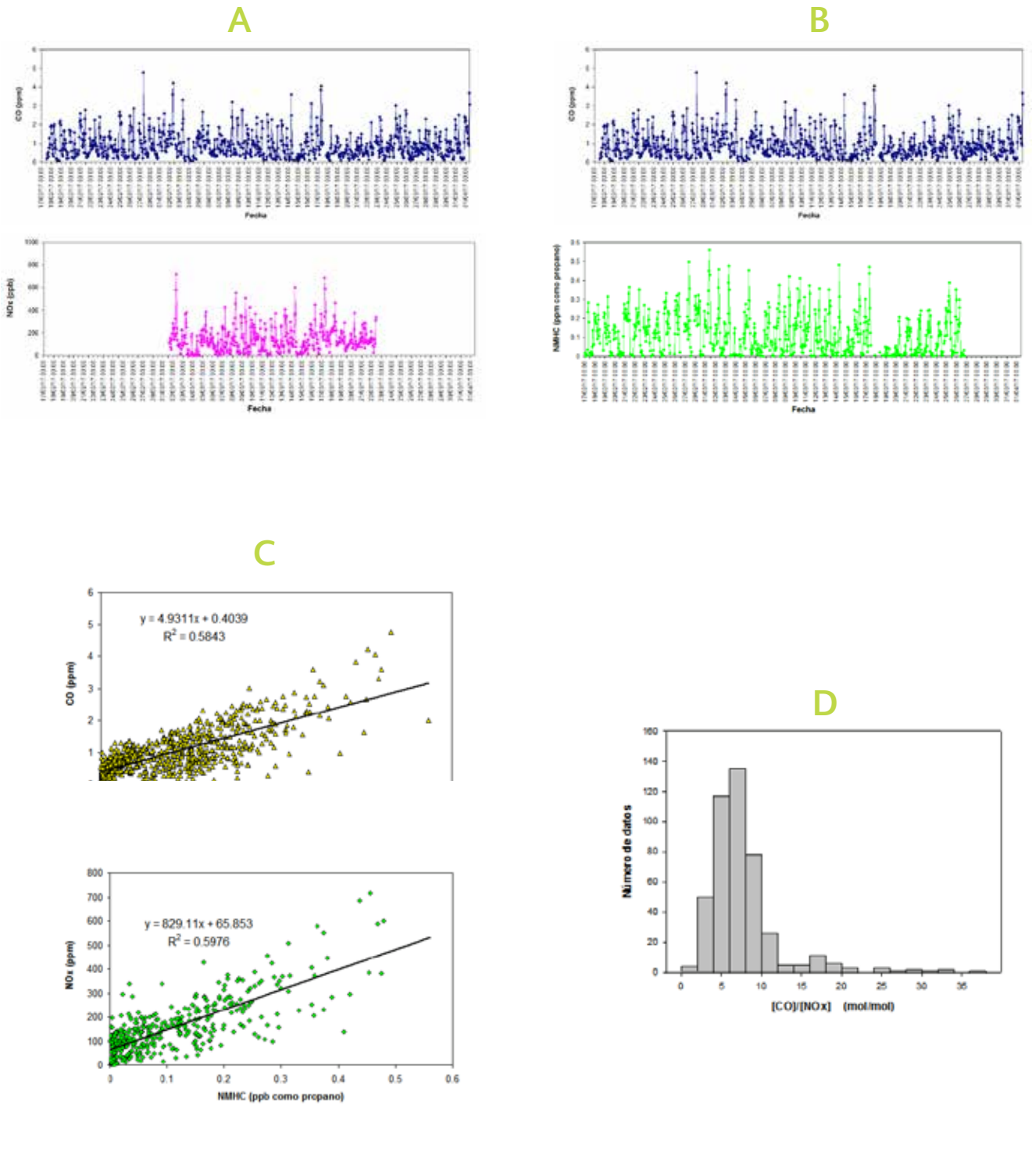


Los datos de concentración de gases muestran una correlación entre especies químicas y es de especial interés para el proyecto determinar la relación entre el CO y el NO_x debido a que son productos directos de quema de gasolinas, así como de CO e hidrocarburos no metano (HNM) que indica quema de otro tipo combustibles. Los cocientes de algunos contaminantes primarios, como monóxido de carbono (CO) y los óxidos de nitrógeno (NO_x), son la métrica para evaluar el desempeño del Inventario de Emisiones del Valle de Toluca (2006) en el Paseo Tollocan. Los datos preliminares muestran cocientes muy bajos (~ 7.0) a horas pico de tránsito vehicular en relación con el inventario de emisiones (~ 30). Esto implica que el inventario subestima las fuentes directas de óxidos de nitrógeno debido a combustibles fósiles.

El análisis de las series de tiempo de algunos gases indica que en el Paseo Tollocan (FIGURA 3) la quema de gasolina es el principal responsable del CO, HNM y NO_x.

