

1 **Estudio de País 2; Parte A; Capítulo 15**

2

3 **Diversidad de procesos funcionales en los ecosistemas.**

4

5 **Coordinadores de Capítulo:**

6 *Escobar, Elva.* Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.

7 *Maass, Manuel.* Centro de Investigaciones en Ecosistemas, UNAM Campus Morelia.

8

9 **Co-autores que colaboraron:**

10 *Alcocer Durand, Javier.* Programa en Limnología Tropical, UNAM FES Iztacala.

11 *Azpra Romero, Enrique.* Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM.

12 *Falcón Alvarez, Luisa I.* Instituto de Ecología.

13 *Gallegos García, Artemio.* Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.

14 *García, Francisco Javier.* Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.

15 *García Oliva, Felipe.* Centro de Investigaciones en Ecosistemas, UNAM Campus
16 Morelia.

17 *González Ocampo, Manuel.* Posgrado en Ciencias Biológicas, UNAM.

18 *Jaramillo, Víctor.* Centro de Investigaciones en Ecosistemas, UNAM Campus
19 Morelia.

20 *Lecuanda Camacho, Raymundo.* Instituto de Ciencias del Mar y Limnología,
21 UNAM.

22 *Magaña, Víctor.* Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM.

- 23 *Márquez García, Erik.* INP-SAGARPA.
- 24 *Martínez Yrizar, Angelina.* Instituto de Ecología, UNAM.
- 25 *Muhlia V., Agustín.* Observatorio de Radiación Solar, Instituto de Geografía UNAM.
- 26 *Ortiz-Pérez, Mario Arturo.* Instituto de Geografía, UNAM.
- 27 *Rodríguez Sobreya, Ranulfo.* Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.
- 28 *Zavala Hidalgo, Jorge.* Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM.
- 29

29 La enorme diversidad biológica de nuestro país no sólo se refleja en el gran número de
30 especies descritas y mencionadas en los capítulos anteriores, sino además en la enorme
31 diversidad de procesos ecológicos producto de la interacción de los organismos entre sí y
32 con su ambiente. Componentes bióticos y abióticos conforman ensamblajes integrados
33 mediante procesos funcionales de corte físico, químico y biológico, en los que el agua, la
34 energía y los materiales fluyen y se transforman. En este capítulo hacemos referencia a la
35 diversidad de procesos ecológicos que se dan en los distintos ecosistemas del país. En
36 particular tomamos en cuenta a aquellos que controlan la dinámica funcional de los
37 ecosistemas naturales. El impacto de las actividades humanas sobre estos se analiza en la
38 Parte B del estudio.

39 Al igual que en varios de los capítulos, el análisis se hace utilizando el marco
40 conceptual del MA (Millennium Ecosystem Assessment). El MA reconoce cuatro grandes
41 tipos de servicios ambientales que ofrecen los ecosistemas: de provisión, de regulación,
42 culturales y de soporte. Estos últimos son los procesos ecológicos básicos que mantienen al
43 ecosistema. Se trata de las principales vías y mecanismos de entradas, salidas, almacenes y
44 flujos internos de agua, energía y elementos minerales en el ecosistema. Aunque no
45 necesariamente tienen un beneficio directo para la sociedad, los servicios de soporte hacen
46 posible los otros tres tipos de servicios ambientales. Los procesos aquí analizados son el
47 insumo esencial para entender, evaluar y manejar los servicios ecológicos que ofrecen los
48 ecosistemas al hombre y de allí la relevancia de su conocimiento a nivel nacional.

49 Se identificaron 32 procesos funcionales de corte ecosistémico que, dada su
50 importancia, deben ser identificados, evaluados y descritos a nivel nacional. Estos fueron
51 catalogados en tres grandes tipos: 1) aquellos ligados con la dinámica hidrológica del
52 ecosistema; 2) aquellos relacionados con la disponibilidad y el flujo de energía; y 3)

53 aquellos de corte biogeoquímicos involucrados en la dinámica de elementos minerales en el
54 ecosistema. La mayoría de estos procesos ocurren en todos los ambientes; sin embargo,
55 algunos sólo ocurren en ambientes acuáticos y otros son más bien de corte terrestre. Existen
56 además otros fenómenos naturales que, dada su virulencia, constituyen un factor de riesgo
57 para la población. Su identificación, descripción y evaluación también son de gran
58 relevancia nacional, por lo que se incluyeron en la lista. En total se identificaron diez
59 denominados de riesgo ambiental. Finalmente, también se consideraron una docena de
60 factores ambientales básicos que constituyen el sustrato o materia prima esencial para la
61 operación de los ecosistemas. En conjunto suman un total de 55 procesos y parámetros
62 identificados (ver tabla 15.1).

63 Con respecto a los procesos y factores ambientales básicos, desde hace mucho
64 tiempo existe la conciencia y el interés de evaluarlos a nivel nacional. El trabajo del INEGI,
65 el INE y de diversos institutos de ciencias de la tierra en las universidades corroboran esta
66 necesidad. Para el caso de los asociados a fenómenos de riesgo ambiental, desde hace
67 relativamente poco tiempo ha comenzado una cultura de la prevención de desastres y, con
68 ello, una clara conciencia de su importancia e interés por estudiarlos. Sin embargo, y no
69 obstante su gran relevancia, hoy en día se tiene poca conciencia sobre la necesidad de
70 evaluar, a nivel nacional, los procesos funcionales de corte ecosistémico, sobre todo los de
71 tipo biogeoquímico y energético.

72 El entendimiento de los diferentes procesos funcionales sigue un mismo patrón que
73 el mostrado por la conciencia de su importancia e interés en estudiarlos. A nivel
74 internacional, el entendimiento del funcionamiento de los ecosistemas apenas comienza a
75 conformarse. Siendo estos sumamente dinámicos, su estudio requiere de mediciones
76 continuas y prolongadas, difíciles de obtener a partir de esfuerzos no sistemáticos, sobre

77 todo en un subsistema científico que promueve los estudios a corto plazo y de escalas
78 pequeñas. Sin embargo, ante la evidencia cada vez más clara, de la severa crisis ambiental
79 que estamos viviendo a escalas planetarias, aunado al desarrollo de nuevas tecnologías que
80 permiten dar seguimiento a variables ecológicas de manera más eficiente, se ha
81 incrementado el interés por estudiar los procesos ecológicos a escalas más amplias.

82 Con excepción de algunos aspectos de corte hidrológico, prácticamente no se tiene
83 información, a escalas nacionales, sobre los el funcionamiento de los ecosistemas. Existen
84 algunos estudios que los analizan con detalle, pero que se circunscriben a sitios muy
85 localizados y por solamente algunos años. La mayoría de los mapas que muestran estos
86 procesos ecosistémicos a escala nacional se basan en información puntal y acotada, cuya
87 extrapolación a la escala nacional deja mucho que desear, pues los modelos empleados y
88 los supuestos establecidos no siempre se cumplen. Sin embargo son una primera
89 aproximación que ayuda a generar la conciencia de su importancia, así como el interés
90 necesario para abordarlos de una manera más apropiada.

91 La información existente muestra claramente un sesgo hacia un mejor
92 entendimiento de los aspectos estructurales en comparación con los aspectos funcionales de
93 nuestros ecosistemas. Es de suma importancia redoblar esfuerzos a nivel nacional para
94 avanzar en el entendimiento del funcionamiento de nuestros ecosistemas y en particular de
95 aquellos que son modificados a pasos grandes. El esfuerzo que ello implica no sólo
96 requiere la búsqueda de fondos de financiamiento apropiados, sino además el
97 establecimiento de redes de grupos de investigación que, trabajando de manera coordinada,
98 puedan generar la información a las escalas requeridas. El establecimiento de la Red
99 Mexicana de Investigación Ecológica de Largo Plazo (Mex- LTER), así como el Programa
100 Mexicano del Carbono son claras muestras del interés y disposición por parte de los

101 científicos mexicanos para abordar estudios con el detalle y a las escalas espaciales y
102 temporales que esa tarea requiere.

103 A continuación presentamos una breve sinopsis de algunos de estos procesos
104 ecológicos. Se puso particular atención en identificar qué tanta conciencia/interés hay en
105 estudiarlos a nivel nacional y cuál es su grado de entendimiento. Así mismo, se describe
106 brevemente qué información hay disponible y qué calidad ésta tiene. En aquellos casos en
107 los que hay información suficiente, se describió su comportamiento espacial y temporal.

108

109 (ver tabla 15.1 más abajo...)

Tabla 15.1**Diversidad de procesos funcionales en los ecosistemas.**

(T = ambientes terrestres; A = ambientes acuáticos, * = ambos ambientes)

Procesos funcionales del ecosistema*Dinámica hidrológica*

- 1 * Lluvia
- 2 * Aportes de agua subterránea
- 3 * Aportes fluviales
- 4 * Evapotranspiración potencial
- 5 * Evapotranspiración actual
- 6 T Humedad en el suelo
- 7 T Escurrimiento medio anual
- 8 T Almacenamiento de agua subterránea
- 9 A Conectividad por corrientes y masas de agua
- 10 A Balance de calor (lluvia- evaporación)

Dinámica energética

- 11 * Radiación Solar Media
- 12 * Albedo
- 13 * Descomposición / Remineralización
- 14 * Productividad primaria
- 15 T Índice normalizado de vegetación
- 16 T Almacenes de biomasa
- 17 A Distribución de la biomasa expresada como clorofila

Dinámica biogeoquímica

- 18 * Emisiones de CO₂
- 19 * Emisiones de Metano
- 20 * Emisiones de Óxidos de Nitrógeno
- 21 * Fijación de N
- 22 * Almacenes de carbono
- 23 * Lluvia ácida
- 24 T Mineralización
- 25 T Erosión y sedimentación
- 26 A Secuestro de carbono biogénico
- 27 A Exportación de carbono biogénico
- 28 A Surgencias marinas
- 29 A Descarga de sedimentos y materiales hacia cuerpos de agua
- 30 A Salinidad en cuerpos de agua
- 31 A Sistemas reducidos, quimioautotrofia
- 32 A Eutroficación

Procesos asociados a riesgos ambientales

- 33 * Sequías
- 34 * Ciclones y huracanes
- 35 * Aumento de nivel del mar

- 36 * Tsunamis
- 37 * Anomalías climáticas (eg. EL Niño)
- 38 T Heladas y granizadas
- 39 T Inundaciones
- 40 T Erosividad de la lluvia
- 41 T Deslaves
- 42 A Hipoxia y anoxia
- 43 A Erosión de playas y costas

Procesos y factores ambientales básicos

- 44 * Climas
- 45 * Hidrografía e hidrometría
- 46 * Hidrogeología
- 47 * Temperatura del aire, suelo y cuerpos de agua
- 48 * Hidrología, principales corrientes y masas de agua
- 49 * Geología
- 50 T Suelos
- 51 T Geomorfología
- 52 A Hipsometría y batimetría
- 53 A Delimitación de regiones oceánicas y cuencas geológicas
- 54 A Fondos marinos
- 55 A Topografía y geomorfología de las cuencas oceánicas

111

112 Dinámica hidrológica

113 Con respecto a la dinámica hidrológica del ecosistemas, procesos funcionales importantes
 114 incluyen la lluvia, el aporte de agua subterránea, los aportes fluviales, la evapotranspiración
 115 potencial, la evapotranspiración actual, la humedad en el suelo, el escurrimiento medio
 116 anual, el almacenamiento de agua subterránea, la conectividad por corrientes y masas de
 117 agua, y los balance de calor (lluvia- evaporación) en los cuerpos de agua.

118

119 **Lluvia.-** El ciclo sequías-exceso de lluvia, reflejo de la variabilidad climática natural,
 120 frecuentemente se traduce en desastres por nuestra alta vulnerabilidad en materia
 121 hidrológica. Ya es claro que estos problemas podrían acentuarse bajo condiciones de
 122 cambio climático pues, ante un clima más caliente y con mayor variabilidad el ciclo

123 hidrológico se verá afectado, y la disponibilidad de agua disminuirá para la sociedad y los
124 sistemas naturales.

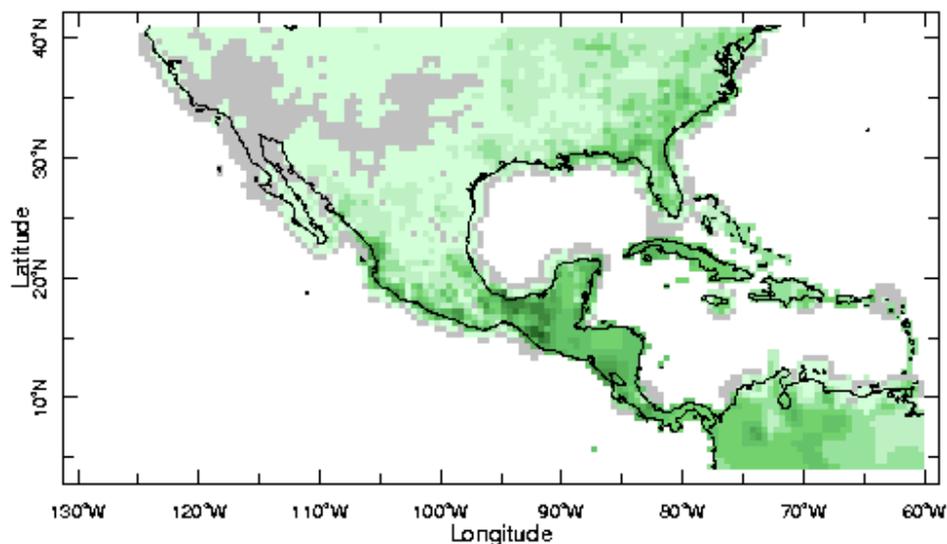
125 En México, la mayor parte de los estudios sobre las lluvias se han concentrado en
126 documentar sus características espacio-temporales, en relación con el ciclo anual, las
127 formas de su variabilidad interanual (e.g., ENSO), intraestacional (e.g., canícula), los
128 eventos extremos (e.g., huracanes) o las tendencias (e.g., cambio climático). Sin embargo,
129 son relativamente pocos los estudios sobre procesos que permitan explicar tales variaciones,
130 tanto en sus tamaños como en su duración. Tal situación se refleja en la relativamente baja
131 capacidad para generar pronósticos estacionales del clima de utilidad en aquellos sectores
132 altamente dependientes del agua (agricultura).

133 Poco es lo avanzado en México en materia de aprovechamiento de información
134 meteorológica en general. No fue sino hasta principios del presente siglo que se puso en
135 marcha un Sistema de Alerta Temprana ante Huracanes que cambió drásticamente la
136 situación de vulnerabilidad de la población costera ante estos fenómenos, reduciéndose a un
137 mínimo el número de muertes relacionadas a los intensos vientos, fuertes lluvias y marea de
138 tormenta. Sin embargo, es necesario establecer equivalentes de sistemas de alerta que nos
139 permitan hacer frente a condiciones de sequía o inundación, de calor excesivo o de frío
140 intenso.

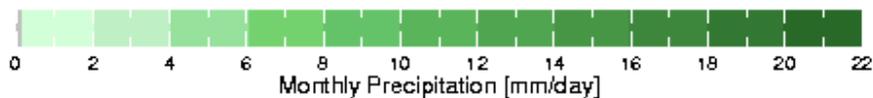
141 La precipitación es sin duda una de las variables que se monitorea, estudia y
142 pronostica con mayor interés, pues es el elemento que determina nuestra disponibilidad de
143 agua. En México, la mayor parte de las estaciones meteorológicas miden precipitación.
144 Durante los años 40 a 60 el número de estaciones meteorológicas en el país pasó de cientos
145 a más de tres mil. Sin embargo, después de la época de los setenta la red meteorológica del
146 país se ha visto disminuida y hoy en día reportan, en forma casi regular, entre mil y mil

147 quinientas estaciones. Algunas estaciones (menos de cincuenta) cuentan con información
148 de alrededor de cien años, la que resulta de gran utilidad para diagnósticos de tendencia del
149 clima.

150 La información de estas estaciones ha servido para construir bases de datos de
151 precipitación diaria y mensual, siguiendo diversos métodos de asimilación de datos. Hoy en
152 día se dispone de al menos cinco bases que permiten acceder a datos de precipitación con
153 resolución espacial de entre cincuenta y cien kilómetros
154 (<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.UNAM/.gridded/.monthly/.pcp/>).



155 Sep 2000



156

157 **Fig. 15.3** Precipitación mensual (mm/día) para septiembre del
158 2000 a partir de los datos de la UNAM.

159

160 *Evapotranspiración actual y potencial.*- Una atmósfera más caliente tiene mayor
161 capacidad de absorber vapor de agua. Al aumentar la temperatura, el ciclo hidrológico se ve
162 afectado. Parte de la manera en que cambiará el ciclo del agua será a través de aumento en
163 la evapotranspiración, tanto actual como potencial. Aunque no existen registros confiables
164 de los niveles de evaporación actual en el territorio mexicano se sabe lo suficiente para
165 afirmar que cambio climático y en particular el calentamiento global producirán aumentos
166 en la evapotranspiración a costa de los escurrimientos e infiltraciones. De no aumentar
167 substancialmente las precipitaciones, el balance hídrico nos llevará a menor disponibilidad
168 de agua en gran parte del país. Mediante modelos del ciclo hidrológico se sabe que los
169 escenarios futuros de mayor temperatura con más o menos lluvias serán de mayor
170 evapotranspiración y menos humedad del suelo.

171 Las experiencias de años El Niño han llevado a entender que en un clima
172 monzónico como el mexicano, los años de poca lluvia son generalmente de gran insolación
173 y aumentos de evapotranspiración. Tales condiciones podrían volverse más comunes en el
174 futuro lo que plantea un reto de proporciones mayores no sólo en cuanto a manejo de agua,
175 sino incluso en cuanto al riesgo climático y de manejo que enfrenten los ecosistemas.

176 Aunque sabemos que los cambios en el clima inducen alteraciones en los
177 ecosistemas, es menos claro en qué medida los cambios en los ecosistemas alterarán el
178 clima. El cambio del llamado uso de suelo puede cambiar: la humedad del suelo, su
179 rugosidad y su albedo, afectando los balances radiativos, de calor, de humedad y de
180 momento, con lo que las manifestaciones del clima como son las lluvias y las temperaturas
181 podrán verse afectadas. En México, es poco lo analizado sobre el tema cambios en la
182 cubierta vegetal y alteraciones en el clima regional. Ejemplos de cómo el clima se altera al
183 cambiar el uso de suelo se tienen en la Ciudad e México o en la India, en el llamado

184 desierto hecho por el hombre. Desafortunadamente, hay escasas mediciones de humedad
185 del suelo que permitan estimar el impacto que el crecimiento de las actividades humanas
186 tiene en el clima.

187

188 ***Humedad del suelo.***- El estudio de los patrones espaciales y temporales de la humedad del
189 suelo son importantes, ya que por un lado permiten conocer la dinámica de la
190 disponibilidad del agua para las plantas y por otro lado, permiten entender los procesos
191 involucrados en los balances hídricos. Los factores que afectan a estos patrones son muy
192 complejos, ya que no solo depende de relaciones directas entre factores, sino de sus
193 interrelaciones. Por ejemplo, la humedad del suelo depende de la precipitación, de las
194 características del suelo (que definen la tasa de infiltración del agua y de su capacidad de
195 retención de agua), del relieve, de la demanda evaporativa, de la cobertura vegetal, etc. Por
196 lo anterior, la humedad del suelo es muy dinámica en el tiempo y eso complica su medición.

197 Desafortunadamente en México no existen trabajos que aborden el estudio de la
198 humedad del suelo a escalas nacionales y regionales. Una primera aproximación, podría ser
199 por medio de los tipos de suelos para definir la capacidad de retención de agua en el suelo
200 de una manera muy burda. Este tipo de estudios permitiría establecer criterios para diseñar
201 una red nacional de monitoreo de la humedad del suelo.

202

203 ***Conectividad por corrientes y masas de agua.***- El viento es la fuente principal de energía
204 que genera el movimiento de las masas de agua en el Mar Caribe, el Golfo de México y el
205 Océano Pacífico Oriental. El viento tiene una componente estacional. La dirección de las
206 corrientes puede estimarse a partir de boyas de deriva, para las cuales el viento es uno de
207 los principales obstáculos. Las boyas de deriva se diseñan de forma tal, con una superficie

208 expuesta al viento muy pequeña que pueden transportarse a través de una vela sumergida a
209 lo largo de la corriente oceánica sin el freno del viento y se lanzan al mar desde
210 embarcaciones y en ocasiones desde aviones. Una vez que ingresa a la corriente una boya
211 de deriva transmitirá su señal a satélites que orbitan la Tierra para establecer la posición
212 geográfica y comunicarse a una estación de recepción. La exactitud de la posición de la boya
213 de deriva es de aproximadamente 500 m, que representa un nivel de error razonable
214 considerando las dimensiones y la escala de las estructuras que estas boyas describen en el
215 océano abierto. Las boyas de deriva pueden contener sensores que miden las propiedades
216 del océano tales como la temperatura, viento, color del mar, presión o salinidad y estos
217 datos se pueden retransmitir al enlace satelital. Los datos se envían a un centro de captura
218 donde se procesan y se distribuyen a los diferentes usuarios. Una boya de deriva típica
219 transmitirá por un periodo de casi 1.5 años.