FIGURA 3

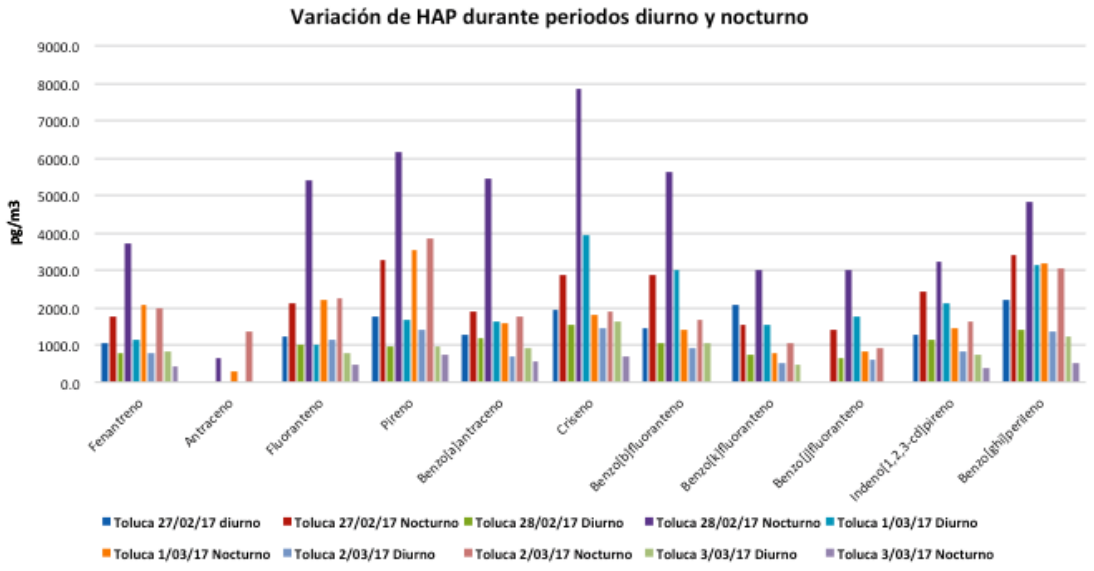
Datos de concentraciones ambientales en Tollocan para monóxido de carbono, óxido de nitrógeno e hidrocarburos no metano. (A) Series de tiempo CO y NO_x. (B) Series de tiempo CO y HNM. (C) Dispersión de datos de concentraciones de CO, NO_x y HNM. (D) Histograma de cocientes CO/NO_x



Aunque aún no se cuenta con la totalidad del análisis gravimétrico realizado al material recolectado en el Paseo Tollocan (FIGURA 4), la concentración de compuestos policíclicos aromáticos determinados en parte de las muestras es mayor que la recomendada por la Comunidad Europea de 1000 pg/m^3 y con frecuencia es tres veces más grande. Esto implica un daño directo a la salud, sobre todo para la población que vive sobre la avenida y que se expone de manera crónica a estos contaminantes.

FIGURA 4

Concentración de hidrocarburos policíclicos aromáticos en material particulado recolectado en Tollocan.



Potencial de aprovechamiento

La validación de la información de los inventarios de emisiones sirve a las autoridades medioambientales para evaluar si se cuenta con datos confiables relacionados con los padrones de contaminantes y emisores. Por añadidura, es útil para proyectar la generación y concentración ambiental de especies químicas en el aire, así como para evaluar el impacto que pueden tener medidas para mitigar y controlar la emisión de contaminantes.

Es útil para las diferentes autoridades. A las de salud les sirve para conocer *a priori* puntos de exposición crónica o de riesgo de exposición potencial; a las responsables del ordenamiento territorial les ayuda para establecer la distribución

geográfica de puntos de emisión de contaminantes y para determinar puntos de carga vehicular y de concentración de transporte, así como contar con herramientas para mejorar el crecimiento urbano; a aquellas vinculadas con el consumo de energía, la validación del inventario les es útil para estimar el consumo de combustibles por región, y a las autoridades estatales y federales para establecer los sectores que presentan información más imprecisa o incompleta de su contribución de contaminantes al medio.

Las desviaciones que se observan entre el inventario de emisiones y las mediciones de contaminantes en el aire pueden deberse a muchas causas, como son el factor de emisión empleado, el tipo de levantamiento del censo de fuentes de emisión y los cálculos de las tasas de flujo de las especies involucradas en el inventario, entre otras.

Bibliografía

Fujita, E., B. Croes, C. Bennett, D. Lawson, F. Lurmann, and H. Main (1992), Comparison of Emission Inventory and Ambient Concentration Ratios of CO, NMOG, and NOx in California's South Coast Air Basin, *J Air Waste Manage*, 42(3), 264-276, doi:10.1080/10473289.1992.10466989.

Hoyos Castillo, Guadalupe, Camacho Ramírez, Marce Darinka, *Vialidad Paseo Tollocan en la ciudad de Toluca* (2010), http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40115676011, ISSN 1405-8626

Secretaría de Medio Ambiente, Gobierno del Estado de México, Inventario de Emisiones a la atmósfera del Estado de México 2006 (2012), Metepec, Estado de México.

Secretaría de Medio Ambiente, Gobierno del Estado de México, Inventario de Emisiones de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca 2004 (2007), Metepec, Estado de México.

Secretaría de Medio Ambiente, Gobierno del Estado de México, Programa para mejorar la calidad del aire del Valle de Toluca 2012-2017 (2012), Metepec, Estado de México.

Ubicación de futuros rellenos sanitarios, considerando aspectos físicos, ecológicos y socioeconómicos

Efraín Rubio Rosas[1]
RESPONSABLE TÉCNICO

Gerardo Landeta Cortés[a]
Ignacio Muñoz Máximo[a]

[1] Director del Centro Universitario de Vinculación y Transferencia de Tecnología de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Doctor en Ingeniería. SNI-II. 90 publicaciones internacionales con factor de impacto; seis solicitudes de patente; 74 tesis dirigidas (cuatro de doctorado, 21 de maestría y 49 de licenciatura). Seis proyectos con empresa apoyados por el programa Estímulos a la Innovación, de CONACYT; dos proyectos CONACYT Fomix-Puebla, y 25 financiados por la industria. Líneas de investigación: ingenierías en el área ambiental y energía, y síntesis y caracterización de nanomateriales, biomateriales y catálisis.

[a] Centro Universitario de Vinculación y Transferencia de Tecnología, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

RESUMEN

Estudio para la ubicación futura óptima de rellenos sanitarios regionales, considerando aspectos físicos, ecológicos y socioeconómicos. Durante la primera etapa se ha desarrollado un procedimiento para la geolocalización de sitios potenciales según la norma oficial mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, probándose con éxito en la subcuenca de Nexapa, Puebla.

PALABRAS CLAVE

rellenos sanitarios; métodos multivariantes y multicriterio; geolocalización; residuos sólidos urbanos; NOM-083-SEMARNAT-2003

Introducción

En México, la generación total de residuos sólidos urbanos (RSU) tiene una distribución geográfica muy variable y también entre los grandes núcleos urbanos y las zonas rurales (INEGI 2013). La generación de RSU ha sostenido una tendencia creciente durante más de una década. Entre 2003 y 2011 creció ~25%, hasta alcanzar 41 millones de toneladas, equivalentes a 112,500 toneladas diarias de RSU (SEDESOL 2013). En 2011, la generación de RSU en localidades rurales representó el 11% del volumen total nacional. En contraste, las zonas metropolitanas

con más de un millón de habitantes (que albergaban al 13% de la población nacional) contribuyeron con 43% de los RSU (SEDESOL 2013).

La norma oficial mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, es el criterio usado para identificar los sitios designados para establecer un relleno sanitario. Sin embargo, aún no hay un control adecuado, a juzgar por el gran número de sitios no controlados (SNC=1701; INEGI 2015). Por lo general, esos sitios se eligen al azar, generando incorporación de lixiviados al subsuelo y emisión de gases (algunos, tóxicos, debido a quemas no controladas) que contribuyen al cambio climático. Los sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos (SDF-RSU), sean rellenos sanitarios (RS), sitios controlados (SC) y sitios no controlados (SNC), benefician a 93.28% de la población nacional (CONAPO 2013; SEDESOL 2013; INEGI 2015).

Planteamiento y desarrollo de la investigación

El alcance del proyecto es evaluar la geolocalización estratégica de sitios óptimos futuros para colocar rellenos sanitarios en México. El problema se ha abordado en dos etapas (FIGURA 1), utilizando para el análisis espacial una metodología multivariante, la evaluación multicriterio y el modelo Montecarlo. Durante la etapa 1 se realizó un diagnóstico de la situación actual de los rellenos sanitarios (FIGURA 2), se recopiló la información existente disponible (secretarías, artículos de investigación y tesis) que permitió la integración y construcción de las bases de datos necesarias para la construcción de modelos.