220 Los datos de las boyas de deriva pueden emplearse para predecir la dirección en la cual
221 se transporta un contaminante, tal como petróleo, agua de desecho, basura que pudo
222 haberse liberado accidentalmente o a propósito en el mar. Diversos organismos vivos se
223 desplazan junto con las corrientes, especialmente estadios larvales y juveniles de especies
224 de importancia comercial. Los estudios de pesquerías emplean el conocimiento generado
225 por las boyas de deriva para entender la proveniencia de los organismos, p.e. las langostas
226 en el Mar Caribe y los patrones de su distribución y de los hábitos de desplazamiento en
227 una región. La industria que depende de las embarcaciones para el transporte de bienes,
228 recursos y que tiene una red extensa de operaciones marítima usa las rutas establecidas por
229 las boyas de deriva para comprender mejor los patrones de las corrientes.

230 Los oceanógrafos usan los datos de las boyas de deriva para reconocer las corrientes
231 principales y las estructuras de mesoescala en el océano (eddies o anillos), estableciendo la

232 conectividad entre éstas. Las boyas de deriva pueden emplearse para verificar y validar
233 datos desde satélites tales como temperaturas superficiales o color del mar (ver capítulo de
234 temperatura) y con ello elaboran modelos del clima y de los patrones de huracanes o de
235 eventos como El Niño.

236 Las masas de agua del Mar Caribe y Golfo de México tienen un origen variable, en ellas
237 lo común es el transporte del agua del Océano Atlántico central y occidental y la mezcla
238 con los ríos Amazonas y Orinoco que contribuyen con la presencia de zonas con hasta 30m
239 de profundidad con menor salinidad detectada con isótopos de radio (Ra) que han permitido
240 identificar la fuente de agua dulce en la región y el tiempo transcurrido desde su arribo
241 desde los estuarios. La duración de las zonas de menor salinidad es de unos 25 días. La
242 conectividad se reconoce en el agua que se desplaza desde el sur del Mar Caribe hacia el
243 norte tanto por los bordes oriente y occidente de la cuenca con ingreso de agua a través de
244 los estrechos de las Islas Antillas desplazándose a una velocidad de $15 \text{ to } 33 \text{ cm.s}^{-1}$ y
245 caracterizadas por sedimentos resuspendidos (Pujos et al., 1997).

246 La conectividad es una característica física de la circulación y masas de agua en la
247 región que en el caso del Mar Caribe y Golfo de México vincula la fuente de estas masas de
248 agua al sur de las Antillas a lo largo de todo el Mar Caribe, al interior del Golfo de México
249 y hasta su salida en los Estrechos de Florida. Los navegantes de los siglos 15 y 16 que
250 exploraron y descubrieron este continente se beneficiaron de esta conectividad
251 predominantemente unidireccional en aguas superficiales definiendo las rutas principales
252 de navegación para el comercio (Rojas, 2001).

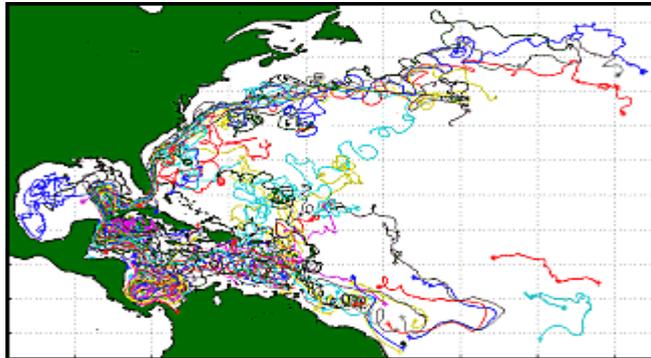
253 La conectividad tiene una importancia particular al establecer el vínculo entre regiones
254 oceánicas y en apoyo a los planes de manejo en escalas de tiempo mayores a unas cuantas
255 hectáreas, como las requeridas para áreas Marinas Protegidas. A nivel regional el flujo es

256 complejo desplazándose la masa de agua de este a oeste además de transportarse
257 predominantemente al norte. Tanto el Mar Caribe como el Golfo de México se reconocen
258 por la presencia de eddies con diámetros de hasta más de 100 km (Zavala-Hidalgo et al.,
259 2003). Estas estructuras de agua que rotan como ciclones o anticiclones están claramente
260 definidas por la elevación que presentan con respecto al nivel promedio del mar y se
261 detectan fácilmente con sensores satelitales de temperatura y altimetría. Las corrientes
262 superficiales alcanzan velocidades de más de 100 cm.s^{-1} . El flujo de agua más importante
263 que conecta la región del Mar Caribe con el Golfo de México se localiza en el Canal de
264 Yucatán que presenta a la vez un reflujó en sentido inverso cerca del fondo. La circulación
265 en esta zona está modulada por una surgencia dependiente de la escala temporal estacional
266 y climática e influyen los procesos biológicos y la producción primaria y pesquerías.

267 Tanto partículas, contaminantes y larvas de organismos de importancia comercial se
268 trasladan desde la corriente del norte de Brasil y ésta tiene un impacto significativo en el
269 clima regional contribuyendo con calor y humedad transportados por un forzamiento del
270 flujo de agua superficial por viento hacia el oeste e influyen sobre el clima local y lluvia en
271 el país. La diferencia entre la temperatura oceánica y atmosférica da lugar a la ciclogénesis
272 y tormentas que se generan de junio a octubre.

273 Al momento la información existente es limitada en particular la referente al efecto de las
274 condiciones físicas con la conducta de estadios larvales de diversas especies de
275 invertebrados y vertebrados marinos que conllevan a tomar decisiones conservadoras
276 evitando la sobre simplificación en los modelos predictivos. Los estudios existentes han
277 permitido reconocer que a pesar de la conectividad la convergencia de muchas de las
278 estructuras de mesoescala llegan a retener contaminantes, larvas y partículas que solamente
279 se mueven en la vertical de la masa de agua (Harlan et al., 2002).

280



281

282

283

15.1 Conectividad de la masa de agua superficial en el Mar

284

Caribe y Golfo de México establecida a partir de flotadores de

285

deriva para el año 2000 o año de los océanos. Imagen tomada de

286

NOAA programa YOTO.

287

288

Balace de calor.- El balance de calor en los mares se ha estimado en una escala amplia

289

para datos de 1988 por Trenberth y Solomon (1994). La falta de topografía en los mares,

290

comparado con la tierra, permite que los valores calculados en los primeros sean más

291

confiables en una escala amplia. El cálculo se realizó a partir de datos atmosféricos y de

292

radiación en los cuales se consideró las fuentes y almacenes de calor efectivo, de humedad

293

para la atmósfera. Esta información en una estimación anual se relaciona a la divergencia

294

del transporte de calor en los océanos permitiendo llevar a cabo los cálculos para cada las

295

cuenas reconociéndose picos en un intervalo de latitud de 20 a 30°N de 1.1 ± 0.2 PW para

296

el Atlántico y de 2.1 ± 0.3 PW para el Pacífico mostrando un flujo de calor hacia altas

297

latitudes y reconociendo que el transporte Ekman es de importancia a los trópicos. De este

298

estudio se derivó la necesidad de llevar a cabo cálculos locales.

299 En el caso de los mares en México el balance de calor existe para algunas
300 localidades del Golfo de México y la información se ha aplicado para predecir mejor la
301 intensidad y dirección de las rutas de los ciclones y huracanes de gran importancia para la
302 planeación de la evacuación de áreas costeras densamente pobladas y para evaluar el
303 impacto. A pesar de que la predicción de las rutas de los huracanes en el Atlántico y otros
304 mares marginales del mismo (i.e. Mar Caribe, Golfo de México) ha mejorado
305 considerablemente recientemente, aún persisten errores de gran magnitud en la predicción
306 de la intensidad. Estos errores incluyen la intensificación de los ciclones al pasar sobre
307 ciertas zonas oceánicas en las cuales la estructura térmica superficial, como la amplitud de
308 la capa de mezcla, juega un papel importante para intensificar al ciclón y la elevación de
309 agua fría permite regular dicha intensidad (Shay et al., 2000).

310 La intensificación se debe entre otros factores a condiciones atmosféricas favorables
311 que conlleva a la salida a la masa de aire y un incremento en las condiciones de ingreso
312 cerca de la capa inmediata a la superficie (Leipper y Volgenau, 1972). Con forme se
313 desarrolla el ciclón tropical y este proceso continúa en la escala del ciclón tropical la capa
314 superior del océano provee de calor a la capa atmosférica de frontera.

315 El flujo de calor se ha documentado para zonas localizadas en los mares de México
316 como es la Corriente de Yucatán y zona de surgencia en la entrada del Golfo de México.
317 Uno de los aspectos reconocidos en estos estudios es que la masa profunda por debajo de
318 1300 m de profundidad no lleva a cabo intercambio en la cantidad neta de agua pero pierde
319 calor (~ 212 GW) hacia el Mar Caribe. La mas intermedia del Golfo de México ubicada
320 entre 700 m y 1300 m de profundidad gana calor (~ 3080GW) del Mar Caribe sin ganancia
321 o pérdida de masa. El flujo de calor requiere para estar en balance del bombeo de agua a las

322 capas de agua superficiales (<700m) por medio flujo de calor en contra del gradiente por
323 una estructura de mesoescala en interacción con la Corriente de Lazo (Badan et al., 2006).

324 La información existente de presupuestos de calor reconoce la importancia del
325 intercambio superficial y con datos mensuales lleva a cabo comparaciones entre diferentes
326 regiones del Golfo de México. Los trabajos más recientes permiten definir intercambios
327 mensuales de radiación promedio (Q_R) e intercambios por turbulencia (Q_A) a partir de
328 valores promediados. Los valores residuales (Q_V) permiten establecer que las estructuras de
329 mesoescala como son los anillos anticiclónicos liberados de la corriente de Lazo
330 redistribuyen calor en el Golfo de México. El balance hidrológico obtenido de la
331 combinación de la tasa de precipitación estacional en el océano (P) con la tasa de
332 evaporación (E) obtenida de promedios sugiere un promedio anual de 127 cm. La
333 combinación de estos resultados con la tasa de descarga fluvial permite establecer la
334 continuidad de agua dulce en el Golfo de México (Etter 1983).

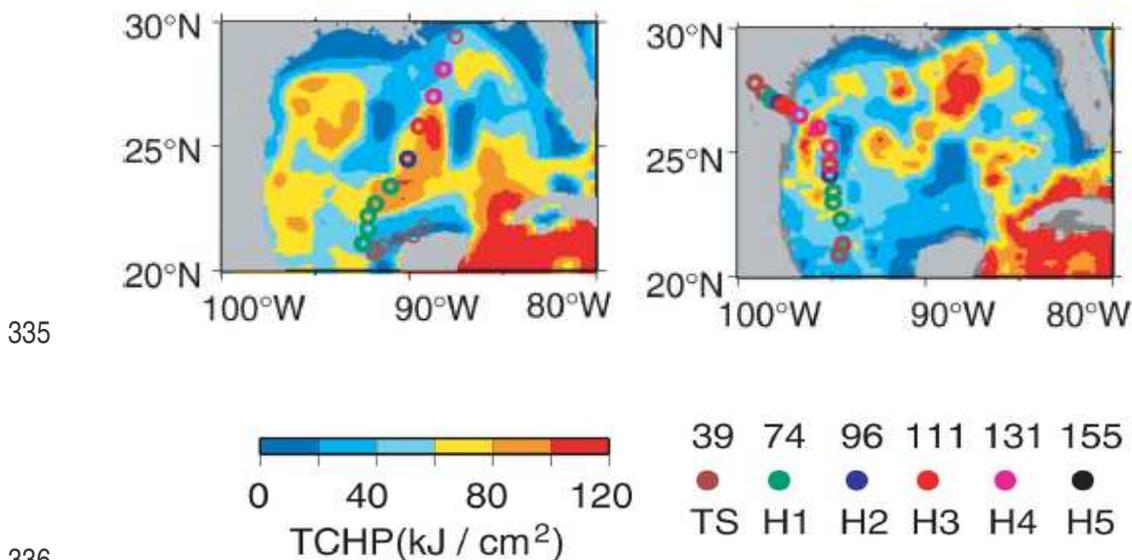


Fig 15.2 Calor potencial para la generación de ciclones

tropicales A. Opal en 1995 y B. Bret en 1999. Los círculos

339 corresponden a localidades de ocurrencia del ciclón a intervalos
340 de ~6 hr y los colores denotan la intensidad del viento mínimo
341 sostenido (en metros por hora) y la categoría del huracán en
342 cuestión. Imágenes tomadas de Goni y Trianes (2003).

343

344

345 **Dinámica energética**

346 Con respecto a la dinámica energética de los ecosistemas, los procesos más
347 importantes incluyen: la radiación solar media, el albedo, la descomposición o
348 remineralización de la materia orgánica, la productividad primaria, el índice normalizado
349 de vegetación, los almacenes de biomasa, y la distribución de la biomasa expresada como
350 clorofila para el caso de los ambiente acuáticos.

351

352 **Radiación y albedo.-** La deforestación tiende por lo general a aumentar el albedo. Bajo tal
353 condición se alteran los balances de energía y con ello se pueden alterar las condiciones
354 climáticas consideradas como normales. La combinación entre cambios en los balances de
355 radiación y albedo es determinante para estimar la magnitud del cambio climático. Son
356 pocos los sitios en México en donde se mide la radiación. En dichos sitios se mide
357 básicamente la radiación solar y en algunos casos la radiación ultravioleta. Sin embargo, no
358 es claro si las alteraciones de albedo llevan a más o menos lluvia. Piénsese en el esquema
359 de retroalimentaciones positivas y negativas que pueden ocurrir al cambiar el albedo, las
360 que llevan a cambios en la radiación neta en superficie y por tanto a cambios en
361 convergencia, formación de nubes y precipitación.

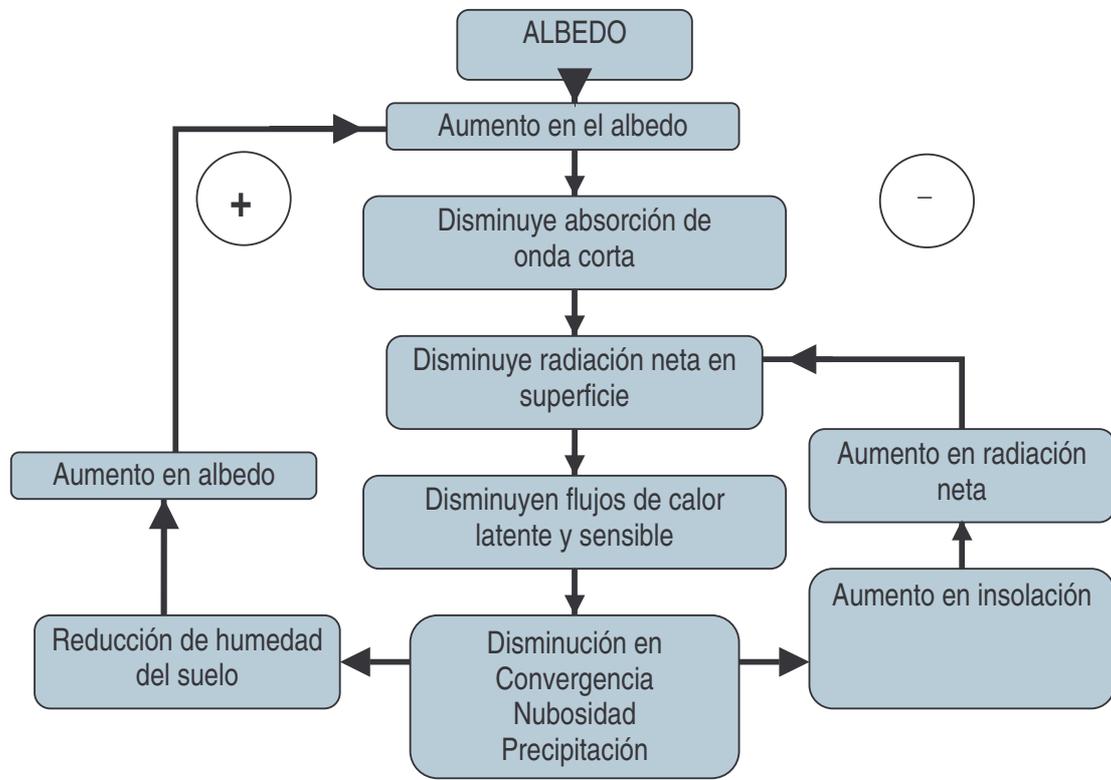


Fig 15.4 Procesos de retroalimentación positiva y negativa en la precipitación al cambiar el albedo

363
364

365 Procesos de retroalimentación positiva-negativa también se tienen cuando se
366 consideran alteraciones en humedad del suelo o en rugosidad. Es por ello que la interacción
367 dinámica y termodinámica entre atmósfera y biosfera es hoy en día un problema de interés
368 para la modelación del clima.

369

370 **Radiación Solar Media.-** La radiación solar (energía de radiación que se propaga en
371 forma de ondas electromagnéticas de longitudes de onda que abarcan el intervalo que va de
372 280 nm a 4000 nm) es expresada en términos de su irradiancia (W/m²) o en su caso en

373 términos de su irradiación entendiéndola como la integral de la irradiancia respecto del
374 tiempo (MJ/m²). La radiación solar es la energía de radiación de la que se tiene más
375 información obtenida a partir de mediciones que desde 1999 el Servicio Meteorológico
376 Nacional ha venido realizando en su red solarimétrica formada por 94 puntos distribuidos
377 en el territorio nacional en donde se instalaron sendos piranómetros que miden la radiación
378 solar global (global = directa + difusa) en términos de su irradiancia promediada cada 10
379 minutos.

380 Independientemente de esta red, en la UNAM se cuenta con registros de radiación
381 solar global medidos en la estación solarimétrica de Ciudad Universitarias que datan de
382 1967 a la fecha; además se cuenta con los datos que se registran desde 1968 en una estación
383 solarimétrica, también propiedad de la UNAM, ubicada en el poblado de Orizabita, Hgo.
384 La red de 94 estaciones automáticas del SMN, miden la irradiancia solar global con
385 piranómetros estándar de segunda clase. Aunque estos piranómetros fueron referenciados
386 de fábrica, tienen ya una antigüedad de entre 1 y 5 años, dependiendo del sitio en donde se
387 instalaron, período en el cual no se ha seguido un programa de recalibración.

388 La red de estaciones tiene una cobertura bastante amplia del territorio nacional, sin
389 embargo fue diseñada tomando en cuenta solo criterios hidrológicos dejando de lado otros
390 como los que tienen que ver con la regionalización territorial siguiendo criterios que se
391 refieren a los usos del suelo, la orografía y los diferentes factores climáticos que existen en
392 el territorio nacional. La Comisión Federal de Electricidad cuenta con una red de alrededor
393 de 20 piranógrafos sin recalibración y 6 piranómetros también sin recalibración. La
394 Secretaría de Marina cuenta con una red de alrededor de 10 piranógrafos sin recalibrar y 10
395 heliógrafos (miden las horas de sol brillante). En fechas recientes ha instalado 22 estaciones

396 meteorológicas automáticas con piranómetro de las cuales no se tiene información de sus
397 programas de mantenimiento y recalibración.

398 Unas cuantas universidades del país han hecho pública en Internet información de
399 radiación solar: desde luego el Observatorio de Radiación Solar del Instituto de Geofísica
400 de la UNAM (IGF-UNAM), ya mencionado anteriormente, con sus datos para Ciudad
401 Universitaria, en el D.F. y Orizabita Hgo. ([http://www.geofisica.unam.mx/ors/ors-
402 red.html](http://www.geofisica.unam.mx/ors/ors-red.html)); el Grupo de Energía de la Universidad de Sonora; y de manera más incipiente el
403 Centro de Investigación en Energía de la UNAM
404 (<http://xml.cie.unam.mx/xml/se/cs/meteo.xml>).

405 Recientemente, el IGF-UNAM ha propuesto la creación de una base de datos
406 nacional, con un servidor de Internet, para hacer ampliamente disponible la información de
407 radiación solar. Se busca conjuntar en esta base de datos la información que ha sido medida
408 por diferentes organizaciones en el país, como universidades, centros de investigación,
409 Servicio Meteorológico Nacional, Comisión Federal de Electricidad, Comisión Nacional
410 del Agua, Armada de México, etc. Para asegurar una alta calidad en la información
411 solarimétrica es necesario que los piranómetros que se usen sean sujetos de un sistemático y
412 permanente programa de mantenimiento preventivo y referenciación (recalibración) contra
413 los estándares que mantienen la escala de Referencia Radiométrica Mundial (World
414 Radiometric Reference, WRR).

415 Es claro que a pesar del valor que han tenido en el pasado los mapas existentes,
416 como única fuente disponible de información de radiación solar para el país, es
417 indispensable contar con información actualizada. En ese sentido, el Observatorio de
418 Radiación Solar del IGF-UNAM, trabaja actualmente en la elaboración de nuevos mapas de
419 radiación solar para México, basados en la información solarimétrica facilitada por el SMN

420 una vez que sea validada actualizando los programas de recalibración de los piranómetros
421 de las 94 estaciones que maneja. Este será un desarrollo muy importante, ya que será la
422 primera ocasión en que se podrá contar con mapas basados en datos medidos en un número
423 significativo de estaciones.

424 Para asegurar la calidad de los datos es necesario que las diversas instituciones
425 establezcan programas para la calibración, al menos bianual, de sus sensores de radiación
426 solar. México cuenta con una institución reconocida por la OMM, para llevar a cabo la
427 calibración de equipos, la cual es el Observatorio de Radiación Solar del IGF-UNAM. Este
428 Observatorio es uno de los Centros Radiométricos Regionales de la AR-IV, el cual tienen
429 como una de sus funciones principales el de coadyuvar con dicha organización en la
430 diseminación de la Referencia Radiométrica Mundial, para lo cual lleva a cabo una
431 comparación anual de los equipos a nivel nacional, y cada cinco años una intercomparación
432 regional (la AR-IV comprende los países de América del Norte, del Centro y el Caribe),
433 además de participar quinquenalmente en las calibraciones internacionales, con sus equipos
434 de referencia, que se llevan a cabo en el Centro Radiométrico Mundial, en Davos, Suiza.
435 Por lo tanto, la calibración puede llevarse fácilmente a cabo, si existe el interés de las
436 instituciones involucradas.

437

438 ***Productividad Primaria.***- La Productividad Primaria es el proceso de fijación de carbono
439 por fotosíntesis. La cantidad total de carbono fijado por unidad de área y tiempo es la
440 Productividad Primaria Bruta (PPB), siendo la Productividad Primaria Neta (PPN) la
441 diferencia entre el carbono que entra al ecosistema por PPB y el que se pierde a través de la
442 respiración de los autótrofos. En los ecosistemas en equilibrio dinámico, la mayor parte de

443 la PPN se transfiere al suelo via caída de hojarasca, exudados y mortalidad de raíces. Otra
444 fracción, que es generalmente pequeña, se pierde por herbivoría, y es la energía que se
445 transfiere a los consumidores.

446 El entendimiento de los patrones espaciales y temporales de PPN es central al
447 estudio de los ecosistemas terrestres ya que la PPN: 1) es un indicador de la cantidad de
448 carbono y energía que ingresa al ecosistema, 2) provee la energía que sustenta todos los
449 procesos biológicos, incluyendo la dinámica trófica y la descomposición de la materia
450 orgánica, 3) es la mejor variable que integra innumerables interacciones entre elementos,
451 organismos y el ambiente, 4) por ser un proceso integrativo, es un componente crítico para
452 entender las respuestas a las transformaciones del paisaje por actividad antrópica y al
453 cambio global, y 5) es un indicador del potencial de carbono que puede ser almacenado en
454 el ecosistema. Por su significado ecológico, existen numerosas estimaciones de PPN en
455 diferentes ecosistemas terrestres a nivel mundial, pero debido principalmente a limitaciones
456 metodológicas, la mayoría de las estimaciones no son directas. En su lugar, se utilizan
457 indicadores de PPN, como son la producción de hojarasca o la reflectancia de la vegetación
458 usando sensoría remota que se vincula con datos de estructura y química del dosel (p. ej.,
459 cantidad de clorofila, nitrógeno, lignina y celulosa) y con variables ambientales.

460 México está representado por una amplia variedad de tipos de ecosistemas terrestres.
461 Sin embargo, los estudios sobre productividad primaria son muy contados, y la mayor parte
462 abordan procesos relacionados con la PPN (i.e., crecimiento diametral de troncos, tasas de
463 almacenamiento de carbono en la vegetación, producción de hojarasca y de raíces, etc.).
464 Una revisión bibliográfica para el periodo 1990-2006 en revistas indexadas sobre estos
465 temas, muestra que con muy distintos objetivos y enfoques de estudio, se han publicado
466 alrededor de 30 trabajos; la mayoría en los últimos cinco años. Existen otros estudios en

467 mayor número, pero con un enfoque agronómico, o que analizan a los bosques secundarios
468 y el efecto del cambio de uso de suelo, o bien que son de carácter paleoecológico.

469 De los estudios en ecosistemas nativos de México a nivel del país, un estudio
470 usando sensoría remota, analiza indicadores de productividad de la vegetación y su relación
471 con variables del balance de agua (Mora e Iverson 1998), mientras que Therrell et al.
472 (2002) relacionan la cronología del crecimiento de árboles y su relación con la
473 precipitación a largo plazo. A nivel regional, Franklin et al. (2006) también usando sensoría
474 remota, estiman la PPN de la vegetación nativa en las planicies de Sonora, y Lawrence
475 (2005) compara el bosque tropical seco en un gradiente de lluvia en el sur de Yucatán.

476 A nivel local, existe un número mayor de trabajos, de los cuales la mayoría se han
477 realizado en las zonas áridas y semiáridas. Uno de estos trabajos, con diferentes técnicas y
478 modelación, compara y valida las estimaciones de PPB para un sitio en la cuenca del Río
479 Sonora (Gebremichael y Barros 2006). Otro estudio en Baja California estima el
480 intercambio neto de CO₂ del ecosistema y su variación con factores ambientales (Hastings
481 et al. 2005). Otros estudios analizan la producción de hojarasca, en distintos sitios del
482 Desierto Sonorense (Maya y Arriaga 1996, Búrquez et al. 1999, Martínez-Yrizar et al.
483 1999), y en el Desierto de Tehuacán (Pavón et al. 2005).

484 Un grupo significativo de trabajos se han realizado en el bosque tropical seco
485 principalmente en la región de Chamela, Jalisco. Martínez-Yrizar et al. (1996) estimaron la
486 PPN del bosque, Maass et al. (1995) la estacionalidad del índice de área foliar y Bullock
487 (1997) del crecimiento radial de árboles. Martínez-Yrizar et al. (1990) analizaron los
488 patrones espacio-temporales de producción de hojarasca, y Maass et al. (2002) la caída de
489 la fracción leñosa gruesa. De la productividad y recambio de raíces finas, está el trabajo de

490 Kummerow et al. (1990), mientras que Castellanos et al. (2001) analizaron el efecto de la
491 roza tumba y quema en estas variables en comparación con el bosque preservado.

492 Para el bosque tropical perennifolio están los trabajos realizados principalmente en
493 la región de Los Tuxtlas, Veracruz por Alvarez-Sánchez y Guevara (1993, 1999), Sánchez
494 y Álvarez-Sánchez (1995), Martínez-Sánchez (2001) sobre producción de hojarasca y de
495 crecimiento diametral de árboles por Ricker y del Rio (2004).

496 Para un bosque mixto con elementos tropicales y templados en Veracruz, la
497 producción de hojarasca fue analizada por Williams-Linera y Tolome (1996), y en un
498 bosque de neblina en el volcán Acatlán, Veracruz por Williams-Linera et al. (2000). Para
499 un bosque templado dominado por *Quercus* spp., Bernal-Flores et al. (2006) analizaron el
500 crecimiento estacional de la vegetación de pastos nativos en un sistema de pastoreo rotativo
501 del bosque. Basados en un análisis de crecimiento diametral de poblaciones de pinos en el
502 centro de México, García et al. (2004) obtuvieron una estimación de productividad,
503 mientras que Biondi et al. (2005) analizaron el crecimiento de *Pinus harwegii* y el clima en
504 el límite arbóreo del Nevado de Colima.

505 La información sobre los procesos relacionados con la productividad primaria en los
506 ecosistemas terrestres de México es muy limitada y fragmentada. La mayoría de los
507 estudios se limitan a dos o tres años de medición y se restringen a un sólo componente del
508 proceso productivo. Se necesitan más estudios en sitios específicos que incorporen la
509 variabilidad espacial y temporal a mayor escala, y que representen una gama más completa
510 de ecosistemas del país. Aunque para los desiertos y el bosque tropical seco hay un número
511 importante de publicaciones, éstos se concentran en unas cuantas áreas. Estimaciones
512 específicas para cada tipo de ecosistema y sitio es información de gran valor para obtener
513 valores más precisos de la productividad que actualmente se usan para estimar la

514 contribución de los ecosistemas al flujo de gases de invernadero por cambio de uso de suelo
515 y validar modelos predictivos.

516

517 ***Descomposición de materia orgánica.***- La descomposición es un proceso ecosistémico
518 clave a través de cual los restos orgánicos de plantas y animales sufren una transformación
519 físico-química, y como consecuencia se libera carbono a la atmósfera y nutrientes al suelo
520 en formas que pueden ser usadas para la producción microbiana y vegetal (Chapin et al.
521 2002).

522 El entendimiento de los patrones espaciales y temporales de descomposición es
523 central al estudio de los ecosistemas terrestres ya que la descomposición: 1) es la base de la
524 actividad microbiana del suelo y de las cadenas tróficas basadas en los detritos, 2)
525 contribuye a la formación de suelo, 3) determina la fertilidad y la retención de nutrientes
526 del suelo, 4) es un componente básico del ciclaje de carbono en el ecosistema, y 4) se ha
527 utilizado como un índice del funcionamiento del ecosistema que puede ser incorporado a
528 modelos predictivos de la dinámica ecosistémica bajo diferentes escenarios de cambio
529 climático global (Chapin et al. 2002, Anderson y Nelson 2006).

530 A pesar de que México está representado por una amplia variedad de tipos de
531 ecosistemas terrestres, y de la importancia del proceso de descomposición en el ciclo del
532 carbono y en el funcionamiento del ecosistema, existen muy pocos estudios en el país sobre
533 este tema. Una revisión bibliográfica para el periodo 1990-2006 en revistas indexadas
534 muestra que, se han publicado tan sólo 12 trabajos, con muy distintos enfoques y preguntas
535 de investigación.

536 De estos trabajos, únicamente cuatro abordan directamente la descomposición de los
537 residuos vegetales en ecosistemas nativos de México. Dos analizan el componente foliar de

538 la hojarasca en el bosque tropical lluvioso en Veracruz (Alvarez-Sánchez y Enriquez 1996,
539 Barajas-Guzmán y Alvarez-Sánchez 2003) y uno más en el bosque tropical seco, en
540 distintas etapas sucesionales, en Campeche (Xuluc-Tolosa et al. 2003). El cuarto estudio
541 analiza la descomposición del material leñoso en el bosque tropical seco de Yucatán
542 (Harmon et al. 1995). En adición, un trabajo de tesis de maestría analiza la descomposición
543 foliar de especies leñosas en el bosque tropical seco de Jalisco (Martínez-Yrizar 1984).

544 De los otros siete trabajos, tres abordan distintos aspectos relacionados con la
545 descomposición. Un estudio analiza la presencia de micelio en el suelo y su efecto en la
546 concentración de nutrientes en un bosque tropical lluvioso en el sur de Mexico (Guevara y
547 Romero 2004), otro analiza la micoflora asociada a la descomposición foliar de especies
548 selectas en un bosque de neblina (Heredia 1993), y uno más, los efectos de la actividad del
549 cangrejo terrestre en remoción de hojarasca en un bosque semideciduo en las dunas
550 costeras de Veracruz (Kellman y Delfosse 1993).

551 Con un enfoque agronómico, dos trabajos analizan la descomposición de residuos
552 orgánicos, uno añadidos in situ al suelo de un cultivo de maíz en Tabasco (Cruz et al. 2002),
553 y el otro, añadidos en condiciones de laboratorio al suelo de un cultivo de maíz y uno de
554 frijol en Guanajuato (Reyes-Reyes et al. 2003). Un tercer trabajo en Tabasco, con un
555 enfoque aplicado, investiga la influencia de dos tipos de pastizal inducido y de un bosque
556 sucesional en la dinámica de la descomposición de una leguminosa y la fertilidad del suelo
557 (Geissen y Morales-Guzman 2005).

558 Por último, un par de trabajos analizan el potencial microbiano del suelo y la
559 mineralización de carbono a través de la incubación de suelo del bosque tropical
560 caducifolio en Jalisco (García-Oliva et al. 2003) y de distintas comunidades del Desierto
561 Sonorense en Sonora (Núñez et al. 2001).

562 A diferencia de otros procesos ecosistémicos, la información sobre descomposición
563 de materia orgánica en los ecosistemas de México es particularmente escasa. Se necesitan
564 estudios que incorporen la variabilidad espacial y temporal a mayor escala, y que
565 representen una muestra más completa de los distintos ecosistemas del país. Aunque se
566 cuenta con información para el bosque tropical caducifolio y el bosque tropical lluvioso,
567 esta información es muy puntual y se centra en unas cuantas especies y sitios de estudio.
568 Estimaciones específicas para cada tipo de ecosistema, así como el estudio de los factores
569 que afectan las tasas de descomposición, son de gran importancia para entender cómo las
570 actividades antrópicas y otro tipo de cambios pueden influenciar la estructura y el
571 funcionamiento del ecosistema.

572

573 ***Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI).***- El Índice de Vegetación de
574 Diferencia Normalizada (NDVI) es un índice espectral que se obtiene por sensoría remota
575 desde distintas plataformas satelitales. Aunque existen diferentes bases de datos NDVI
576 generados con diferentes resoluciones espaciales y temporales, el NDVI ha tenido
577 aplicaciones muy diversas en la investigación científica a nivel mundial, y ha sido una
578 herramienta de análisis muy valiosa en ecología (Paruelo et al. 2005, Pettorelli et al. 2005,
579 Rasmussen 1998a,b). Diversos estudios muestran que el NDVI puede ser usado para
580 calcular y predecir la productividad primaria neta (PPN) terrestre en distintos ecosistemas y
581 áreas geográficas, así como para elucidar la relación entre las fluctuaciones estacionales de la
582 vegetación, la PPN y el clima. Ha sido también usado para parametrizar modelos de PPN a
583 escala global. Se le ha utilizado además como un indicador de la biomasa relativa, del
584 verdor o actividad de la vegetación, y para analizar la variabilidad estacional e interanual de
585 la cobertura vegetal a distintas escalas espaciales y temporales. Por su relación directa con

586 distintos procesos ecológicos, incluyendo la PPN, muchos trabajos han utilizado esta
587 herramienta para estimar el índice de área foliar (IAF) en diversos ecosistemas. Otros
588 estudios han mostrado la relación que existe entre el NDVI y características fisiológicas
589 asociadas con el estrés hídrico y el déficit de nutrientes. Su aplicación se ha extendido a
590 analizar las relaciones con la concentración atmosférica de CO₂, la precipitación y la
591 evapotranspiración actual y potencial a varias escalas y en diferentes partes de la tierra,
592 haciendo posible la predicción. También se ha explorado su aplicación para evaluar
593 respuesta ecológicas al cambio ambiental, el estatus de conservación de los recursos
594 naturales y planear acciones de restauración. Muchos trabajos han aplicado series de tiempo
595 del NDVI para evaluar y predecir el impacto del pastoreo y la carga animal, la extensión de
596 la deforestación, el efecto de la contaminación y la degradación del hábitat, o bien para
597 predecir la densidad, el vigor y el rendimiento de cultivos de valor comercial como el maíz
598 y el trigo.

599 A pesar del enorme potencial de análisis que representa la aplicación de estos datos
600 derivados de sensoría remota, que permiten entender procesos de la superficie de la tierra
601 como la productividad primaria, los balances de energía, los ciclos biogeoquímicos y su
602 dinámica a grandes escalas espaciales y temporales (Paruelo *et al.* 1997, Mora y Iversen
603 1998, Paruelo *et al.* 2005), los trabajos con este enfoque en los ecosistemas terrestres de
604 México, no son sólo se han realizado en muy pocas regiones y ecosistemas del país, sino
605 que han sido planteados con muy distintos objetivos. Algunos de éstos estudios han
606 dirigido su atención a la detección del cambio en la cobertura vegetal y la modificación del
607 paisaje por el cambio de uso de suelo. Por ejemplo, el trabajo de Sader *et al.* (1994)
608 documenta los patrones de desmonte en la frontera entre México y Guatemala, el de Ruíz-
609 Luna y Berlanga-Robles (1999) la degradación para el sistema costero Huizache-

610 Caimanero en Sinaloa, el de Lira y García (2003) provee una descripción de las clases de
611 vegetación en Michoacán, mientras que el trabajo de Franklin *et al.* (2006) estima la
612 extensión de la conversión del desierto en las planicies de Sonora por desmonte para la
613 siembra de zacate buffel. Otros estudios han analizado la relación entre el NDVI y la
614 variabilidad estacional e interanual de la vegetación, como el trabajo de Lyon *et al.* (1998)
615 para la vegetación de un parte de Chiapas, el de Cayrol *et al.* (2000) donde se muestra que
616 las series de tiempo NDVI reflejan con éxito la variabilidad del estatus de la vegetación, la
617 biomasa y el índice de área foliar en sitios semi-áridos en la Cuenca del Rio San Pedro en el
618 norte de México, y el trabajo de Salinas-Zavala *et al.* (2002) que analiza a escala regional
619 en el noroeste de México, la relación entre la variabilidad en el NDVI y variables
620 climáticas durante las distintas fases del fenómeno El Niño. Por su dimensión, el trabajo de
621 Mora e Iverson (1998) es relevante, pues evalúa el vínculo entre los datos de sensoría
622 remota y modelación estadística como una herramienta de análisis de procesos ecológicos a
623 escala de paisaje. Su estudio aborda a nivel de todo nuestro país y sus ecoregiones, las
624 relaciones entre indicadores de la productividad de la vegetación, derivados de un análisis
625 multitemporal de imágenes de satélite, y la estacionalidad con distintas variables de balance
626 de agua.

627 Para los ecosistemas de las zonas críticas de transición como son los manglares,
628 marismas y la vegetación riparia, existen varios trabajos con este mismo enfoque. Entre
629 éstos, destacan los estudios realizados en el Delta del Río Colorado por Nagler *et al.* (2001)
630 y Nagler *et al.* (2004) que comparan la firma espectral de la vegetación y su correlación con
631 características de la vegetación riparia y del suelo. Otros trabajos han examinado la
632 degradación y extensión de afectación de los bosques de mangle por disturbio antrópico en

633 la costa de Sinaloa (Ruíz-Luna y Berlanga-Robles 1999), y en otro prominente sistema
634 estuarino en la costa entre Sinaloa y Nayarit (Kovacs *et al.* 2004 y Kovacs *et al.* 2005).

635 Aunque el uso de NDVI como herramienta de investigación es cada vez más común,
636 aún son muy contados los estudios con la aplicación de las bases de datos NDVI, para
637 cuantificar procesos funcionales y la heterogeneidad espacial a nivel de ecosistema o a
638 escala regional, o para parametrizar y validar modelos de productividad primaria neta y
639 fenología en los distintos ecosistemas terrestres de México.

640

641

642 ***Almacenes de biomasa.-*** La cuantificación de la biomasa de las comunidades vegetales
643 provee información sobre la cantidad de recursos disponibles en un lugar o región para
644 alimento, combustibles y fibras. Desde una perspectiva ecológica, la biomasa representa
645 recursos almacenados en un ecosistema y cuya variación debida a la dinámica natural o a
646 los disturbios antrópicos, brinda información sobre las variaciones en el “capital” de
647 recursos del ecosistema. Recientemente, la biomasa vegetal de los ecosistemas ha sido
648 utilizada para seguir los cambios en el ciclo del carbono debidos a los cambios de uso del
649 suelo, a la deforestación y a la quema de la vegetación. La biomasa vegetal puede por lo
650 tanto constituir una fuente o un sumidero de gases de efecto invernadero, por lo que su
651 estimación para alimentar modelos tanto a niveles local, regional o nacional se vuelve
652 fundamental.

653 Existen cuantificaciones puntuales de la biomasa vegetal en algunos ecosistemas del
654 país, pero en general hay un vacío importante de información. Sobretudo, no hay muchos
655 estudios que tomen en cuenta los componentes de la biomasa muerta ni las raíces. El
656 componente de biomasa muerta (truncos caídos, mantillo, tocones) es importante para

657 entender la dinámica del carbono en el mediano y largo plazos en los ecosistemas. Los
658 estudios que abarcan el nivel regional o nacional se basan en mayor o menor medida en
659 información derivada del Inventario Nacional Forestal Periódico y en algunos casos se han
660 tratado de corregir algunas de las deficiencias de éste (p.ej. Cairns et al. 2000). La
661 necesidad de cuantificaciones *in situ* de la biomasa de diferentes ecosistemas se hace
662 evidente ante el hecho de que la aplicación de ecuaciones alométricas generales a sitios
663 particulares puede producir errores de estimación importantes, como lo han mostrado
664 Hughes et al. (1999) y Cairns et al. (2003). La variación espacial es un factor crítico en las
665 cuantificaciones de biomasa a nivel local y sobretodo cuando se quiere generalizar a
666 grandes unidades de vegetación.