FIGURA 2

Sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos en México

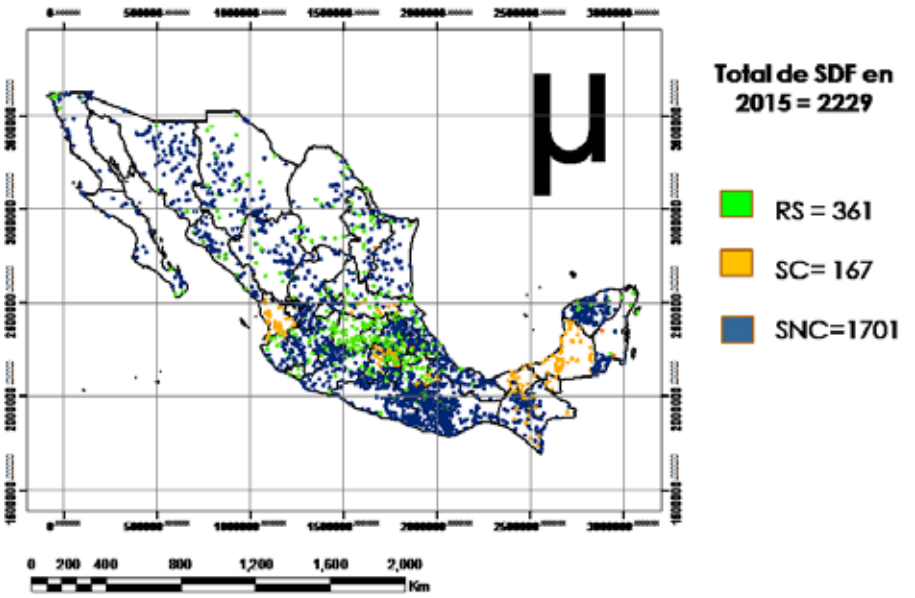
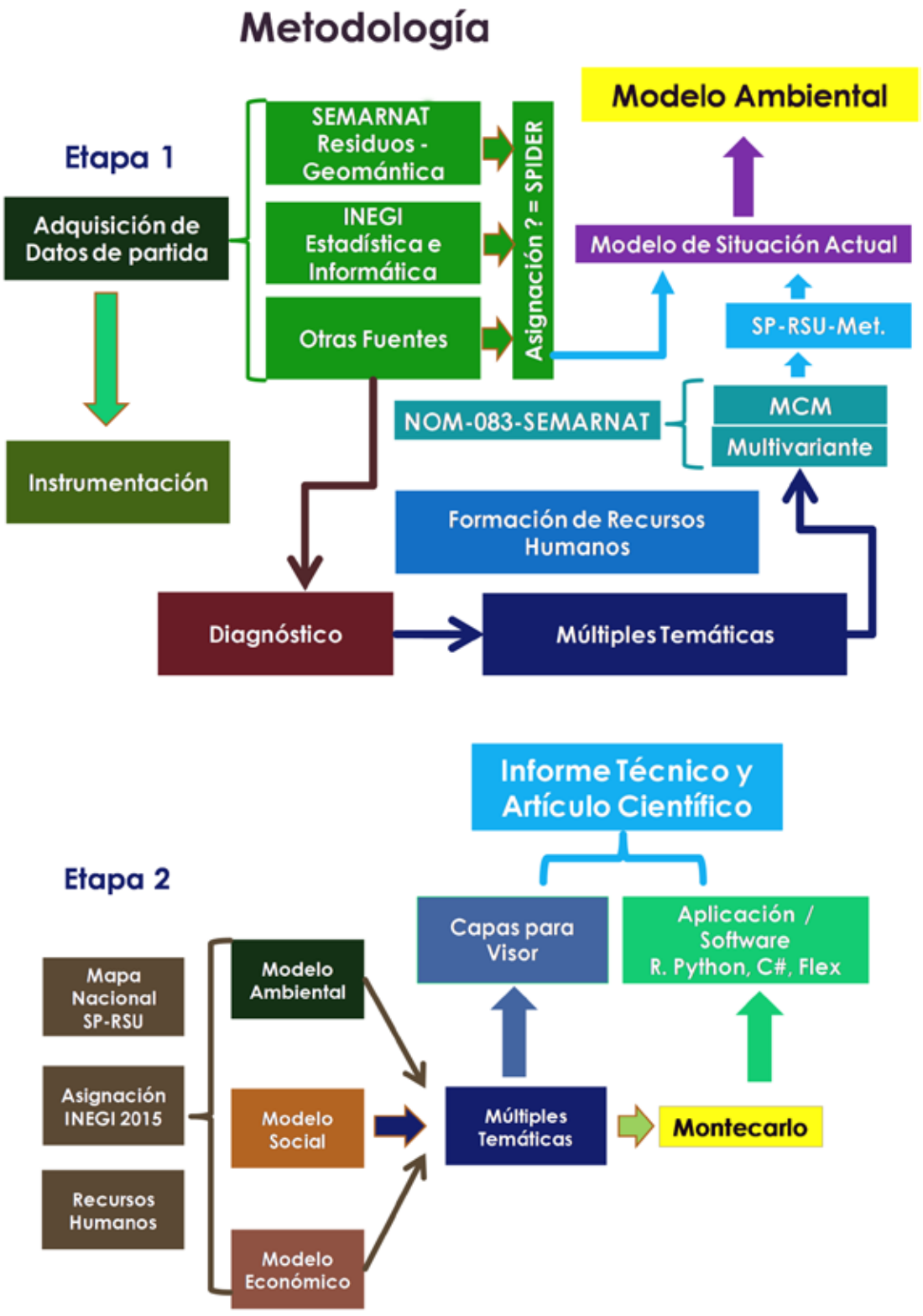


FIGURA 1

Metodología general del proyecto.



Elaboración propia, a partir de los datos de INEGI 2015.

En la etapa 2 se han comenzado a desarrollar los modelos ambiental, económico y social. Se generará el cálculo de escenarios comparativos, huella de carbono, desarrollo tecnológico (capas para montar en visor GIS y *software*) y la transferencia del conocimiento a SEMARNAT y las distintas unidades académicas (por ejemplo, congresos).