667 Las estimaciones de biomasa para ecosistemas particulares se han realizado en el
668 trópico seco en la región de Chamela, Jalisco (Martínez-Yrizar et al. 1992; Jaramillo et al.
669 2003a; Kauffman et al. 2003) y en la Península de Yucatán (Lawrence & Foster 2002;
670 Cairns et al. 2003), en el trópico húmedo en Los Tuxtlas, Veracruz (Hughes et al. 1999;
671 Hughes et al. 2000; Jaramillo et al. 2003b) y en la Selva Lacandona (De Jong et al. 2000),
672 en el matorral semiárido de Tamaulipas (Navar et al. 2000) y en el bosque mesófilo de
673 Oaxaca (Asbjornsen et al. 2005). De éstos, sólo en Chamela y en Los Tuxtlas se han
674 cuantificado todos los componentes de la biomasa del ecosistema. El estudio de Cairns et al.
675 (2000) cuantifica con un método mixto (i.e. inventario forestal y muestreo de campo) la
676 biomasa aérea de diferentes unidades de vegetación del sureste de México.

677 Dada la necesidad de tener información de biomasa en modelos que incorporan el
678 cambio de uso del suelo para estimar balances de carbono, se vuelve prioritario tener
679 estimaciones de campo confiables, en particular de aquéllos ecosistemas que están siendo
680 objeto del disturbio antrópico. Igualmente, es preciso tener información de calidad sobre la

681 biomasa de la vegetación secundaria que empieza a dominar la cobertura en diversas
682 regiones boscosas del país (templadas y tropicales), ya que a pesar de que pueden ser
683 estructuralmente similares a los bosques primarios, la biomasa no lo es y puede conducir a
684 sobreestimaciones significativas en los modelos.

685

686 **Dinámica biogeoquímica**

687 En lo que corresponde a la dinámica biogeoquímica, los procesos incluyen: las
688 emisiones de CO₂, de metano y de óxidos de nitrógeno, la fijación de N, los almacenes de
689 carbono, la lluvia ácida, la mineralización, la erosión y sedimentación, el secuestro de
690 carbono biogénico, la exportación de carbono biogénico, las surgencias marinas, las
691 descargas de sedimentos y materiales hacia cuerpos de agua, la salinidad en cuerpos de
692 agua, la quimioautotrofia en sistemas reducidos y la eutroficación.

693

694 **Fijación de Nitrógeno.**- La actividad biogeoquímica de los organismos del
695 bacterioplancton tiene efectos globales en la ecología del ecosistema marino, ya que estos
696 organismos constituyen la fuente de materia orgánica particulada que eventualmente será
697 regenerada en superficie o exportada en profundidad, afectando al bentos.

698 Las tasas de crecimiento del plancton en las aguas superficiales oceánicas, suelen
699 estar limitadas por la disponibilidad de formas reducidas de nitrógeno. El nitrógeno
700 reducido puede entrar a las regiones superficiales de la columna de agua, en donde se lleva
701 a cabo la mayor parte de la fijación biológica del carbono, por medio de la advección o
702 difusión de nitratos y nitritos provenientes de capas de agua profunda, o por medio de la
703 conversión de nitrógeno atmosférico a nitrógeno reducido a partir de la actividad de
704 bacterias fijadoras de nitrógeno. La fijación de nitrógeno atmosférico, equivale a una fuente

705 de nitrógeno reducido que entra a la red trófica en aguas marinas en las regiones tropicales
706 y subtropicales; ésta es por lo tanto, una reacción esencial para la incorporación de formas
707 reducidas de nitrógeno que limitan la productividad primaria.

708 A partir del análisis de la proporción entre el N y el P presente en la materia
709 orgánica colectada, se han identificado regiones marinas que en teoría tienen una gran
710 actividad de incorporación (fijación) o pérdida (denitrificación) de formas reducidas de
711 nitrógeno. El Golfo de México, ha sido identificado como una región en la cual la fijación
712 de nitrógeno debe de ser muy alta (Gruber y Sarmiento, 1997).

713 A la fecha se ha llevado a cabo un análisis de la diversidad bacteriana de
714 fitoplancton con actividad fotoautótrofa y diazotrófica en aguas superficiales del Canal de
715 Yucatán en el Golfo de México en colaboración con el laboratorio Venter en el cual se ha
716 identificado a las comunidades del bacterioplancton con potencial para fijar carbono y
717 nitrógeno, se ha cuantificado la contribución de estas comunidades del bacterioplancton en
718 la formación de nitrógeno reducido y carbono incorporado y se ha determinado las
719 abundancias bacterianas en muestras de columna de agua a diferentes profundidades
720 obtenidas por filtración del agua en membranas Durapore y preservadas en buffer para
721 extracción de ADN y ARN. Las profundidades fueron determinadas por el porcentaje de
722 luz presente: 100, 50, 25, 10, 1 y 0.1 % de luz. En las regiones marinas como el Canal de
723 Yucatán, estas profundidades se relacionan con la luz en la zona de mezcla por encima de
724 la nutriclina.

725 Ante la falta de estudios en los mares mexicanos se espera que la fijación de
726 nitrógeno en estas regiones va a variar con base en la cercanía a la costa y por lo tanto, con
727 base a la cantidad de materia orgánica proveniente de tierra. Es posible que las tasas
728 mayores de fijación de nitrógeno y por lo tanto de producción “nueva” se encuentren en las

729 zonas más alejadas a la costa. También es de esperarse que la composición biogeoquímica
730 de las comunidades bacterianas cambie cerca a la zona de influencia terrígena.

731 Otros estudios que se llevan a cabo sobre el tema incluyen la fijación de nitrógeno
732 en cuerpos de agua epicontinentales como es el lago de Alchichica y la Cuenca de Cuatro
733 Ciénegas.

734

735

736 ***Almacenes de Carbono.-*** La estimación de los almacenes de carbono en los ecosistemas,
737 íntimamente vinculada a la de biomasa excepto en el suelo, y en los fondos de mares y
738 lagos, es fundamental para entender las consecuencias de la transformación de los
739 ecosistemas naturales con propósitos agropecuarios y de los cambios de cobertura vegetal
740 sobre las emisiones de bióxido de carbono a escalas regional y nacional. La materia orgánica
741 en los sedimentos marinos juega un papel importante, es un reservorio en el ciclo global del
742 carbono y se vincula con la generación de petróleo contribuyendo en la química del océano. A
743 pesar de la relevancia del reservorio, en particular en los bosques tropicales y templados del
744 país, la información publicada sobre los almacenes de C y de las emisiones debidas a las
745 perturbaciones naturales o al cambio de uso del suelo es aún escasa. Asimismo, no hay
746 mucha información sobre el almacén de C en perfiles completos del suelo y mucho menos
747 aún del tamaño de los reservorios con diferentes tiempos de residencia. En muchos casos,
748 las estimaciones de los almacenes de C en la biomasa se han realizado multiplicando el
749 valor de la biomasa por un factor que varía entre 0.47 y 0.50.

750 Pocos estudios han cuantificado los almacenes de C a nivel del ecosistema,
751 incluyendo los almacenes aéreo y subterráneo en la biomasa viva, en la necromasa y en el
752 suelo. En particular, el almacén en la biomasa muerta es importante en la dinámica del C de

753 mediano y largo plazos en los ecosistemas dominados por plantas leñosas. Los trabajos que
754 han cuantificado los almacenes ecosistémicos de C se han llevado a cabo en unas cuantas
755 regiones: a) en el trópico húmedo en la región de Los Tuxtlas, Ver., en selva primaria,
756 secundaria y praderas (Hughes et al., 1999; Hughes et al., 2000; Jaramillo et al. 2003a); b)
757 en el trópico seco en la región de Chamela, Jal., en selva baja, selva mediana y praderas
758 (Jaramillo et al. 2003b); y c) en la zona templada de los Altos de Chiapas, en bosques de
759 encino, mesófilo, de pino, bosques degradados, tierras cultivadas y praderas (De Jong et al.,
760 1999). Otro estudio muy completo, en el que se cuantificaron todos los almacenes excepto
761 el de las raíces, que se estimó con ecuaciones alométricas, es el de De Jong et al. (2000) en
762 la selva Lacandona de Chiapas. Estos dos últimos tienen un énfasis regional y evalúan el
763 impacto del cambio de uso del suelo en las emisiones de C a la atmósfera. En este mismo
764 contexto, Cairns et al. (2000) calculan los almacenes de C aéreos en la biomasa viva para
765 una variedad de condiciones de uso y cobertura del suelo, utilizando inventarios forestales,
766 ecuaciones de regresión y verificaciones en campo. Al igual que en el caso anterior, se
767 realizan estimaciones regionales de emisiones de C a la atmósfera.

768 En otro estudio con énfasis regional, Mendoza-Vega et al. (2003) se concentran en
769 la cuantificación de los almacenes de C en el suelo y en las raíces de una variedad de
770 condiciones de uso y de cobertura en los Altos de Chiapas con métodos muy intensivos de
771 campo. Etchevers et al. (2006) incluyen datos de almacenes de C en sistemas agrícolas de
772 ladera en Oaxaca, en conjunto con estimaciones de algunos bosques primarios y
773 secundarios de la región. Reportan datos para las porciones aérea y subterránea de la
774 vegetación, así como para el perfil del suelo. Sin embargo, por ser artículo de revisión, no
775 proveen una descripción de los métodos utilizados, pero tampoco existe referencia alguna a
776 una publicación arbitrada para su consulta.

777 A pesar de que existe una moda en cuanto a la estimación de los almacenes de C en
778 los ecosistemas terrestres, debido a su relevancia para calcular emisiones de C a diferentes
779 escalas, la información publicada en revistas especializadas arbitradas, es escasa.

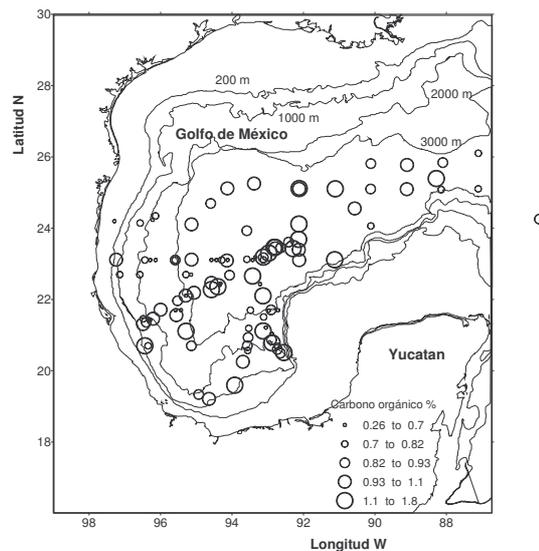
780 La materia orgánica que conforma los almacenes de carbono en los sedimentos
781 oceánicos se origina por fijación fotosintética del carbono inorgánico a partir del CO₂
782 atmosférico y el depósito del fitoplancton o consumidores al fondo. Otra parte proviene del
783 fluvial de materiales biológicos al mar costero. De la producción primaria estimada en el
784 orden de 40 a 50 Gt C.a⁻¹ sólo una pequeña cantidad del carbono orgánico particulado
785 (1.5% en mar abierto y > 17% en el talud) se deposita en el sedimento superficial y es
786 disponible para la fauna que habita los fondos marinos, la mayor parte es oxidado en
787 columna de agua y sedimento.

788 Los márgenes continentales son parte de la topografía del fondo marino que bordea
789 los continentes representan sólo una pequeña porción del 20% de la superficie mundial del
790 océano, sin embargo, el 80% de la materia orgánica acumulada globalmente se deposita en
791 el sedimento de los márgenes continentales y constituye el almacén principal de carbono en
792 el océano. La acumulación de la materia orgánica refleja los patrones de distribución de la
793 producción primaria, el almacén de carbono representa de 0.5% a 3% en la PP de la
794 plataforma y el talud continentales y solamente un 0.014% en el mar abierto.

795 Los estudios existentes sobre la distribución del carbono orgánico en sedimentos
796 marinos muestran concentraciones de 5% en sedimentos hemipelágicos depositados cerca
797 de los márgenes continentales a < 1% en arcillas pelágicas. Las primeras compilaciones de
798 TOC en sedimentos superficiales se realizaron en las décadas de los sesenta y setentas. Los
799 valores de CO > 0.5% se localizan a lo largo de los márgenes continentales y los valores
800 menores en el centro de las grandes cuencas, <0.5%. El 80% de las localidades para las

801 cuales se ha estimado carbono orgánico se localiza en la plataforma y talud continental, en
802 contraste las zonas más alejadas se encuentran documentadas pobremente. La costa del
803 Pacífico posee una media mayor de TOC que el promedio global, debido a una
804 productividad $>200 \text{ gC m}^{-2}\text{a}^{-1}$.

805



806

807

808 **Fig. 15.5** Distribución espacial de los valores medios de carbono
809 orgánico en sedimento superficial del SW del Golfo de México,
810 tomado del manuscrito de García Villalobos, F. J. y E. Escobar
811 Briones (en prensa) Composición elemental del Carbono
812 orgánico del sedimento superficial de la planicie abisal del
813 Golfo de México. Volumen sobre el estado del Conocimiento
814 del Carbono en México.

815

816 **Exportación de carbono biogénico.**- La exportación del material orgánico particulado se ha
817 reconocido como la ruta principal de transporte de carbono y bioelementos hacia el piso

818 oceánico y tiene un papel importante en los ciclos biogeoquímicos dentro del océano. La
819 literatura hace referencia que el zooplancton a través de la herbivoría y las bacterias por
820 medio de la remineralización remueven entre 80 y 90 % de la productividad primaria en los
821 estratos superficiales de la columna de agua, mientras que el resto de 20 a 10 %, se exporta
822 por debajo de la zona eufótica y sólo una pequeña fracción de 1 a 5 %, llega a los
823 sedimentos abisales o profundos. A pesar de la cantidad escasa de material orgánico que
824 llega al fondo oceánico, éste determina algunas propiedades del sedimento como son la
825 cantidad de O₂ disuelto, la consolidación del sedimento, la proporción de minerales y el
826 tamaño de grano. Por lo tanto, las partículas que viajan a través de la columna de agua son
827 de interés para predecir las condiciones de oxigenación que se encuentren en aguas
828 profundas de una región y los tipos de asociaciones faunísticas que ocurran tanto en
829 columna de agua y en el sedimento. Gracias al desarrollo de nuevas técnicas, ahora es
830 posible establecer el origen y tiempo de arribo al fondo, a partir de los análisis isotópico,
831 elemental y taxonómico, en las partículas recolectadas. Estudios de caracterización de
832 partículas pueden utilizarse para estudiar la posible relación entre las partículas exportadas
833 con la abundancia y distribución de los organismos del bentos.

834 La composición orgánica e inorgánica de las partículas en columna de agua es
835 alterada por la actividad bacteriana durante su estancia en la columna de agua y caída al
836 fondo, ya sea enriqueciéndolas con la colonización de las bacterias o bien mermando su
837 valor energético durante la remineralización. Esta actúa principalmente sobre el material
838 lábil. La interacción de minerales con mucílago que recubre a los organismos como
839 diatomeas, radiolarios, foraminíferos, cocolitofóridos y pterópodos incrementan la densidad
840 de la partícula facilitando su exportación al fondo y preservación en el sedimento de
841 manera casi íntegra. Ambos procesos se pueden estudiar mediante estudios de compuestos

842 orgánicos, estructuras de los organismos y composición de minerales, presentes en el
843 material recolectado.

844 La naturaleza, la cantidad y el flujo de las partículas han sido determinados con el
845 uso de trampas de sedimentos. Los resultados de éstas han permitido validar modelos del
846 destino de la productividad local en el océano mundial. Los flujos de partículas se han
847 establecido para elementos y compuestos, y han permitido establecer la existencia de pulsos
848 de fitoplancton que es exportado, que se agrega y que conforma nieve marina o se
849 concentra en heces con ello se ha definido la intensidad del acoplamiento entre columna de
850 agua y el fondo en diferentes regiones del océano.

851 En México estos estudios son limitados y se resumen en aquellos realizados para
852 entender los procesos actuales y con ello explicar los registros paleoceanográficos, las
853 trampas se han colocado en el sur del Golfo de California, en el Golfo de Tehuantepec y en
854 el Pacífico Oriental. Los resultados de dichos estudios han permitido establecer la
855 frecuencia de eventos como el Niño y otros en escalas mayores. Otras trampas de
856 sedimento flotantes trampas han permitido evaluar la tasa de exportación de carbono
857 biogénico y éstas se han colocado en el Golfo de México y Mar Caribe en aguas costeras
858 superficiales (Biggs 1992), la mayoría por investigadores extranjeros fuera de la zona
859 económica exclusiva y solamente tres trampas frente a Tamaulipas permiten reconocer la
860 tasa de exportación a mar profundo en el Golfo de México en un estudio de colaboración
861 entre UNAM y CICESE.

862 En aguas oceánicas los estudios permiten evaluar el secuestro de carbono biogénico
863 como un mecanismo de control del cambio climático global; de la misma forma que las
864 series de tiempo de las estaciones someras en Bermuda para el Atlántico (*Bermuda Atlantic*
865 *Time – Series*; BATS) y Hawai (*Hawaii Time Series Station*; HOT) en el Pacífico y en el

866 mar Arábigo (JGOFS). El trabajo de Biggs (1992) ha reconocido que la productividad
867 costera en el Golfo de México varía dentro y fuera de la capa de mezcla en un eddie
868 anticiclónico. El estudio de Jeffrey *et al.* (1983) permitió reconocer que las diferencias
869 encontradas a escala regional entre el mar Caribe, Golfo de México y el Atlántico
870 ecuatorial se deben a procesos físicos en la columna de agua y a la permanencia de las
871 partículas en el ambiente pelágico. Otros estudios han reconocido que la contribución por
872 heces de zooplancton en la exportación caracteriza los mares productivos y que los aportes
873 de material orgánico a través de mudas y cadáveres del zooplancton son de gran
874 importancia. El papel de las bacterias en nieve marina y los cambios en la composición
875 durante su caída al fondo se generan durante el proceso de agregación. Otras contribuciones
876 del estudio con trampas a diferentes profundidades incluyen la degradación de
877 componentes lábiles (lípidos, ésteres y ácidos grasos) a material refractario durante la
878 exportación en una degradación diferencial de las partículas de fitoplancton que depende
879 del contenido de pigmentos, abundancia relativa de isótopos estables y contenido de
880 fosfolípidos.

881 El flujo de estas partículas hacia el piso oceánico se ha estimado en mares tropicales
882 en menos de $40 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ (Deuser *et al.* 1981) y contrasta con las zonas más productivas
883 en el Pacífico con flujos por encima de $50 \text{ mgC}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ (Honjo y Doherty 1988). Las
884 partículas orgánicas que generan la producción primaria en la capa eufótica de los
885 ambientes tropicales son predominantemente cianobacterias y ocasionalmente diatomeas,
886 cocolitofóridos y dinoflagelados (Deuser *et al.* 1981; Jeffrey *et al.* 1983; González 2005).
887 Los estudios sobre la descripción microscópica de las partículas biogénicas exportadas al
888 fondo marino han permitido clasificar componentes del plancton en partículas orgánicas e
889 inorgánicas. La presencia de pigmentos en muestras de agua de fondo (González 2005) y en

890 sedimentos abisales del Golfo de México (Ley 2003) sugiere la existencia de mecanismos
891 de agregación en columna de agua y estrategias que facilitan la exportación al fondo. Las
892 partículas recolectadas desde la base de la termoclina hasta la capa de mezcla son de
893 naturaleza orgánica (González 2005). La frecuencia con la cual se exporta material con
894 pigmentos al sedimento abisal y los mecanismos que facilitan la exportación son
895 desconocidos. Aparentemente los procesos hidrodinámicos y la generación de ciclones
896 estén vinculados con los mecanismos de acoplamiento pelágico- bentónico en aguas
897 oceánicas del Golfo de México.

898 ***Erosividad de la lluvia.***- La erosividad de la lluvia es un índice que estima la fuerza con la
899 que la lluvia impacta al suelo, el cual representa la energía potencial disponible para que se
900 lleve a cabo la erosión hídrica del suelo. Este índice tiene una relación directa con la
901 intensidad de la lluvia (cantidad de lluvia entre tiempo) y generalmente las lluvias más
902 intensas son las más erosivas. Sin embargo, no es posible estimar la erosividad de la lluvia
903 sólo con la intensidad promedio, debido a que ésta no es constante durante un evento de
904 lluvia. Lo anterior es resultado de que la intensidad de la lluvia depende de su origen. Por
905 ejemplo, la intensidad de las lluvias asociadas a ciclones tropicales depende de la cantidad
906 de lluvia (García-Oliva et al. 1995), mientras que la intensidad de las lluvias de origen
907 convectivo están más relacionada con su duración (Button y Ben-Asher 1983). Por lo
908 anterior, se han generado distintos índices para estimar a la erosividad. Los dos principales
909 índices utilizados son el EI₃₀ propuesto por Wischmeier y Smith (1958) y el KE₂₅ propuesto
910 para zonas tropicales por Hudson (Morgan 1979). Sin embargo, el cálculo de estos índices
911 requiere de datos de cantidad de lluvia por lo menos cada 10 minutos utilizando
912 pluviógrafos.