La integración de los datos de entrada, la construcción del modelo ambiental y su evaluación, durante la primera etapa, se desarrollaron a partir de una metodología multivariante (por ejemplo, análisis de conglomerados) y de la evaluación multicriterio. La integración de los SIG y la evaluación multicriterio, en conjunto con los métodos multivariantes, permite desarrollar procedimientos de análisis simultáneos en dos componentes del dato geográfico (el espacial y el temático) y ofrece soluciones a problemas espaciales complejos (Flores 2013) en función de factores y restricciones, mediante la evaluación de matrices (Maximiliano 2015; Flores 2013; Bautista *et al*. 2010).

Resultados

En la etapa 1 se obtuvieron múltiples bases de datos asociadas con diversas capas temáticas (por ejemplo, densidad de población, tipo de vehículos) que han sido analizadas a través del uso de SIG. Se ha desarrollado la metodología para la geolocalización de sitios potenciales de residuos sólidos urbanos (SP-RSU) a partir de considerar los factores y restricciones establecidos en la NOM-083-SEMARNAT-2003, probándose con éxito en la subcuenca de Nexapa, Puebla (FIGURAS 3 Y 4).

FIGURA 3

Metodología de la geolocalización de sitios potenciales para la disposición final de residuos sólidos urbanos.

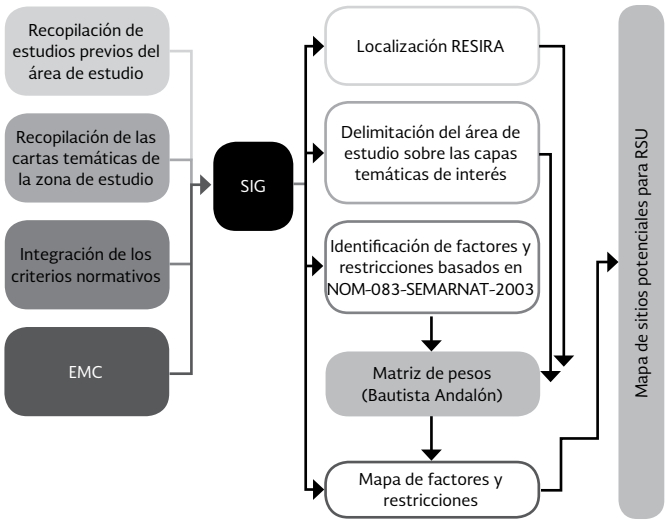
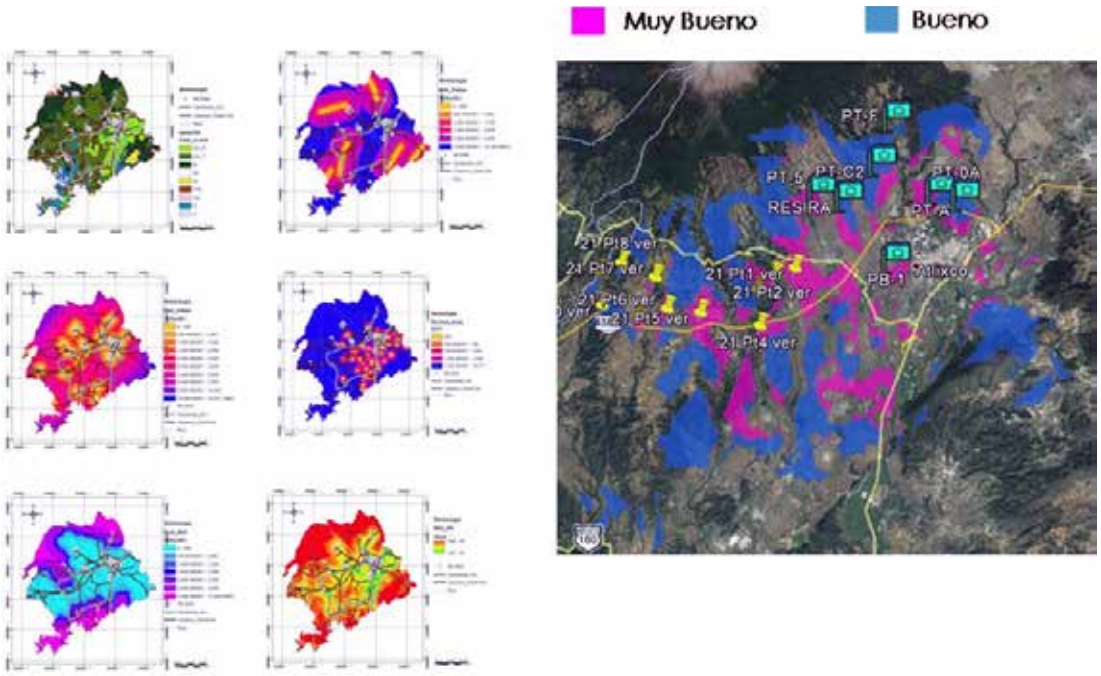


FIGURA 4

Mapa de aptitud de SP-RSU de la subcuenca de Nexapa, Puebla (Pérez 2017).