913 Desafortunadamente, a nivel nacional no existe una red de pluviógrafos que permita
914 calcular la intensidad de la lluvia y los índices de erosividad. Una alternativa ha sido la
915 utilización del método propuesto por FAO (1979), el cual utiliza a la precipitación mensual
916 y anual para estimar un índice de erosividad de la lluvia. Este método ha sido aplicado por
917 varios autores en México. Por ejemplo, Estrada-Berg y Ortiz-Solorio utilizando 760
918 estaciones meteorológicas distribuidas en el país estimaron este índice de erosividad para
919 las distintas regiones de México. Ellos concluyen que el 60% del territorio nacional tiene
920 una erosividad moderada y que los estados con valores más altos fueron Guerrero, Chiapas
921 y Oaxaca.

922 El problema de estos métodos que utilizan las precipitaciones mensuales subestima
923 la intensidad y la erosividad de la lluvia, principalmente en zonas con poca precipitación
924 mensual y zonas con una influencia importante de ciclones, las cuales son muy comunes en
925 México. Por ejemplo, en la costa de Jalisco que tiene una fuerte influencia de los ciclones
926 del Pacífico y una lluvia anual promedio alrededor de 750 mm, se ha estimado un valor
927 promedio de erosividad de $6525 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$, que es parecido al reportado en sitios
928 tropicales que reciben más de 1,500 mm anuales (García-Oliva et al. 1995). Por lo anterior,
929 es necesario promover la creación de una red de pluviografos a nivel nacional que permita
930 tener mejor mediciones de intensidad y erosividad de lluvias en el país.

931

932 ***Secuestro de carbono biogénico.***- Las escalas relevantes de variación en los flujos de
933 carbono en la escala global van desde millones de años para los procesos controlados por
934 los movimientos de la corteza terrestre, a la escala de días e incluso segundos, para los
935 procesos relacionados con el intercambio aire-océano y la fotosíntesis por el fitoplancton.
936 Es importante reconocer que el contenido de CO_2 atmosférico está modulado por la

937 variación en la tasa de intercambio entre la atmósfera y el océano y la atmósfera y biosfera,
938 y ésta varía latitudinal, longitudinal y batimétricamente. El nivel de concentración de CO₂
939 en la atmósfera en la escala global está finalmente determinado por procesos geológicos.
940 Las actividades humanas en los últimos 200 años han alterado el ciclo global del carbono
941 de manera significativa, sin embargo las tasas de cambio en los flujos de CO₂ atmosférico
942 no sólo dependen de los cambios en las actividades humanas sino también de procesos
943 biogeoquímicos que ocurren en los mares, los climatológicos y las interacciones de la biota
944 con el ciclo del carbono contribuyendo en el secuestro de carbono orgánico en los
945 sedimentos de los márgenes continentales en los mares. Otros mecanismos de secuestro que
946 se han descrito en la literatura incluyen el carbono orgánico atrapado en estructuras
947 carbonatadas como son los arrecifes de coral, la exportación de esqueletos de
948 cocolitofóridos, foraminíferos y pterópodos en mares saturados de CO₂ como son los mares
949 tropicales, la retención de carbono orgánico en organismos longevos como las ballenas
950 cuyo promedio de vida es de un siglo y la degradación de sus huesos de más de 50 años.
951 Una forma adicional de secuestro de carbono biogénico se da en aguas oceánicas tropicales
952 perennemente estratificadas térmicamente en las cuales la persistencia de circuitos
953 microbianos ejemplifica un mecanismo de secuestro en CO₂.

954 La información existente sobre la evaluación de secuestro de carbono biogénico en los
955 mares mexicanos es limitada y se limita a los estudios realizados en el margen del Pacífico
956 nororiental Mexicano caracterizado por una zona de oxígeno mínimo que permite la
957 preservación y el enterramiento de carbono orgánico. Estos estudios se fundamentan en el
958 papel de la bomba biológica del océano (secuestro de carbono en el océano interior por la
959 exportación de carbono orgánico) para explicar las variaciones observadas en el CO₂
960 atmosférico (Paytan et al., 1996). La bomba biológica y el consecuente secuestro de

961 carbono orgánico en el sedimento se relacionan con las variaciones del CO₂ atmosférico y
962 exportación del carbono al fondo oceánico.

963 La producción primaria en márgenes y taludes continentales se ha estimado en 3.7
964 PgC.a⁻¹, la cual es ligeramente mayor que la estimada de 2.9 PgC.a⁻¹ en el océano profundo
965 sugiriéndose que a nivel global la bomba biológica secuestra el 60% del carbono en el
966 océano profundo y 40% en márgenes continentales. En el caso particular de México, la tasa
967 de secuestro de carbono orgánico es 0.6 mg.cm⁻² a⁻¹, considerando una eficiencia del 35%
968 al ser uno de los pocos sitios del océano donde el desarrollo de la ZMO permite la
969 preservación y enterramiento de Corg. La elevada productividad primaria y la ZMO han
970 variado en sincronía con los cambios climáticos de escala glacial-interglacial por miles de
971 años (Ortiz et al., 2004) teniendo un papel relevante en modular los flujos de CO₂ en el
972 sistema océano-atmósfera. La información existente evalúa el flujo de Corg sedimentario
973 en núcleos de sedimento del talud continental frente a Baja California Sur, Mazatlán;
974 (Ganeshram et al., 1998) y el Golfo de Tehuantepec (Thunell y Kepple, 2004), que
975 presentan variaciones en la preservación y enterramiento del Corg y relevancia en el ciclo
976 del carbono en la región. Estudios similares son inexistentes en el Golfo de México o Mar
977 Caribe ya que en estos mares se presenta una oxidación del carbono orgánico.

978

979 ***Salinidad en cuerpos de agua.***- En México los intereses de índole práctica así como lo
980 novedoso y la diversidad de los ambientes acuáticos epicontinentales tropicales han
981 promovido su estudio a través principalmente de descripciones a nivel individual o regional.
982 Los escasos estudios disponibles para el país no permiten hacer generalizaciones de sus
983 características ecológicas y, menos aún, de tipo comparativo a escala geográfica más
984 amplia. En México los estudios de sistemas lénticos mexicanos (p.ej. lagos, presas) son

985 muy escasos y se circunscriben a los principales lagos (p.ej. Chapala, Jalisco); por otro lado,
986 los ambientes lóticos (p.ej. ríos y arroyos) son prácticamente desconocidos desde un punto
987 de vista limnoecológico.

988 Los aspectos dinámicos del funcionamiento de los ambientes acuáticos mexicanos son aún
989 desconocidos. Apenas se ha iniciado el conocimiento –limnoecológico- descriptivo básico
990 y en algunos casos se cuenta con registros de mediano o largo plazo de algunas variables
991 limnoecológicas de relevancia, tales como temperatura del agua o nivel del lago, que
992 permiten dar inicio a los estudios ecológicos a largo plazo; tal es el caso de Patzcuaro,
993 Michoacán, o de Alchichica, Puebla, que es el único sistema acuático epicontinental
994 incluido en la Red Mexicana de Estudios Ecológicos a Largo Plazo (Red Mex-LTER).

995 Existen dos tópicos de especial relevancia para el entendimiento de la dinámica del
996 funcionamiento de estos ecosistemas: a) los flujos de materia y energía y b) la variabilidad
997 temporal, que incluye tanto a los flujos como a las cantidades stock. Con relación a lo
998 anterior, se requiere comenzar por hacer los balances de energía, de agua y de sustancias
999 químicas diversos (p.ej., nutrimentos). Al respecto de esto último, la escasa evidencia
1000 disponible hoy en día ha mostrado que a diferencia de los ambientes acuáticos templados en
1001 donde el fósforo juega un papel preponderante en el control de la producción primaria, en
1002 los ambientes tropicales existe cada vez más evidencia que soporta que es el nitrógeno y no
1003 el fósforo el elemento clave.

1004 Posteriormente, es necesario reconocer la utilización de estos recursos así como
1005 medir la producción biológica. Existe una cantidad muy limitada de mediciones de
1006 producción primaria (PP) y menos aún de producción secundaria. Lo más acercado a la
1007 primera variable es la medición de la biomasa fitoplanctónica expresada a través de la

1008 concentración de clorofila que determinada a lapsos regulares de tiempo puede aproximarse
1009 a una medida de PP:

1010 Ahora bien, la medición de los procesos y relevancia de los mecanismos de descomposición
1011 y reciclamiento, así como el delineado y modelado de las redes tróficas de cuerpos
1012 acuáticos epicontinentales son prácticamente desconocidos. En casos contados se han
1013 realizado intentos de delinear redes tróficas de lagos mexicanos, pero estos modelos son
1014 más bien conceptuales y no cuentan con evaluaciones de cantidades stock (i.e., biomasa) ni
1015 de flujos.

1016 Por otro lado, los escasos avances que se han realizado relativos a la limnoecología
1017 mexicana, no dan un seguimiento a lo largo de varios ciclos anuales por lo cual es
1018 imposible aún el reconocer los patrones de cambio ambiental con el tiempo ni de los
1019 procesos ni tampoco de los componentes químicos ni bióticos involucrados. Todavía hasta
1020 no hace mucho tiempo existía la idea de que la estacionalidad en los trópicos (dos épocas
1021 predominantes: una fría de secas y una cálida de lluvias) permitía caracterizar los procesos
1022 con base en dos muestreos al año, uno para época contrastante. Sin embargo, los estudios
1023 realizados en otras regiones tropicales, han mostrada que los trópicos presentan patrones de
1024 variabilidad temporal muy diversos, que van del ciclo dial hasta los periodos de largo plazo
1025 y no periódicos, pasando por el ciclo anual y otros de periodicidades intermedias. Esto pone
1026 de manifiesto la complejidad de los procesos ecológicos en los ambientes acuáticos
1027 epicontinentales tropicales.

1028

1029 **Procesos asociados a riesgos ambientales**

1030 Con respecto a los procesos relacionados a los riesgos ambientales, estos incluyen:
1031 las sequías, los ciclones y huracanes, el aumento de nivel del mar, los tsunamis, las
1032 anomalías climáticas como el fenómeno de El Niño, las heladas y granizadas, las
1033 inundaciones, la erosividad de la lluvia, los deslaves, la hipoxia y anoxia y la erosión de
1034 playas y costas

1035

1036 ***Ciclones y huracanes.***- Quizá los eventos que de manera más drástica afectan los
1037 ecosistemas en México son los ciclones tropicales. Tradicionalmente se piensa en estos
1038 elementos del clima como generadores de lluvia intensa. Si bien es cierto que justo debajo
1039 del sistema las precipitaciones que se registran son de las más fuertes, la distancia de estos
1040 sistemas a la región continental mexicana puede determinar si se registran lluvias o por el
1041 contrario, que el sistema seque la región al atraer la humedad al ciclón. La mayor parte de
1042 los sistemas de este tipo, cercanos a la parte continental o entrando a continente dejan
1043 grandes precipitaciones en unos cuantos días. Los vientos fuertes, de más de 150 km/hr en
1044 el caso de huracanes, pueden derribar árboles, viviendas y producir grandes mareas de
1045 tormenta que afectan la zonas costeras.

1046 Tan sólo en 2005, México sufrió la entrada de un huracán categoría 4 (WILMA) que
1047 provocó por lo menos un millón de damnificados y ocho muertos a su paso por los estados
1048 de Quintana Roo y Yucatán (La Jornada, 23 de octubre del 2005); mientras que el huracán
1049 Stan, en su categoría de tormenta superó en pérdidas los 20 mil millones de pesos, una cifra
1050 que representa cerca de 20% del Producto Interno Bruto que anualmente producen
1051 entidades como Oaxaca, Chiapas o Guerrero (Jorge Emilio González, El Universal, 15 de
1052 octubre del 2005).

1053 En México, tanto la región del Pacífico como la del Caribe son generadoras de
1054 ciclones tropicales debido a que las temperaturas de superficie del mar, mayores a 28°C,
1055 son lo que se llama albercas de agua caliente, además de ser regiones con un contraste
1056 vertical de vientos débiles que favorece la formación de nubes profundas. Distintas
1057 relaciones de tipo físico indican que la intensidad que puede alcanzar un huracán crece al
1058 aumentar la temperatura de superficie del mar. Por ello, el calentamiento global del planeta
1059 traerá entre otras cosas un aumento en el potencial de intensidad de los ciclones tropicales.

1060 La vulnerabilidad de la sociedad a los huracanes se ha incrementado
1061 sustancialmente en las últimas décadas, principalmente debido a que la población ha
1062 crecido en las áreas que están expuestas a la afectación por este tipo de fenómenos. En
1063 México, a principios del siglo XX, las costas sólo estaban habitadas por 166 mil habitantes
1064 –representando al 10% de la población urbana de la época- y, en 1995 aumentó a 12.7
1065 millones de personas, de las cuales el 71.8% se asentaba en áreas urbanas (Gutiérrez y
1066 González, 1999). Esta situación nos da una idea de la creciente población que está expuesta
1067 en áreas de potencial afectación por huracanes.

1068 Se ha avanzado mucho en el entendimiento de cómo funcionan los ciclones
1069 tropicales, como resultando de un mayor entendimiento de los procesos convectivos
1070 tropicales. Prueba de ello es la calidad de los pronósticos a uno, dos y tres días que se
1071 realizan sobre trayectoria e intensidad de los ciclones tropicales. Sin embargo, aun falta
1072 mucho por entender en lo referente a la génesis de los ciclones tropicales. Si bien se
1073 conocen las condiciones necesarias para su formación, no son claras las condiciones de
1074 inestabilidad hidrodinámica que dan origen a un sistema de este tipo.

1075 En México, los ciclones tropicales se monitorean, como en la mayor parte del
1076 mundo, mediante percepción remota, sea esta por radar o por satélite. La información de

1077 satélite disponible en México proviene de los sistemas que han puesto en órbita los Estados
1078 Unidos. Los centros de recepción de imágenes de México reciben información de gran
1079 resolución espacial en distintos canales o bandas (visible, vapor de agua o infrarrojo).
1080 Incluso se hacen estimaciones por satélite de las precipitaciones y de la intensidad de los
1081 vientos.

1082 La información de la que se dispone de los radares en México dista de ser de la
1083 calidad con la que se produce en otras partes del mundo que cuentan con estos aparatos. El
1084 mayor uso que se hace los radares es para producir imágenes de reflectividad, aun y cuando
1085 éstos tienen capacidad de producir estimaciones de precipitación y de intensidad de vientos.
1086 Aun más, un buen manejo del radar meteorológico en México permitiría hacer predicciones
1087 de muy corto plazo (una o dos horas) de gran precisión espacial sobre la evolución de los
1088 huracanes.

1089 La vulnerabilidad de la sociedad a los huracanes se ha incrementado
1090 sustancialmente en las últimas décadas, principalmente debido a que la población ha
1091 crecido en las áreas que están expuestas a la afectación por este tipo de fenómenos. En
1092 México, a principios del siglo XX, las costas sólo estaban habitadas por 166 mil habitantes
1093 –representando al 10% de la población urbana de la época- y, en 1995 aumentó a 12.7
1094 millones de personas, de las cuales el 71.8% se asentaba en áreas urbanas (Gutiérrez y
1095 González, 1999). México, posiblemente es el único país que es afectado tanto por sus
1096 costas tanto orientales como occidentales. En las primeras, la temporada de huracanes se
1097 presenta entre el 1 de junio y el 30 de noviembre; mientras que para el océano Pacífico
1098 Nororiental, se dice que es del 15 de mayo al 30 de noviembre. Esta situación se hace
1099 patente al notar que durante el periodo de 1960-2005 han penetrado a las costas nacionales
1100 –en promedio- cerca de 1 ciclón tropical por año y 2.29 por los océanos Atlántico y

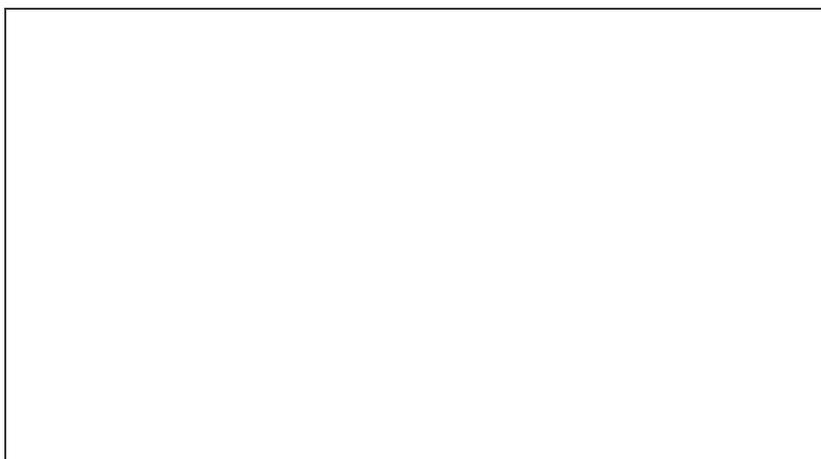
1101 Pacífico respectivamente (contabilizando depresiones tormentas y huracanes). El máximo
1102 de ciclones tropicales que entran a las costas mexicanas en el Atlántico es de 3 para los
1103 años 1970, 1971, 1978, 1988, 1995, 1999 y 2000; el record lo ostenta la temporada 2005,
1104 cuando entraron 7 ciclones tropicales; la misma información referida para el Pacífico es de
1105 6 sistemas en el año 1971. En el periodo mencionado (1968-2005) han entrado a México 53
1106 y 103 sistemas tropicales nombrados por las costas del Atlántico y Pacífico,
1107 respectivamente.

1108 La estación de huracanes del Atlántico Norte empieza oficialmente en junio y
1109 termina en noviembre, pero su mayor actividad está centralizada en los meses de agosto,
1110 septiembre y octubre. Aunque el pico de la estación ocurre durante la segunda semana de
1111 septiembre. En las etapas temprana y tardía de la estación, los huracanes se originan más
1112 lejos de México al compararlos con aquellos de finales de agosto y septiembre. La región
1113 principal de formación está acotada por las longitudes 55° y 75° W y por las latitudes de
1114 10° y 35° N. Generalmente se mueven al noroeste golpeando a la costa oriental de América,
1115 desde su parte central hasta Canadá. El número promedio estacional de CT en esta cuenca
1116 es de 10; sin embargo su variación va desde 4 a 33, números que ocurrieron en 1983 y
1117 2005, respectivamente.

1118 En la otra cuenca (Pacífico Nororiental), los CT frecuentemente se desarrollan cerca
1119 de las costas de México, en la región acotada por los 90° y 120° de longitud oeste y
1120 latitudes entre 10° y 20° N. Aún y cuando su movimiento se dirige noroeste, algunas veces
1121 recurvan hacia el noreste o inclusive al este y penetran en las costas mexicanas. En
1122 promedio, la actividad de los CT del Pacífico Nororiental empieza dos semanas antes que
1123 en el Atlántico; es decir, el 15 de mayo. Al contrario del Atlántico, existe un mínimo de

1124 actividad en el mes de agosto, el número de CT que se presentan por temporada oscila
1125 alrededor de 15 y su variación va desde 8 hasta 24 en 1977 y 1992, respectivamente.

1126 Con la información sobre ciclones tropicales disponible se estableció desde el año
1127 2000 un Sistema de Alerta Temprana contra huracanes que permite informar a la población
1128 en riesgo sobre el peligro y sobre las acciones a tomar para salvaguardar vidas. El sistema
1129 sin embargo no contempla acciones que lleven a disminuir los impactos en los bienes
1130 materiales de la población o encaminadas a la recuperación de los sistemas naturales
1131 afectados.



1132

1133

1134 **Fig 15.6** Carta de trayectoria de huracanes en el Pacífico

1135 Mexicano.

1136

1137

1138 **Sequías.-** Con frecuencia se confunde sequía con aridez. Mientras que la primera forma
1139 parte de los procesos de variabilidad climática, la segunda se refiere a una condición
1140 permanente. Dentro de la sequía se pueden tener varios tipos: meteorológica, hidrológica,
1141 agrícola y social. El primer tipo de sequía es un proceso natural sin influencia humana. Sin

1142 embargo, en los otros tipos de sequía hay una influencia humana de mayor o menor grado.
1143 Por ello, el que se vean campos de cultivo secos no necesariamente caracteriza la
1144 ocurrencia de una sequía meteorológica (natural), sino que puede reflejar un mal manejo
1145 del agua (influencia humana).

1146 Los salud de la vegetación monitoreada por satélite a través del *Normalized*
1147 *Difference Vegetation Index (NDVI)*, refleja de manera adecuada las anomalías de
1148 precipitación negativas que producen sequías meteorológicas. Así, aún cuando la red de
1149 estaciones de monitoreo de lluvia no es muy densa, el NDVI sirve como proxy (con retraso
1150 de entre uno y dos meses) para definir una condición de sequía.