Actualmente se está concluyendo la capa nacional de SP-RSU, y se han realizado verificaciones de campo en los estados de México, Hidalgo, San Luis Potosí, Oaxaca, Veracruz y Puebla (FIGURA 5). Con las verificaciones *in situ* de los SDF-RSU actualmente establecidos, hemos podido dimensionar que el problema en México no se limita sólo a la gran cantidad de SNC (1701; INEGI 2015) y su mala planificación, sino también a los efectos directos sobre el bienestar humano.

FIGURA 5

Fotografías de sitios verificados de RSU, de los estados de México, Hidalgo y Puebla.

Como ejemplo, en el estado de Hidalgo existen casos donde la población manifestó resistencia social ante los sitios no controlados de RSU, ya que no sólo enfrentan los olores fétidos, la continua presencia de plagas en sus hogares y cultivos (ratas y cucarachas), sino que enfrentaron, en más de una ocasión, el ataque de jaurías que, en un caso, culminó con una niña hospitalizada. Los grupos civiles no sólo exigieron la reubicación de los residuos, sino que han evitado tirar basura de forma clandestina. Pero gracias a la oportuna intervención de las autoridades del estado de Hidalgo, en estas localidades y municipios, actualmente ya no existe el problema, ni están comprometidos el bienestar social o la salud humana. Lamentablemente, durante las distintas visitas de campo realizadas hasta el momento, se ha observado que esta situación se repite en distintas comunidades y zonas rurales a lo largo del territorio nacional.

Potencial de aprovechamiento para el sector ambiental

La información generada en las bases de datos y modelos serán la base para el desarrollo de una plataforma de *software* (en lenguaje GIS) que permita a los tomadores de decisiones evaluar los recursos económicos y humanos para la elección futura del territorio designado y establecer un relleno sanitario según la necesidad (A, B, C o D) y la normatividad ambiental pertinente.

También se implementarán en un visor (GIS) las distintas capas temáticas generadas (por ejemplo, SP-RSU, huella de carbono) que proporcionen información espacial geolocalizada, a secretarías de gobierno (estatal y federal), especialistas en medio ambiente, investigadores en la materia y la población interesada.

El resultado final contempla la transferencia de este desarrollo tecnológico y conocimiento en dos partes: 1) una interfaz que permita al personal de SEMARNAT realizar los cálculos y evaluaciones que soporten la toma de decisiones futuras en la ubicación óptima de rellenos sanitaros, y 2) alojar en los visores GIS de SEMARNAT e INEGI las capas temáticas generadas. Ante los continuos incrementos de los efectos del cambio climático en el territorio nacional, nuestro alcance del proyecto ha sido pensado desde el concepto de los sistemas socioeconómicos ambientales (SES, por sus siglas en inglés),[2] con la intención de que las capas dispuestas en los visores estén al alcance de todos los interesados en materia de RSU (entidades gubernamentales, académicos, empresarios y sociedad civil) y permitan a los tomadores de decisiones la construcción de estrategias y la mejora de las políticas públicas, soportadas por la información generada para un manejo sustentable del territorio.

[2] *Socio-economic and environmental systems.*

Bibliografía

Bautista Andalón, Maximiano, Rosales Contreras, Claudia Elizabeth, Contreras Sigala, Elie Livier. 2010. Guía para la selección de sitios potenciales para la ubicación de rellenos sanitarios por el método de peso y escala con el uso de álgebra de mapas. Coordinación de Planeación y Evaluación. IITEJ.

Flores Salazar, Jorge Arturo. 2013. *Identificación de sitios potenciales para la disposición final de residuos sólidos en los municipios Atlacomulco, Ixtlahuaca y Jocotitlán, Estado de México*. Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Geografía.

Maximiliano Gascón, Sergio, Marcela Jiménez, Lina, Pérez, Helena. 2015. Óptima ubicación de un relleno sanitario para el Área Metropolitana del Valle de Aburra empleando sistema de información geográfica. *Ing Usbmed*. Vol. 6. núm. 1.

Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003.