1151 Existen diversos retos científicos para el estudio de la sequía. En la comunidad
1152 meteorológica se comienza a trabajar en pronóstico de esta condición, tratando de definir
1153 inicio, duración e intensidad. Los costos para la sociedad y el medio ambiente de una
1154 sequía prolongada e intensa pueden ser devastadores. Quizá aun más básico resulta el
1155 definir qué se entiende por sequía, es decir cuánto menos y por cuánto tiempo debe llover
1156 para declarar una sequía. Meteorológicamente hablando no es lo mismo pensar en sequía en
1157 zonas áridas y semiáridas que en zonas tropicales, pues en estas últimas un periodo de dos a
1158 tres semanas sin lluvia puede ser considerado una sequía, condición que podría resultar más
1159 natural en la zona norte de México.

1160 En términos de los procesos que generan una sequía se han buscado condiciones
1161 anómalas en las temperaturas de superficie del mar, como aquellas relacionadas con El
1162 Niño. De igual manera se comienzan a explorar factores como el cambio de albedo o
1163 humedad y rugosidad del suelo como mecanismo que pudieran generar sequías. La
1164 pregunta de cuál es la diferencia de procesos entre sequías de una estación o un año y
1165 aquellas que duran por varios años persiste.

1166 Hoy es claro que el cambio climático resultará en alteraciones del ciclo hidrológico
1167 y con ello en cambios en la frecuencia e intensidad de las sequías. De ahí que el tema sea de
1168 la mayor importancia en un país como México, altamente vulnerable a la sequía.

1169

1170 *Anomalías climáticas (eg. El Niño).*- Uno de los mayores retos de las Ciencias
1171 Atmosféricas es el entender las variaciones climáticas que se producen año con año. La
1172 agricultura, la generación de energía eléctrica, la pesca, o el abasto de agua a las ciudades
1173 pueden verse afectadas por condiciones extremas en las lluvias. Las actividades de
1174 prevención de desastres naturales o la salud humana dependen fuertemente de cambios en
1175 el clima. Es por ello que cada día se presta más atención a los factores que lo modulan.

1176 Con el tiempo se ha encontrado que uno de los fenómenos que más afectan el clima
1177 en escalas interanuales de tiempo es el conocido evento El Niño/Oscilación del Sur (ENOS),
1178 que no sólo provoca cambios en el clima de los países de la cuenca del Pacífico tropical,
1179 sino prácticamente de todo el mundo. Las campañas oceanográficas de observación, el uso
1180 de satélites y el aumento de las comunicaciones han incrementado nuestro entendimiento
1181 del fenómeno y reconocemos el patrón de anomalías de temperatura de superficie del mar
1182 que lo caracteriza permitiendo realizar buenos pronósticos de su ocurrencia e intensidad
1183 reconociendo un acoplamiento entre clima y océano.

1184 En nuestro país, el fenómeno ENOS es un clásico ejemplo del vínculo océano-clima
1185 y tiene repercusiones grandes en el clima y en gran medida, en nuestras actividades
1186 socioeconómicas. Estudios recientes muestran que los regímenes de lluvias de invierno y
1187 verano se ven afectados. Podemos decir que las lluvias se intensifican durante inviernos El

1188 Niño y que en inviernos La Niña, las lluvias tienden a disminuir en la mayor parte del país,
1189 excepto en la región del Istmo de Tehuantepec.

1190 Desde el punto de vista científico, el problema más interesante radica en entender
1191 por qué algo que ocurre en el océano Pacífico tropical afecta nuestro clima invernal. En
1192 inviernos El Niño, la corriente en chorro de latitudes medias, en la que los ciclones de gran
1193 escala se encuentran inmersos, se desplaza hacia el sur provocando una mayor incidencia
1194 de frentes fríos y lluvia en la zona norte y centro de México. Tales cambios en la
1195 circulación atmosférica resultan en un mayor número de los llamados *Nortes* en el Golfo de
1196 México y Mar Caribe. Sin embargo, un aumento en la actividad de *Nortes* no
1197 necesariamente resulta en más lluvia. Los patrones promedio de las anomalías de la lluvia
1198 en años El Niño o La Niña son una buena guía para pronosticar el clima existiendo
1199 variaciones que limitan los modelos predictivos.

1200 Varios factores influyen en las disminuciones en la lluvia durante veranos El Niño.
1201 Por ejemplo, la Zona Inter Tropical de Convergencia (ITCZ por sus siglas en inglés) del
1202 Pacífico oriental, donde existe gran cantidad de nubes profundas y lluvia, tiende a
1203 permanecer más cercana del Ecuador, por lo que la fuente de humedad para las
1204 precipitaciones en la costa oeste de México, durante los meses de junio, julio y agosto,
1205 permanece alejada y con ello las lluvias de verano son bajas. El desplazamiento en la ITCZ
1206 provoca que la subsidencia en la mayor parte de México sea anómalamente fuerte con lo
1207 que la formación de lluvias intensas se inhibe, y las lluvias son poco frecuentes.

1208 Los huracanes, tanto en el Pacífico como en el Atlántico son fuente importante de
1209 precipitaciones en México, particularmente en el norte del país. Relaciones estadísticas
1210 sugieren que durante años El Niño, el número de huracanes en el Atlántico, Mar Caribe y
1211 Golfo de México disminuye. Por el lado del Pacífico los huracanes pueden ser más intensos

1212 y de mayor duración, aunque sus orígenes pueden ser más dispersos y no necesariamente
1213 concentrados frente a México.

1214 Muchos otros factores deben considerarse al momento de hacer un pronóstico del
1215 clima de largo plazo como son las condiciones del océano Atlántico, la humedad en el suelo
1216 y la variabilidad interna del sistema climático. Es claro, un sistema tan complejo como el
1217 océano-continente-atmósfera presenta un amplio espectro de fluctuaciones, en el que las
1218 interacciones no lineales son fundamentales. Los avances en esta materia nos permiten hoy
1219 en día generar predicciones que ya son útiles en diversos sectores socio-económicos. La
1220 agricultura y el manejo de agua son quizá los que más se ven beneficiados con esta
1221 información (Escobar et al. 2001).

1222 La falta o exceso de lluvias puede resultar en importantes alteraciones para la vida
1223 socioeconómica del país. En México, la agricultura es en su mayor parte de temporal. Aún
1224 más, gran parte de la producción en este sector es para el auto-consumo de las familias
1225 campesinas. La falta de lluvia en la década de los noventa resultó en grandes pérdidas en el
1226 campo mexicano. Incluso en los últimos años las declaraciones de zonas de desastre por la
1227 sequía se han vuelto comunes. En buena medida, las sequías han estado asociadas a una
1228 gran actividad de eventos El Niño en los años 1982-83 que provocó sequías, incendios y
1229 pérdidas estimadas en cerca de seiscientos millones de dólares en las economías de México
1230 y Centro América. El evento El Niño de 1997-98 resultó quizá el más intenso del siglo. Las
1231 pérdidas en agricultura, ganadería, pesca, silvicultura y desastres naturales sumaron
1232 alrededor de dos mil millones de dólares en México aunado a un número elevado de gentes
1233 que se vieron afectadas.

1234 Una verdadera estrategia de adaptación ante condiciones extremas en el clima sólo
1235 podrá provenir de estudios científicos serios en la materia. La vulnerabilidad del país es

1236 grande a eventos donde el océano y la atmósfera están vinculados. Se requiere una
1237 capacidad técnica mejor para aplicar medidas preventivas si los efectos esperados son
1238 negativos, o bien, para el aprovechamiento de las condiciones favorables que este evento
1239 pudiera provocar en algunas regiones (llenado de presas en el Norte del país); y con la
1240 disponibilidad de recursos financieros correspondientes.

1241

1242 ***Heladas y granizadas.***- Las heladas pueden ser de tipo advectivo o radiativo. Las primeras
1243 corresponden a procesos en que una masa de aire frío se desplaza sobre una región
1244 produciendo descensos drásticos de temperatura. Las segundas se presentan cuando la falta
1245 de humedad en la atmósfera induce que el calor se pierda por radiación durante la noche, de
1246 tal forma que la temperatura baja hasta producir una helada.

1247 Las heladas son predecibles al punto de que en muchos lugares se cuenta con
1248 dispositivos para hacer que éstas sean menos severas para los agricultores, quienes son sin
1249 duda los más vulnerables a este fenómeno. Las heladas y sus afectaciones en la agricultura
1250 se presentan en los meses de invierno y son especialmente severas las de tipo radiativo que
1251 afectan a los estados del altiplano mexicano. De igual forma, algunos ecosistemas son
1252 vulnerables a las heladas, pero sin duda, este es un proceso que forma parte de la
1253 variabilidad natural del clima.

1254 Las tormentas de granizo están asociadas a los cambios bruscos en la temperatura de
1255 distintas capas de nubes y, en consecuencia, a las tormentas eléctricas. Estas precipitaciones
1256 sólidas, en forma de granos de hielo de diversos tamaños, afectan principalmente en las
1257 regiones agrícolas, donde acaban con los sembradíos, pueden causar la muerte de ganado
1258 menor y la destrucción de viviendas.

1259 En el país, las afectaciones por granizadas durante el período 1979-1988 se
1260 resintieron principalmente en los estados de Guanajuato; Chihuahua, y Tlaxcala, aunque
1261 cualquier estado donde se presenten lluvias intensas están expuestos a granizadas. Las
1262 acciones encaminadas a enfrentar esta amenaza dependen del monitoreo por radar.
1263 Desafortunadamente, no existe gran capacidad entre los responsables de la red de radares
1264 para emitir alertas sobre granizadas por lo que se trabaja de acuerdo con la climatología de
1265 granizadas o mediante formas empíricas de pronóstico.

1266

1267 ***Hipoxia y Anoxia.***- La hipoxia en aguas costeras está determinada por procesos físicos y
1268 biogeoquímicos. El aporte elevado de nutrimentos a la zona costera provenientes éstos de
1269 fuentes continentales y de materia orgánica generan eventos de hipoxia bajo ciertos
1270 escenarios, al modificar las proporciones N/P y N/Si (Turner et al., 2003), como son
1271 estratificación superficial y tiempos de residencia del agua extensos. Los nutrimentos
1272 provenientes de surgencias de aguas oceánicas subsuperficiales generan una productividad
1273 fitoplanctónica elevada y acumulación subsecuente de carbono que conlleva a una
1274 deficiencia de oxígeno. Los efectos combinados entre aguas con contenido bajo de oxígeno
1275 en las zonas de surgencias naturales y la disponibilidad elevada de nutrimentos tiende a
1276 incrementar la exportación vertical de carbono orgánico e intensifica la hipoxia costera.

1277 La hipoxia que se presenta en diversos hábitats costeros representa una barrera a la
1278 sustentabilidad de los ecosistemas (Naqvi et al., 2000; Breitburg, 2002). Aunque la
1279 ocurrencia de eventos hipóxicos no son necesariamente inducidos por actividades humanas,
1280 el conocimiento existente indica que las alteraciones generadas por las actividades
1281 antropogénicas pueden contribuir como un factor importante a la promoción condiciones
1282 hipóxicas (i.e. la construcción de presas) éstas afectan la descarga de agua dulce a la zona

1283 costera influyendo en la estratificación y retención de la forma disuelta del silicato y
1284 modificándose las proporciones N/Si y P/Si.

1285 Las condiciones hipóxicas pueden modificar las vías de remoción de nitratos (i.e.
1286 desnitrificación, regeneración y la oxidación anaeróbica de amonio) y ciclo de carbono al
1287 inducir la formación y emisión de óxido nitroso y metano, ambos gases de invernadero y
1288 que generan vía la atmósfera un cambio del clima. Las condiciones de oxidación en el agua
1289 marina determinan la retención y regeneración del fósforo en los sedimentos. La
1290 regeneración incrementa bajo condiciones de anoxia y el enterramiento se favorece bajo
1291 condiciones de oxigenación. Los ciclos de diversos metales traza incluyendo los de
1292 nutrientes esenciales, están determinados por la disponibilidad de oxígeno (i.e. la
1293 regeneración de Fe). Esta es menor bajo condiciones permanentemente anóxicas y
1294 totalmente óxicas y es más alta bajo condiciones alternantes óxicas-anóxicas o de baja
1295 oxigenación. El hierro liberado de los sedimentos de la zona costera queda disponible al
1296 plancton marino y eventualmente es transportado y queda disponible al plancton oceánico.
1297 Las condiciones hipóxicas estimulan la producción primaria a partir de la remobilización de
1298 metales traza (i.e. liberación de Fe) en los ecosistemas costero y oceánico vecino.

1299 La deforestación y erosión del suelo tienen un efecto grande sobre la calidad del
1300 agua. Otras vías importantes de ingreso de nutrientes a los ambientes costeros son por
1301 depositación atmosférica y descarga de aguas subterráneas. La acuicultura presenta otro
1302 factor de la afectación por actividades del hombre en la zona costera con una sobrecarga de
1303 nutrientes. Los eventos de baja concentración de oxígeno disuelto generan mortandades
1304 masivas y variaciones en la distribución de especies, cambios en la diversidad biológica,
1305 estrés fisiológico y otros efectos subletales como crecimiento y reproducción reducidos
1306 (Service, 2004).

1307 Los registros recientes apoyados en estudios del registro geológico y oceanografía
1308 satelital indican que existe evidencia que las condiciones de bajo contenido de oxígeno
1309 están proliferando cada día más en aguas costeras lo cual ha generado preocupación a nivel
1310 regional y mundial aumentando en frecuencia e intensidad (Rabalais y Turner, 2001). La
1311 hipoxia costera tiene consecuencias ecológicas y biogeoquímicas de dimensiones grandes
1312 que actualmente son poco entendidas. Lo anterior se ha debido a que se han estudiado en
1313 forma aislada y local y porque se encuentran estrechamente acopladas a los ecosistemas
1314 vecinos continental y oceánico. La intensidad, duración y frecuencia de los eventos de
1315 hipoxia en ecosistemas costeros han cambiado así mismo relacionados a calentamiento
1316 global, variabilidad climática y variaciones en los patrones de circulación. Desde el punto
1317 de vista del turismo éste puede verse afectado negativamente por olores poco agradables
1318 del acumulo de la materia orgánica en descomposición y organismos muertos.

1319 En la zona costera de México encontramos hipoxia de dos tipos la intermitente (i.e.
1320 plataforma continental frente a Coatzacoalcos) y la permanente (Margen continental del
1321 Pacífico Oriental Tropical), cada una con consecuencias diferentes para los organismos y
1322 procesos bioquímicas clave. La evidencia existente sugiere que la variabilidad interanual a
1323 interdecadal está ligada a fluctuaciones en escala grande (i.e. El Niño/Oscilación del sur,
1324 Oscilación decadal del Pacífico, y Oscilación del Atlántico Norte) y que tienen una
1325 reverberación directa o indirecta en la circulación la pesquería y la biodiversidad marina
1326 (i.e. el influjo anómalo de agua subártica al sistema de la corriente de California que
1327 conllevó a un desarrollo impropio de hipoxia sobre la plataforma interna generando la
1328 muerte masiva de fauna en el verano de 2002 (Grantham et al., 2004).

1329 Entre los esfuerzos que se llevan a cabo en México se encuentran los esfuerzos
1330 locales e institucionales por la UNAM, CICESE, la UABCS que evalúan el cambio en

1331 diferentes localidades costeras del Golfo de México (i.e. la plataforma continental frente
1332 Coatzacoalcos), la plataforma y talud continentales del Golfo de California, el Pacífico
1333 Oriental tropical y frente a la Península de Baja California. En el marco internacional
1334 México trabaja conjuntamente en el panel de científicos de hipoxia costera del grupo de
1335 trabajo de SCOR con objeto de identificar los factores comunes y las diferencias que
1336 generan hipoxia en diferentes localidades del océano mundial.

1337 Los ecosistemas costeros afectados por la hipoxia ven su diversidad biológica
1338 disminuida, los organismos capaces de desplazarse pueden cambiar de uno a otro hábitat,
1339 los que presentan desplazamiento limitado tienden a desaparecer y su recuperación toma
1340 años a décadas. La respuesta asimétrica de condiciones óxicas a anóxicas, denominada
1341 histeresis conlleva a cambios en el régimen de las comunidades asociadas a los fondos
1342 marinos alternando estados casi estables.

1343 El desarrollo de tecnología ha permitido que en años recientes se pueda llevar a
1344 cabo un seguimiento sistemático de las concentraciones de oxígeno en diversas partes del
1345 mundo información que puede ser transferida en tiempo real (Körtzinger et al., 2005). Este
1346 tipo de estrategias ofrece una posibilidad de dar seguimiento a los eventos de hipoxia, en
1347 asociación a otros parámetros, y determinar las consecuencias y causas que la generan
1348 alimentando modelos de simulación que establecer el efecto de las actividades humanas
1349 (Justic et al., 2003, Oguz et al., 2000). En México aún es necesario evaluar los valores base
1350 de oxígeno en columna de agua y fondo de muchas de las localidades costeras para sentar
1351 las bases de la distribución de la concentración de oxígeno disuelto y con ello iniciar un
1352 seguimiento sistematizado para la toma de decisiones.

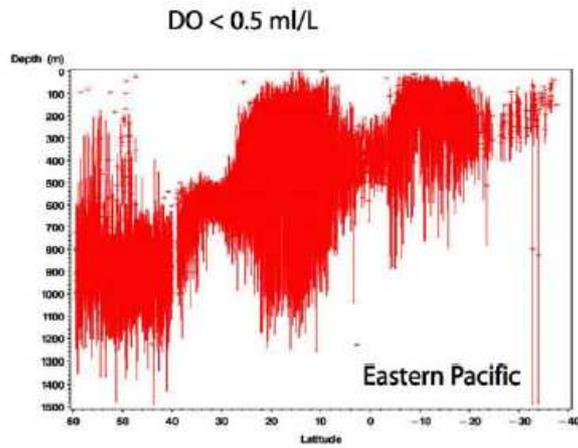
1353

1354

1355

1356

1357



1358

1359

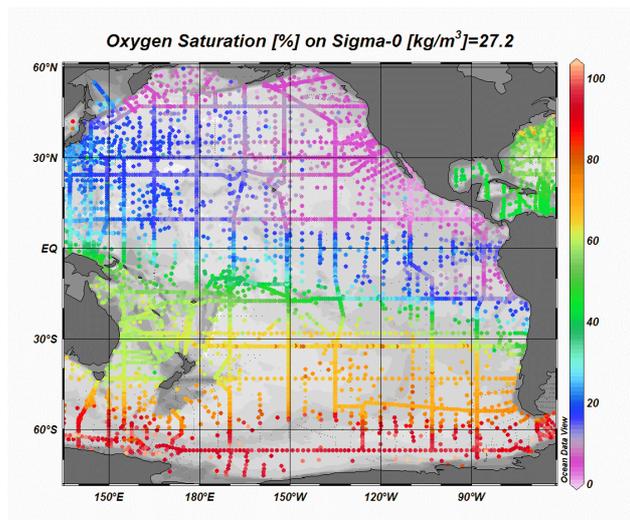
1360

1361

1362

1363

Fig 15.7 Distribución latitudinal y batimétrica de las zonas de oxígeno mínimo en el margen continental del Océano Pacífico Oriental. Tomada de Helly J.J. & L.A. Levin (2004).



1364

1365 **Fig. 15.8** Distribución de la concentración de oxígeno disuelto
1366 en Océano Pacífico, Golfo de México y Mar Caribe. Imagen por
1367 cortesía de E. Carmack, Institute of Ocean Sciences Canada.

1368

1369 **Ambientes naturales asociados a servicios culturales**

1370 Reservas, áreas naturales protegidas y otros atractivos no necesariamente protegidos,
1371 tales como islas, arrecifes, frentes, ventilas hidrotermales e infiltraciones de metano,
1372 montes oceánicos, cañadas, cascadas, cavernas, humedales, lagos y lagunas, playas, ríos,
1373 valles, volcanes, áreas de pesca recreativa, etc.

1374

1375 **Procesos y factores ambientales básicos**

1376 Finalmente y con respecto a los factores ambientales básicos, podemos mencionar:
1377 el clima, la hidrografía e hidrometría, la hidrogeología, la temperatura del aire, suelo y
1378 cuerpos de agua, la hidrología, principales corrientes y masas de agua, la geología, los
1379 suelos, la geomorfología, la hipsometría y batimetría, la delimitación de regiones oceánicas
1380 y cuencas geológicas, los fondos marinos y la topografía y geomorfología de las cuencas
1381 oceánicas

1382

1383 **Temperatura.-** Aunque las sequías forman parte de la variabilidad natural del clima y
1384 siempre han ocurrido, la falta de lluvias se puede convertir en una amenaza de gran
1385 magnitud para muchos ecosistemas debido a las prácticas agrícolas de roza, tumba y quema
1386 que con frecuencia resultan en incendios forestales. Las altas temperaturas que se
1387 presentan como resultado de la mayor insolación, ante la ausencia de nubes y lluvias,

1388 aumentan la evapotranspiración por lo que la humedad del suelo puede alcanzar niveles
1389 mínimos. De esta forma ocurren sequías meteorológicas (falta de lluvia), que llevan a
1390 sequías hidrológicas (falta de agua para diversos sectores), y eventualmente sequías
1391 agrícolas y sociales.

1392 Las temperaturas atmosféricas cerca de la superficie son por lo general resultado de
1393 procesos dinámicos y termodinámicos. Así, es bien claro que el ciclo diario o el ciclo anual
1394 de la temperatura está relacionado con parámetros geográficos y astronómicos. Sin
1395 embargo, las fluctuaciones sobre estos ciclos bien definidos son las que ocasionan con
1396 frecuencia alteraciones en los ecosistemas. Las ondas de calor o de frío son parte de la
1397 variabilidad del clima que puede ocasionar graves alteraciones en la sociedad y en los
1398 sistemas naturales. Baste recordar los miles de muertos en Europa por ondas de calor en el
1399 verano del 2004 o los muertos que deja cada año el frío intenso en el norte de México.

1400 Son aun muchas las preguntas sobre los procesos que dan origen a una onda de calor
1401 o de frío. Su duración de varios días y a veces de semanas se ha constituido en uno de los
1402 mayores retos de los pronosticadores del clima. En varias partes del mundo, el número de
1403 ondas de calor va en aumento. El centro de México registra en los últimos años una
1404 tendencia a días con temperaturas elevadas que se constituyen en récord con respecto a la
1405 historia reciente.

1406 Pero quizá uno de los temas de mayor interés científico tiene que ver con los
1407 aumentos en la temperatura global del planeta que vienen ocurriendo desde hace casi cien
1408 años y que continuarán experimentándose por causa del efecto invernadero producido por
1409 excesos en la emisión de contaminantes resultado de la quema de combustibles fósiles. El
1410 cambio climático es sin duda uno de los problemas ambientales más serios que enfrentará la
1411 humanidad en este siglo y aunque no conocemos con precisión la magnitud del aumento de

1412 la temperatura global, sabemos con certeza que ésta aumentará. Las señales más claras se
1413 tienen al saber que con el tiempo experimentamos años más y más cálidos.

1414 El monitoreo de la temperatura del planeta no es cosa fácil. Aunque en ciertas partes
1415 del planeta es alta la densidad de estaciones que miden la temperatura, en la mayor parte no
1416 se cuenta con series de temperatura largas, por ejemplo, en regiones oceánicas. En México,
1417 las temperaturas en regiones desérticas o de montaña son menos medidas que en las zonas
1418 centrales. Muchas de las estaciones de superficie se encuentran en centros de población lo
1419 que introduce un elemento de error en las mediciones de temperatura, ya que conforme
1420 crecen las ciudades alteran el microclima alrededor de la estación. Desafortunadamente no
1421 se cuenta con muchas estaciones en zonas montañosas o libres de efectos de urbanización,
1422 con series históricas largas.

1423

1424 ***Temperatura de los mares.***- La temperatura de la superficie del mar (TSM) es una variable
1425 física del océano asociada con los procesos dinámicos y termodinámicos del sistema
1426 climático global (SCG) que ocurren en la zona de transición océano atmósfera y representa
1427 la huella térmica de la superficie del océano en su permanente estado de movimiento y
1428 transformación. Los patrones regionales de precipitación en la región tropical del
1429 continente americano (30 °S - 30 N), están relacionados con las fluctuaciones de la TSM
1430 del Océano Pacífico oriental, del Mar Caribe y del Golfo de México. La distribución y
1431 evolución de la TSM es de importancia para entender la la variabilidad del clima de nuestro
1432 país.

1433 En virtud a que el océano juega un papel principal en la regulación del clima global
1434 es a través de la superficie del océano que se realizan importantes intercambios de calor,
1435 masa y momento. La inercia térmica permite almacenar el calor inducido por la radiación

1436 solar que es distribuida geográficamente por la circulación oceánica cediéndolo a su paso
1437 parcial y paulatinamente a la atmósfera. El océano provee también la mayor parte del vapor
1438 de agua y del agua de lluvia que existe en la troposfera y regula la concentración de bióxido
1439 de carbono y de otros gases de invernadero.

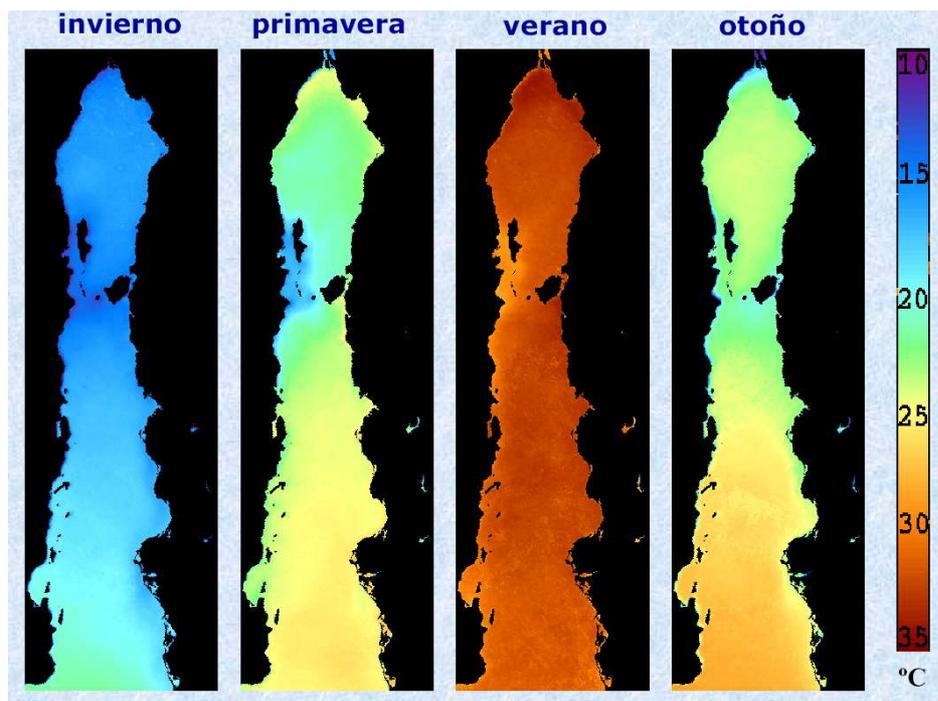
1440 La Oceanografía Satelital inició en 1978 y analiza variables físicas como son
1441 temperatura, color, rugosidad y topografía de la superficie del mar, cada una asociada a
1442 procesos oceánicos relevantes: la temperatura revela aspectos importantes del estado
1443 termodinámico en la zona de transición océano-atmósfera; la rugosidad es una medida del
1444 oleaje, y por lo tanto, de la eficacia de la acción del viento sobre la superficie del mar; el
1445 color sirve para identificar distribuciones de la biomasa fotosintética a partir de la clorofila-
1446 a, mareas rojas, sedimentos en suspensión y otros pigmentos que caracterizan procesos de
1447 transformación bioquímica en la superficie del océano y, finalmente, la topografía la
1448 superficie, que descubre movimientos y corrientes oceánicas de mediana y gran escala
1449 (Gallegos et al., 1996)

1450 Desde 1995 con la instalación de un sistema de adquisición y manejo de imágenes
1451 de satélite en el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México se
1452 reciben datos de radiómetros tipo AVHRR (radiómetros avanzados de muy alta resolución),
1453 montados en los satélites NOAA 12, NOAA 14, NOAA 15, NOAA 16 y NOAA 17, que
1454 cada dos horas, aproximadamente que miden en 5 bandas espectrales de radiación una
1455 resolución espacial de 1.1 km^2 y cubren un área de 2800 km de ancho (en dirección
1456 transversal a la órbita del satélite) por casi 5400 km de largo en cada paso dos veces al día.
1457 Las escalas de resolución espacial disminuyen en órdenes decimales de magnitud (i.e. 10
1458 km^2 , 10^2 km^2 , 10^3 km^2 y 10^4 km^2). Estas escalas de menor resolución son aplicables a
1459 modelos estadísticos y dinámicos del clima.

1460 Desde enero de 1996 el laboratorio de Oceanografía física del ICML registra
1461 sistemáticamente las imágenes de satélite (inicialmente NOAA 12 y 14, y después los
1462 NOAA 15, 16 y 17) de la temperatura de la superficie del mar de los mares de México y las
1463 aguas adyacentes. Las regiones oceánicas de interés dentro de la Zona Económica
1464 Exclusiva de México son el Golfo de California, el Golfo de Tehuantepec, el Pacífico
1465 mexicano del norte, la zona de transición del Pacífico Mexicano, el Golfo de México, el
1466 Mar de la Plataforma de Yucatán, el Golfo de Campeche, el Canal de Yucatán y el Caribe
1467 mexicano. Esta información organizada está contenida en el BITSMEX, acervo organizado
1468 de imágenes satelitales de la distribución espacial mensual de la temperatura de la
1469 superficie del mar (TSM) de los mares de México, permitirá realizar análisis locales y
1470 regionales para identificar y estudiar procesos de El Niño y La Niña y de su influencia
1471 respectiva en el régimen de lluvias sobre México y la frecuencia e intensidad de los
1472 huracanes que estacionalmente invaden el territorio mexicano. Tales estudios sentarán
1473 bases sólidas para validar y actualizar modelos de clima regional para el país con los que se
1474 podrían hacer pronósticos cada vez más acertados de la distribución y el volumen de lluvia
1475 en las diversas regiones agrícolas de México.

1476 Los productos específicos de BITSMEX son esencialmente composiciones
1477 mensuales de la TSM. BITSMEX provee datos indispensables, necesarios o
1478 complementarios para abordar muy diversos estudios de procesos de interacción océano-
1479 atmósfera y atmósfera-continente. A la fecha apoya los estudios de las pesquerías
1480 comerciales residentes en el Océano Pacífico oriental incluyendo el Golfo de California
1481 (Gallegos, A. y J. Barberán, 1998). BITSMEX está en permanente de actualización. En fases
1482 futuras se espera que tenga un diseño tal que permita obtener series de tiempo y estadísticas
1483 útiles de la TSM (de ene/96 al presente) para cualquier punto geográfico y a lo largo de

1484 cualquier transecto oceánico dentro de la región de referencia (9 - 34 N, 80 - 119 W). Este
1485 banco de información es permanentemente acumulativo mientras continúe la recepción de
1486 los registros diarios de los datos radiométricos satelitales.
1487



1488
1489
1490
1491
1492
1493
1494
1495
1496
1497

Fig 15.9 Estructura espacial de la TSM del Golfo de California para las cuatro estaciones del año, para el periodo de 1996-2001. Tomado de Márquez García, E. 2000. Cartografía y análisis climatológico de la Temperatura de la Superficie del mar en el Golfo de California (1996- 2001). Página BITSMEX.

1498 *Climas (Cambio Climático).*- La influencia humana en el clima es un hecho. A escala
1499 regional y global son dos los factores que determinan el cambio climático: el albedo y la
1500 emisividad atmosférica. El primero se puede asociar a cambios en la cubierta nubosa o a
1501 cambios en el uso de suelo. Así, la deforestación o la reducción de la cubierta de hielo y
1502 nieve tenderán a aumentar la cantidad de energía en la superficie de la Tierra,
1503 disminuyendo la que es reflejada de regreso al espacio. El cambio en la emisividad
1504 atmosférica, resultado del aumento en la concentración de gases de efecto invernadero
1505 desde finales del s. XIX, es el otro gran disparador del calentamiento del planeta. Una
1506 atmósfera más caliente de lo normal tiene la capacidad de mantener más vapor de agua. Si
1507 en esta atmósfera más caliente se mantienen los mecanismos naturales para formar nubes y
1508 producir lluvias, las precipitaciones pueden ser más intensas pero quizá menos frecuentes.
1509 Con más vapor de agua podría haber más nubosidad y mayor reflejo de radiación solar,
1510 alterando el albedo. El aumento en temperatura, será el resultado de qué tan importantes
1511 sean los cambios en albedo y concentración de gases de efecto invernadero.

1512 Algunos datos de las tendencias del clima en la región Latinoamericana indican que
1513 la temperatura en la mayor parte de este territorio ha aumentado. Dichos aumentos se
1514 manifiestan con frecuencia como olas de calor que afectan a la población infantil y a los
1515 adultos de edad avanzada. No obstante, tal aumento en la temperatura se detecta también en
1516 temperaturas mínimas más elevadas por lo que algunos de los riesgos por bajas
1517 temperaturas disminuirán.

1518 Los escenarios que se generan para cambio climático se construyen a partir de
1519 modelos numéricos del clima. Como en el caso del estudio de la variabilidad interanual del
1520 clima, se efectúan una gran cantidad de experimentos variando no sólo la condición inicial,
1521 sino también los forzantes. En este caso, la concentración de gases de efecto invernadero

1522 varía de acuerdo con los escenarios de crecimiento económico, de población, de tecnología
1523 y de otros factores socioeconómicos.

1524 Los escenarios de cambio climático para la región de México y Centroamérica
1525 indican que es seguro que la temperatura aumentará, aunque es incierto lo que ocurrirá con
1526 la precipitación. Sin embargo, aumentos en temperatura y ligeras variaciones en la
1527 precipitación tenderán a dejar menos agua disponible en México al reducirse la humedad
1528 del suelo. Dicha condición podría tener un serio impacto en diversos ecosistemas.

1529 Para que los impactos del cambio climático sean menos severos, se trabaja en dos
1530 líneas de acción principalmente: la mitigación, relacionada con la disminución de emisiones,
1531 y la adaptación, con las acciones de disminución de vulnerabilidad de diversos sectores a
1532 condiciones extremas del clima.

1533 Uno de los grandes retos en el estudio del cambio climático en México a través de
1534 modelos es en analizar fenómenos de mesoescala (menos de 100 km de extensión) que sin
1535 embargo, tienen un fuerte impactos en parámetros meteorológicos y en cantidades
1536 derivadas, como es la disponibilidad de agua o los rendimientos agrícolas. Existen por
1537 supuesto, problemas de gran magnitud relacionados con las interrelaciones de biodiversidad
1538 y cambio climático, que en el caso de México, ofrecen una amplia materia de investigación
1539 científica que lleve a planteamientos de cómo enfrentar ambos problemas ambientales.

1540

1541 **Suelos.-** Los suelos son un componente importante de los ecosistemas terrestres, ya que en
1542 ellos se presentan el intercambio de agua y de nutrientes entre distintos componentes de los
1543 ecosistemas, tales como la vegetación, el sustrato geológico y la atmósfera. Por ejemplo, la
1544 vegetación adquiere el agua y la mayoría de los nutrientes principalmente del suelo, por lo
1545 que sus características físicas y químicas pueden afectar directamente la disponibilidad de

1546 estos recursos. Una buena aproximación del conocimiento de estas características es por
1547 medio de la clasificación de los suelos, ya que los diferentes tipos están agrupados en
1548 función a sus características físicas y químicas.

1549 Afortunadamente en México ha existido un gran interés por clasificar los suelos a
1550 nivel nacional, ya que el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI)
1551 empezó a realizar estos trabajos desde 1971. Actualmente, el INEGI (2005) ha realizado
1552 una actualización del mapa de suelos a nivel nacional escala 1:250,000 con el sistema de
1553 clasificación de suelos World Reference Base 2000 (WRB2000) propuesto por la FAO
1554 (2000). Para la elaboración de este mapa se utilizaron 30 mil perfiles que se han colectado
1555 desde 1981 (INEGI 2004).

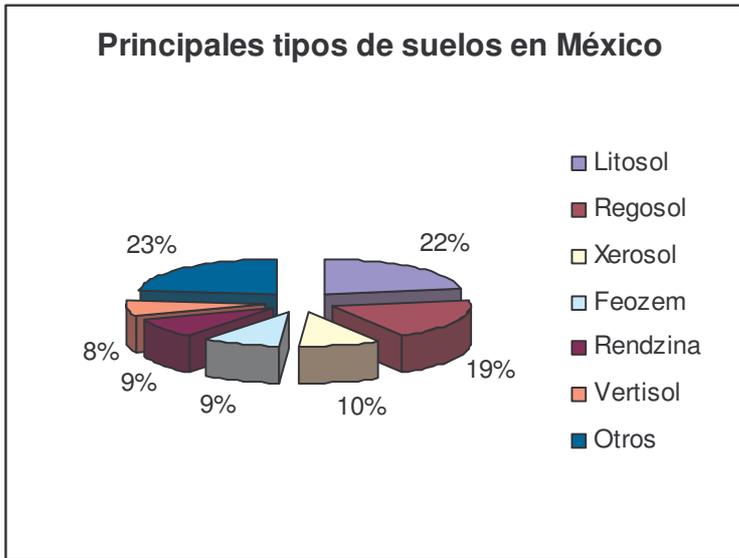
1556 En México, se encuentran 22 tipos de suelos de los 25 tipos de suelos que existen en
1557 el mundo propuestos por FAO. Esto es un reflejo de la gran diversidad de suelos que
1558 existen en el país, debido a la complejidad de su relieve y estructura geológica, así como de
1559 su variedad de climas y tipos de vegetación. En la figura 15.10 se presenta el porcentaje de
1560 la superficie nacional que ocupan los principales tipos de suelos. Lo que ocupan la mayor
1561 superficie del país son los Litosoles y los Regosoles (41.6 % de la superficie), los cuales
1562 son suelos poco desarrollados y generalmente muy someros. Estos suelos se distribuyen
1563 principalmente en las zonas montañosas del país. En tercer lugar está los Xerosoles (9.5%),
1564 lo cuales se caracterizan por desarrollarse en zonas áridas y semiáridas en terrenos con poca
1565 pendiente. El 23% de la superficie ocupada por otros tipos de suelos corresponde a 16
1566 diferentes tipos que ocupan poca superficie del país.

1567 Esta información es una excelente base para el conocimiento de los suelos en
1568 México, ya que se pueden generar mapas a escalas mayores. También el INEGI tiene
1569 mapas de suelos a escala 1:50, 000 para algunas regiones del país.

1570

1571 (Nota: pueden insertar el mapa nacional de tipos de suelo del INEGI escala 1:20,000,000).

1572



1573

1574 **Figura 15.10** Porcentaje de la superficie nacional que ocupan
1575 los principales tipos de suelo en México (INEGI 2004).

1576

1577

1578

1578 **Referencias:**

- 1579 Alvarez-Sánchez, J., R. B. Enríquez 1996. Leaf decomposition in a Mexican tropical rain
1580 forest. *Biotropica* 28:657-667.
- 1581 Alvarez-Sánchez J., S. Guevara. 1993. Litterfall dynamics in a Mexican lowland tropical
1582 forest. *Tropical Ecology* 34:127-142.
- 1583 Alvarez-Sánchez J., S. Guevara. 1999. Litter interception on *Astrocaryum mexicanum*
1584 Liebm. (Palmae) in a tropical rain forest. *Biotropica* 31:89-92.
- 1585 Andersen D.C., S.M. Nelson 2006. Flood pattern and weather determine *Populus* leaf litter
1586 breakdown and nitrogen dynamics on a cold desert floodplain. *Journal of Arid*
1587 *Environment* 64:626-650.
- 1588 Asbjornsen, H., N. Velázquez-Rosas, R. García-Soriano & C. Gallardo-Hernández. 2005.
1589 Deep ground fires cause massive above- and below-ground biomass losses in tropical
1590 montane cloud forests in Oaxaca, Mexico. *Journal of Tropical Ecology* 21:427-434.
- 1591 Badan, A., D. Rivas, J. Ochoa, J. Sheinbaum y J. Candela. 2006. More on the vertical heat
1592 flux in the central Gulf of Mexico *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 8, 09354
1593 SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU06-A-09354.
- 1594 Barajas-Guzmán, G., J. Alvarez-Sánchez. 2003. The relationships between litter fauna and
1595 rates of litter decomposition in a tropical rain forest. *Applied Soil Ecology* 24:91-100.
- 1596 Bernal-Flores A., A. Hernández-Garay, J. Pérez-Pérez, J.G. Herrera-Haro, M. Martínez-
1597 Menes, J.L. Davalos-Flores. 2006. Seasonal growth curve of native grasses in an oak
1598 forest, in the state of Mexico, Mexico. *Agrociencia* 40:39-47.
- 1599 Biggs, D.C. 1992. Nutrients, plankton, and productivity in a Warm- Core ring in the
1600 western Gulf of Mexico. *J. Geophys. Res.* 97 (C2): 2143-2154.

1601 Biondi, F., P.C. Hartsough, I.G. Estrada. 2005. Daily weather and tree growth at the
1602 tropical treeline of North America. *Arctic Antarctic and Alpine Research* 37:16-24.

1603 Breitburg, D. 2002. Effects of hypoxia, and the balance between hypoxia and enrichments,
1604 on coastal fishes and fisheries. *Estuaries*, 25: 767-781.

1605 Bullock, S.H. 1997. Effects of seasonal rainfall on radial growth in two tropical tree species.
1606 *International Journal of Biometeorology* 41:13-16.

1607 Búrquez A., A. Martínez-Yrizar, S. Nuñez. 1999. Sonoran Desert productivity and the
1608 effect of trap size on literfall estimates in dryland vegetation. *Journal of Arid*
1609 *Environments* 43:459-465.