Siglas, acrónimos y abreviaturas

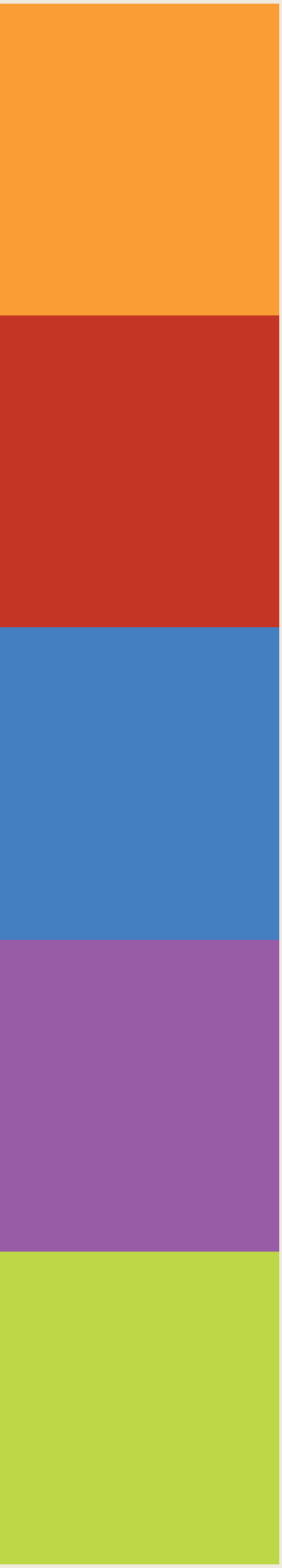
Término	Significado
1-OHP	1-hidroxipireno
ACP	Análisis de componentes principales
ACV	Análisis del ciclo de vida
ADN	Ácido desoxirribonucleico
AGCM	*Atmospheric Global Circulation Model* (Modelo de circulación atmosférica global)
ANP	Área Natural Protegida
AOD	*Aerosol Optical Depth* (profundidad óptica de aerosoles)
ARN	Ácido ribonucleico
ATB	Asistentes Técnicos a Bordo (programa de Sagarpa)
ATG	Análisis termogravimétrico
BC	Bóreo-Central
CAB	Centro de Actividad Biológica (BAC, en inglés, por *Biological Action Center*)
CC	Cambio climático
CCA	Centro de Ciencias de la Atmósfera (Universidad Nacional Autónoma de México)
CCSM4	*Community Climate System Model versión 4.0*
CDI	Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas
CDMX	Ciudad de México
CIBNOR	Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste
CIC	Capacidad de intercambio catiónico (suelos)
CICESE	Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada
CICUR	Cámara de la Industria de la Curtiduría
CICY	Centro de Investigación Científica de Yucatán
CIE-10	Clasificación Internacional de Enfermedades (código), versión 10 (Organización Mundial de la Salud).
CLAP	Cromatografía de líquidos de alta presión (HPLC, en inglés, por *High Performance Liquid Chromatography*)

CLICOM	*Climate Computing Project* (base de datos climatológica nacional)
CMBC	Center for Marine Biodiversity and Conservation (Scripps Institution of Oceanography, San Diego, California; Centro para la Biodiversidad Marina y la Conservación A.C.)
COFOM	Comisión Forestal del Estado de Michoacán
CONABIO	Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad
CONACYT	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
CONAFOR	Comisión Nacional Forestal
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
CONANP	Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas
CONAPESCA	Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca
CONAPO	Consejo Nacional de Población
CONEVAL	Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social
CRA	Capacidad de retención de agua (suelos)
DAAC	*Distributed Active Archive Center for Biogeochemical Dynamics*
DAP	Diámetro a la altura del pecho
Daymet	*Daily Surface Weather and Climatological Summaries* (véase ORNL y DAAC) (https://daac.ornl.gov)
DCP	Peróxido de dicumilo
DENUE	Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas
DLNM	*Distributed Lag Non linear Models* (modelos de regresión no lineales con rezagos distribuidos)
DMAA	Dimetilarginina asimétrica
DNA	Véase ADN
DOF	*Diario Oficial de la Federación*
ECCAP	Estrategia de cambio climático para áreas protegidas
ECV	Enfermedades cardiovasculares
ELISA	*Enzyme-Linked Immuno-Sorbent Assay* (ensayo por inmunoabsorción ligado a enzimas)
ENCC	Estrategia Nacional de Cambio Climático
ENSANUT	Encuestas Nacionales de Salud y Nutrición
EPOC	Enfermedad pulmonar obstructiva crónica

FABP4	*Fatty acid binding protein 4* (proteína 4 de unión a ácidos grasos)
FAO	Food and Agriculture Organization (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura)
FCR	Función de concentración respuesta
FTIR	*Fourier transform infrared spectroscopy* (espectroscopía de infrarrojo)
GDD	Grados día desarrollo
GEC	*Global Environmental Change* (Cambio Ambiental Global)
GEI	Gases de efecto invernadero
GIZ	*Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit* (Corporación Alemana para la Cooperación Internacional)
GPS	*Global Positioning System* (sistema de posicionamiento global)
HAP	Hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH en inglés)
HIES	Hospital Infantil del Estado de Sonora
HNM	Hidrocarburos no metano
IDW	*Inverse distance weighting* (inverso de la distancia ponderada)
IHA	*Indicators of Hydrologic Alteration* (programa de cómputo)
IITEJ	Instituto de Información Territorial del Estado de Jalisco
IMIP	Instituto Municipal de Investigación y Planeación Urbana de Cajeme (Sonora)
INAPESCA	Instituto Nacional de Pesca
INE	Véase INECC
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía (antes Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática)
INP-12	Índice normalizado de precipitación a doce meses (SPI-12 en inglés, por *12-Month Standardized Precipitation Index*)
IPCC	*Intergovernmental Panel on Climate Change* (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático)
IR	Infrarrojo
ISTA	*International Seed Testing Association* (Asociación Internacional de Ensayos de Semillas)

IUCN	*International Union for Conservation of Nature* (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza)
IUCN	Lista Roja. IUCN *Red List of Threatened Species* (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza. Lista roja de especies amenazadas) CR= Critically endangered (en peligro crítico); DD= *Data deficient* (datos insuficientes); EN= *Endangered* (en peligro); EW= *Extinct in the wild* (extinta en el medio silvestre); EX= Exctinct (Extinta); NE= *Not evaluated* (no evaluada); NT= *Near Threatened* (casi amenazada); VU= *Vulnerable* (vulnerable)
IVC	Índices de vulnerabilidad climática (también "índices cuantitativos de vulnerabilidad climática")
IVDN	Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI en inglés, por *Normalized Difference Vegetation Index*)
IVSA	Índice de vulnerabilidad socioambiental
IVV	Índice de Vegetación Verde (GNDVI en inglés, por *Green Normalized Difference Vegetation Index*)
LRV	Llanura de Rioverde
LUR	*Land use regression* (modelo de regresión)
msnm	Metros sobre el nivel del mar
MaxEnt	*Maximum Entropy Modeling* (modelación según el principio de máxima entropía)
MCG	Modelo de circulación general
MCG	Modelos de circulación global
mdp	Millones de pesos
Mg	Megagramo= 1 x 10^{12} gramo= tonelada métrica= 1000 kg
MgC/ha	Megagramo de carbono por hectárea
µg	Microgramo= 10^{-6} g
µm	Micrómetro= 10^{-6} m= 10^{-3} mm
MIRSU	Modelo Institucional de Responsabilidad Social Universitaria
MRI-AGCM	*Meteorological Research Institute-Atmospheric General Circulation Model*
NASA	*National Aeronautics and Space Administration* (Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio)
NE	Noreste

NMX	Norma mexicana
NOM	Norma oficial mexicana
NSE	Nivel socioeconómico
OMS	Organización Mundial de la Salud
ONG	Organización No Gubernamental
ORNL	*Oak Ridge National Laboratory* (Laboratorio Nacional Oak Ridge)
OSC	Organizaciones de la sociedad civil
PAH	*Polycyclic aromatic hydrocarbons*
PCNO	Planicie Costera Nororiental
pg	Picogramo= 10^{-12} g= 10^{-15} kg
PM	*Particulate matter or particle pollution* (partículas en suspensión)
PM_{10}, $PM_{2.5}$	Partículas en suspensión con calibre de 10 o 2.5 micrómetros (µm)
PNUMA	Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente
POA	Planicie Occidental Altiplano
ppb	Partes por billón (1 x 10^{-9}); en este documento se refiere al billón anglosajón o mil millones.
ppm	Partes por millón (1 x 10^{-6})
ppmv	Partes por millón en volumen
PROFEPA	Procuraduría Federal de Protección al Ambiente
ϱ	Ro griega; coeficiente de correlación de Pearson
RAN	Registro Agrario Nacional
RAPD	*Random Amplification of Polymorphic DNA* (Amplificación aleatoria de ADN polimórfico)
RCP	*Representative Concentration Pathways* (vías representativas de concentración)
REA	Red Española de Aerobiología
REBISE	Reserva de la Biosfera La Sepultura
REMA	Red Mexicana de Aerobiología
RR	Riesgo relativo
RS	Rellenos sanitarios (también “rodales semilleros”)
RSU	Residuos sólidos urbanos

RT-PCR	Reacción en cadena de la polimerasa (del inglés PCR, *polymerase chain reaction*)
RUOA	Red Universitaria de Observatorios Atmosféricos
Sagarpa	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
SC	Sitios controlados
SDF	Sitios de disposición final
SE	Servicios ecosistémicos
SEDESOL	Secretaría de Desarrollo Social
SEED	Sistema Estadístico y Epidemiológico de Defunciones
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SES	*Social ecological systems* (sistemas socioeconómicos ambientales)
SIG	Sistema de información geográfica
SIMAT	Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México
SINAICA	Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire
SIRDF	Sistema integrado para recomendar dosis de fertilización en caña de azúcar
SMAGEM	Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Estado de México
SMC	Sierra Madre de Chiapas
SME	Sierra Madre Oriental
SMN	Servicio Meteorológico Nacional
SMO	Sierra Madre Occidental
SMS	Sierra Madre del Sur
SNC	Sitios no controlados
SNICS	Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas
TEVS	N-[3-(trimetoxisilil) propil] etilendiamina
$T_{máx}$	Temperatura máxima
$T_{mín}$	Temperatura mínima
TMM	Temperatura de mínima mortalidad
ton	Tonelada= 1000 kg
TSM	Temperatura superficial del mar
UABCS	Universidad Autónoma de Baja California Sur
UAEM	Universidad Autónoma del Estado de México

UAT	Universidad Autónoma de Tamaulipas
UAV	*Unmanned aerial vehicle* (véase VANT)
UMA	Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre
UMSNH	Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
UNEP	*United Nations Environment Programme* (Programa de las Naciones Unidas para el Ambiente)
UPGF	Unidades productoras de germoplasma forestal
USD	Dólar de los Estados Unidos (*U.S. Dollar*)
VANT	Vehículo aéreo no tripulado
WAO	World Allergy Organization
WHO	World Health Organization (véase OMS)
ZMVM	Zona Metropolitana del Valle de México