1610 Buton B.J., J. Ben-Asher 1983. Intensity-duration relationships of desert precipitation at
1611 Avdat, Israel. *J. Arid Environ.* 6: 1-12.

1612 Cairns, M.A., P.K. Haggerty, R. Alvarez, B.H.J. De Jong, & I. Olmsted. 2000. Tropical
1613 Mexico's recent land-use change: a region's contribution to the global carbon cycle.
1614 *Ecological Applications* 10:1426-1441.

1615 Cairns, M.A., I. Olmsted, J. Granados, y J. Argaez. 2003. Composition and aboveground
1616 tree biomass of a dry semi-evergreen forest on Mexico's Yucatan Peninsula. *Forest*
1617 *Ecology and Management* 186:125-132.

1618 Castellanos, J., V.J. Jaramillo, R.L. Sanford, J.B. Kauffman. 2001. Slash-and-burn effects
1619 on fine root biomass and productivity in a tropical dry forest ecosystem in Mexico.
1620 *Forest Ecology and Management* 148:41-50.

1621 Cayrol, P., A. Chenbouni, L. Kergoat, G. Dedieu, P. Mordelet, Y. Nouvellon. 2000.
1622 Grassland modeling and monitoring with SPOT-4 VEGETATION instrument during
1623 the 1997-1999 SALSA experiment. *Agricultural and Forest Meteorology* 105:91-115.

- 1624 Chapin III, F.S. P.A. Matson, H.A. Mooney. 2002. Principles of terrestrial ecosystem
1625 ecology. Springer, New York.
- 1626 Cruz, A.G., S.S. García, F.J. Catzin Rojas, A.I. Ortiz Ceballos. 2002. Descomposición del
1627 follaje de nescafé (*Mucuna* spp.) en la época seca. *Interciencia* 27:625-630.
- 1628 De Jong, B.H.J., M.A. Cairns, P.K.Haggerty, N. Ramírez-Marcial, S. Ochoa-Gaona, J.
1629 Mendoza-Vega, M. González-Espinosa & I. March-Mifsut. 1999. Land-use change
1630 and carbon flux between 1970s and 1990s in central highlands of Chiapas, Mexico.
1631 *Environmental Management* 23:373-385.
- 1632 De Jong, B.H.J., S. Ochoa-Gaona, M.A. Castillo-Santiago, N. Ramírez-Marcial, & M.A.
1633 Cairns. 2000. Carbon flux and patterns of land-use/land-cover change in the Selva
1634 Lacandona, Mexico. *Ambio* 29:504-511.
- 1635 Deuser, W.G., E.H. Ross y R.F. Anderson. 1981. Seasonality in the supply of sediment to
1636 the deep Sargasso Sea and implications for the rapid transfer of matter to the deep
1637 ocean. *Deep - Sea Res.*, 28A (5): 495-505.
- 1638 Escobar, E., M. Bonilla, A. Badan, M. Caballero & A. Winckell (Compiladores). 2001. Los
1639 efectos del fenómeno El Niño en México 1997-1998. CONACyT. México. 246pp.
- 1640 Estrada-Berg J.W., C.A. Ortiz-Solorio 1982. Plano de erosión hídrica del suelo en México.
1641 *Geografía Agrícola* 3: 23-27.
- 1642 Etchevers, J.D., C. Prat, C. Balbontín, M. Bravo, M. Martínez. 2006. Influence of land use
1643 on carbon sequestration and erosion in Mexico, a review. *Agronomie* 26:1-9.
- 1644 Etter P. C. 1983 Heat and Freshwater Budgets of the Gulf of Mexico *Journal of Physical*
1645 *Oceanography* 13 (11): 2058–2069.
- 1646 FAO 1979. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos.
1647 Roma, Italia.

1648 Franklin, K.A., K. Lyons, P.L. Nagler, D. Lampkin, E.P. Glenn, F. Molina-Freaner, T.
1649 Markow, A.R. Huete A.R. 2006. Buffelgrass (*Pennisetum ciliare*) land conversion
1650 and productivity in the plains of Sonora, Mexico. *Biological Conservation* 127:62-71.

1651 Gallegos, A. y J. Barberán, 1998: Surgencia Eólica. Capítulo 3, p. 27-34. En: Tapia García,
1652 M. (Ed.): El Golfo de Tehuantepec: el ecosistema y sus recursos. 240 p. UAM-I,
1653 México.

1654 Gallegos, A., J. Barberán, S. Czitrom, A. Fernández y R. Rodríguez, 1996, *Oceanografía*
1655 Satelital en el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM, GEOUNAM,
1656 Vol. 3, Num. 2, p. 3 – 8.

1657 Ganeshram, R.J. y T.F. Pedersen. 1998. Glacial-interglacial variability in upwelling and
1658 bioproductivity off NW Mexico: Implications for Quaternary paleoclimate.
1659 *Paleoceanography*, 13, 634-645.

1660 Garcia, R., A. Gómez, J. Lopez, J. Vargas, W.R. Horwath. 2004. Tree growth and delta C-
1661 13 among populations of *Pinus greggii* Engelm. At two contrasting sites in central
1662 Mexico. *Forest Ecology and Management* 198:237-247.

1663 García Villalobos, F. J. y E. Escobar Briones (en prensa) Composición elemental del
1664 Carbono orgánico del sedimento superficial de la planicie abisal del Golfo de México.
1665 Volumen sobre el estado del Conocimiento del Carbono en México.

1666 García-Oliva F., B. Sveshtarova, M. Oliva. 2003. Seasonal effects on soil organic carbon
1667 dynamics in a tropical deciduous forest ecosystem in western Mexico. *Journal of*
1668 *Tropical Ecology* 19:179-188.

1669 García-Oliva, F., J.M. Maass, L. Galicia 1995. Rainstorm analysis and rainfall erosivity of
1670 a seasonal tropical region with a strong cyclonic influence on the Pacific coast of
1671 Mexico. *J. Applied Meteorology* 34: 2491-2498.

1672 Gebremichael M., A.P. Barros. 2006. Evaluation of MODIS gross primary productivity
1673 (GPP) in tropical monsoon regions. *Remote Sensing of Environment* 100:150-166.

1674 Geissen V., G. Morales-Guzman. 2006. Fertility of tropical soils under different land use
1675 systems—a case study of soils in Tabasco, Mexico. *Applied Soil Ecology* 31:169-178.

1676 Goni G. J. y J. A. Trianes 2003. Ocean Thermal Structure Monitoring Could Aid in the
1677 Intensity Forecast of Tropical Cyclones. *Eos* 84 (51): 573, 577–578.

1678 González, O.M. 2005. Composición y caracterización isotópica $\delta^{13}\text{C}$ de partículas de
1679 carbono orgánico en estratos batimétricos de aguas oceánicas del suroeste del Golfo
1680 de México. Tesis de Maestría en Biología Marina, ICMYL, UNAM.

1681 Grantham, B.A., F. Chan, K.J. Nielsen, D.S. Fox, J.A. Barth, A. Hoyer, J. Lubchenco and
1682 B.A. Menge (2004) Upwelling-driven nearshore hypoxia signals ecosystem and
1683 oceanographic changes in the northeast Pacific. *Nature*, 429: 749-754.

1684 Gruber, N. y J.L. Sarmiento, 1997. Global patterns of marine nitrogen fixation and
1685 denitrification. *G. Biogeochem. Cyc.* 11: 235-266.

1686 Guevara, R.,I. Romero. 2004. Spatial and temporal abundance of mycelial mats in the soil
1687 of a tropical rain forest in Mexico and their effects on the concentration of mineral
1688 nutrients in soils and fine roots. *New Phytologist* 163:361-370.

1689 Harlan, J.A., S.E. Swearer, R.R. Leben and C.A. Fox. 2002. Surface circulation in a
1690 Caribbean island wake. *Cont. Shelf Res.* 22: 417-343.

1691 Harmon M.E., D.F. Whigham, J. Sexton, I. Olmsted. 1995. Decomposition and mass of
1692 woody detritus in the dry tropical forests of the northeastern Yucatan Peninsula,
1693 Mexico. *Biotropica* 27:305-316.

- 1694 Hastings S.J., W.C. Oechel, A. Muhlia-Melo. 2005. Diurnal, seasonal and annual variation
1695 in the net ecosystem CO₂ exchange of a desert shrub community (sarcocaulis) in
1696 Baja California, Mexico. *Global Change Biology* 11:927-939.
- 1697 Helly J.J. & L.A. Levin 2004. Global distribution of naturally occurring marine hypoxia on
1698 continental margins. *Deep-Sea Research I* 51: 1159-1168.
- 1699 Heredia G. 1993. Mycoflora associated with green leaves and leaf litter of *Quercus*
1700 *germana*, *Quercus sartorii* and *Liquidambar styraciflua* in a Mexican cloud forest.
1701 *Cyptogamie: Micologie* 14:171-183.
- 1702 Honjo, S., K.W. Doherty 1988. Large aperture time –series sediment traps: design objectives,
1703 construction and application. *Deep-Sea Res. I*, 35: 133-149.
- 1704 Hughes, R.F., J. B. Kauffman & V.J. Jaramillo. 1999. Biomass, carbon, and nutrient
1705 dynamics of secondary forests in a humid tropical region of México. *Ecology*
1706 80:1892-1907.
- 1707 Hughes, R.F., J.B. Kauffman & V.J. Jaramillo. 2000. Ecosystem-scale impacts of
1708 deforestation and land use in a humid tropical region of Mexico. *Ecological*
1709 *Applications* 10:515-527.
- 1710 INEGI 2004. Informe Nacional sobre perfiles del suelo Version 1.2. Instituto Nacional de
1711 Estadística, Geografía e Informática.
- 1712 Jaramillo, V.J., R. Ahedo-Hernández, J.B. Kauffman. 2003b. Root biomass and carbon in a
1713 tropical evergreen region of México: changes with secondary succession and forest
1714 conversion to pasture. *Journal of Tropical Ecology* 19:457-464.
- 1715 Jaramillo, V.J., J.B. Kauffman, L. Rentería-Rodríguez, D.L. Cummings, L.E. Ellingson.
1716 2003a. Biomass, C, and N pools in Mexican tropical dry forest landscapes.
1717 *Ecosystems* 6:609-629.

1718 Jeffrey AWA, R.C. Pflaum, J.M. Brooks, W.M. Sackett. 1983. Vertical trends in particulate
1719 organic carbon $^{13}\text{C}:$ ^{12}C ratios in the upper water column. *Deep- Sea Res.*, 30 (9A):
1720 971-983.

1721 Justic, D., N.N. Rabalais and R.E. Turner 2003. Simulated responses of the Gulf of Mexico
1722 hypoxia to variations in climate and anthropogenic nutrient loading. *J. Mar. Syst.*, 42:
1723 115-126.

1724 Kauffman, J.B., M.D. Steele, D.L. Cummings, V.J. Jaramillo. 2003. Biomass dynamics
1725 associated with deforestation, fire, and conversion to cattle pasture in a Mexican
1726 tropical dry forest. *Forest Ecology and Management* 176:1-12.

1727 Kellman, M., and B. Delfosse. 1993. Effect of the red land crab (*Gecarcinus lateralis*) on
1728 leaf litter in a tropical dry forest in Veracruz, Mexico. *Journal of Tropical Ecology*
1729 9:55-65.

1730 Körtzinger, A., J. Schimanski and U. Send 2005. High quality oxygen measurements from
1731 profiling floats: a promising new technique. *J. Atmos. Oceanic Tech.*, 22: 302-308.

1732 Kovacs J.M., F. Flores-Verdugo, J.F. Wang and L.P. Aspden. 2004. Estimating leaf area
1733 index of a degraded mangrove forest using high spatial resolution satellite data.
1734 *Aquatic Botany* 80:13-22.

1735 Kovacs J.M., J.F. Wang and F. Flores-Vergudo. 2005. *Estuarine Coastal and Shelf Science*
1736 62:377-384.

1737 Kummerow, J., J. Castellanos, J.M Maass, A. Larigauderie. 1990. Production of fine roots
1738 and the seasonality of their growth in a Mexican deciduous dry forest. *Vegetatio*
1739 90:73-80.

1740 Lawrence, D. 2005. Regional-scale variation in litter production and seasonality in tropical
1741 dry forest of southern Mexico. *Biotropica* 37:561-570.

1742 Lawrence, D. & D. Foster. 2002. Changes in biomass, litter dynamics and soils following
1743 shifting cultivation in southern Mexico: An overview. *Interciencia* 27:400-
1744 Leipper, D., and D. Volgenau, 1972. Hurricane heat potential of the Gulf of Mexico,
1745 *J. Phys. Oceanogr.*, 2, 218–224.

1746 Ley, CK 2003. Variación de la concentración de clorofila (a) en aguas oceánicas y de
1747 sedimento del mar profundo del Golfo de México. Tesis de Licenciatura en Biología,
1748 Facultad de Ciencias, UNAM.

1749 Lira, J. and E. García. 2003. Characterization of vegetation in the south of Mexico by means
1750 of a canonical expansion. *International Journal of Remote Sensing* 24:1083-1093.

1751 Lyon, J.G., D. Yuan, R.S. Lunetta, and C.D. Elvidge. 1998. A change detection experiment
1752 using vegetation indices. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 64:143-
1753 150.

1754 Maass J.M., J.M. Vose, W.T. Swank, A. Martínez-Yrizar. 1995. Seasonal changes of leaf
1755 area index (LAI) in a tropical deciduous forest in West Mexico. *Forest Ecology and*
1756 *Management* 74:171-180.

1757 Maass J.M., A. Martínez-Yrizar, C. Patiño AND J. Sarukhán. 2002. Distribution and annual
1758 net accumulation of above-ground dead phytomass and its influence on throughfall
1759 quality in a Mexican tropical deciduous forest ecosystem. *Journal of Tropical*
1760 *Ecology* 18:821-834.

1761 Martínez-Sánchez, J.L. 2001. Leaf litterfall composition in a tropical rain forest in Mexico.
1762 *Geo-Eco-Trop* 25:29-44.

1763 Martínez-Yrizar, A. 1984. Procesos de producción y descomposición de hojarasca en selvas
1764 estacionales. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias, UNAM. Mexico.

- 1765 Martínez-Yrizar, A., and J. Sarukhán. 1990. Litterfall patterns in a tropical deciduous forest
1766 in México over a five-year period. *Journal of Tropical Ecology* 6:433-444.
- 1767 Martínez-Yrizar, A., A. Búrquez, S. Núñez, H. Miranda. 1999. Temporal and spatial
1768 variation of litter production in Sonoran Desert communities. *Plant Ecology* 145:37-
1769 48.
- 1770 Martínez-Yrizar, A., J.M. Maass, L.A. Pérez-Jiménez, J. Sarukhán. 1996. Net primary
1771 productivity of a tropical deciduous forest ecosystem in western México. *Journal of*
1772 *Tropical Ecology* 12:169-175.
- 1773 Martínez-Yrizar, A., J. Sarukhán, A. Pérez-Jiménez, E. Rincón, J.M. Maass, A. Solís-
1774 Magallanes & L. Cervantes. 1992. Above-ground phytomass of a tropical deciduous
1775 forest on the coast of Jalisco, Mexico. *Journal of Tropical Ecology* 8:87-96.
- 1776 Maya, Y. and L. Arriaga. 1996. Litterfall and phenological patterns of the dominant
1777 overstorey species of a desert scrub community in north-western Mexico. *Journal of*
1778 *Arid Environments* 34:23-35.
- 1779 Mendoza-Vega, J., E. Karlun & M. Olsson. 2003. Estimations of amounts of soil organic
1780 carbon and fine root carbon in land use and land cover classes, and soil types of
1781 Chiapas highlands, Mexico. *Forest Ecology and Management* 177:191-206.
- 1782 Mora, F. and L.R. Iversen. 1998. On the sources of vegetation activity variation, and their
1783 relation with water balance in Mexico. *Int. J. Remote Sensing* 19:1843-1871.
- 1784 Mora, F. and L.R. Iverso. 1998. On the sources of vegetation activity variation, and their
1785 relation with water balance in Mexico. *International Journal of Remote Sensing*
1786 19:1843-1871.
- 1787 Morgan R.P.C. 1979. *Soil erosion*. Longman, New York.

1788 Naqvi, S.W.A., D.A. Jayakumar, P.V. Narvekar, H. Naik, V.S. Sarma, W. D'Souza, T.
1789 Joseph and M.D. George 2000. Increased marine production of N₂O due to
1790 intensifying anoxia on the Indian continental shelf. *Nature*, 408: 346-349.

1791 Navar, J., E. Méndez & V. Dale. 2002. Estimating stand biomass in the Tamaulipan
1792 thornscrub of northeastern Mexico. *Annals of Forest Science* 59:813-821.

1793 Núñez S., A. Martínez-Yrizar, A. Búrquez and F. García-Oliva. 2001. Carbon
1794 mineralization in the southern Sonoran Desert. *Acta Oecologica* 22:269-276.

1795 Oguz, T., H. Ducklow and P. Malanotte-Rizzoli 2000. Modelling distinct vertical
1796 biogeochemical structure of the Black Sea: Dynamic coupling of oxic, suboxic and
1797 anoxic layers. *Global Biogeochem. Cycles*, 14: 1331-1352.

1798 Ortiz, J. D., S.B. O'Connell, J. DelViscio, W. Dean, J.D. Carriquiry, T.M. Marchitto, Y.
1799 Zheng, and A. van Geen. 2004. Enhanced marine productivity off western North
1800 America during warm climate intervals of the past 52 k.y. *Geology* 32, 521-524.

1801 Paruelo, J.M., H.E. Epstein, W.K. Lauenroth and I. Burke. 1997. ANPP estimates from
1802 NDVI for the central grassland region of the United States. *Ecology* 78:953-958.

1803 Paruelo, J.M., G. Pineiro, C. Oyonarte, D. Alcaraz, J. Cabello, and P. Escribano. 2005.
1804 Temporal and spatial patterns of ecosystem functioning in protected arid areas in
1805 southeastern Spain. *Applied Vegetation Science* 8:93-102.

1806 Pavon, N.P., O. Briones and J. Flores-Rivas. 2005. Litterfall and nitrogen content in an
1807 intertropical semi-arid Mexican scrub. *Journal of Arid Environments* 60:1-13.

1808 Paytan, A., M. Kastner and F. Chavez. 1996. Glacial to interglacial fluctuations in
1809 productivity in the equatorial Pacific as indicated by marine barite. *Science* 274,
1810 1355-1357.

1811 Pettorelli, N., J.O. Vik, A. Mysterud, J.M. Gaillard, C.J. Tucker and N.C. Stenseth. 2005.
1812 Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental
1813 change. *Trends in Ecology and Evolution* 20:503-510.

1814 Pujos, M, J. Monente, C. Latouche and N. Maillet. 1997. Origine de la sedimentation dans
1815 le delta de l'Orenoque et le golfe de Paria (Venezuela): impact du systeme dispersif
1816 amazonien. *Ocean. Acta* 20 (6): 799-809.

1817 Rasmussen, M.S. 1998a. Developing simple, operational, consistent NDVI-vegetation
1818 models by applying environmental and climatic information: Part I. Assessment of net
1819 primary production. *International Journal of Remote Sensing* 19:97-117.

1820 Rasmussen, M.S. 1998b. Developing simple, operational, consistent NDVI-vegetation
1821 models by applying environmental and climatic information: Part II. Crop yield
1822 assessment. *International Journal of Remote Sensing* 19:119-139.

1823 Reyes-Reyes, B.G., E. Zamora-Villafranco, M.L. Reyes-Reyes, J.T. Frias-Hernandez, V.
1824 Olalde-Portugal and L. Dendooven. 2003. Decomposition of leaves of huisache
1825 (*Acacia tortuoso*) and mesquite (*Prosopis* spp) in soil of the central highlands of
1826 Mexico. *Plant and Soil* 256:359-370.

1827 Ricker, M., and R. del Rio. 2004. Projecting diameter growth in tropical trees: a new
1828 modeling approach. *Forest Science* 50:213-224.

1829 Rojas, C. 2001, En busca del galeón Nuestra Señora del Juncal. *Arqueología Subacuática*.
1830 Tesis para obtener el título de Licenciada en Arqueología. Escuela Nacional de
1831 Antropología e Historia.

1832 Ruíz-Luna, A. and C.A. Berlanga-Robles. 1999. Modification in coverage patterns and land
1833 use around the Huzache-Caimanera lagoon system, Sinaloa, Mexico. A multi-temporal
1834 analysis using LANSAT images. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 49:37-44.

- 1835 Sader, S.A., T. Sever, J.C. Smoot and M. Richards. 1994. Forest change estimates for the
1836 northern Peten of Guatemala –1986-1990. *Human Ecology* 22:317-332.
- 1837 Salinas-Zavala, C.A., A.V. Douglas and H.F. Díaz. 2002. Interannual variability of NDVI
1838 in northwest Mexico. Associated climatic mechanisms and ecological implications.
1839 *Remote Sensing Environment* 82:417-430.
- 1840 Sánchez, G. and J. Alvarez-Sánchez. 1995. Litterfall in primary and secondary tropical
1841 forests of Mexico. *Tropical Ecology* 36:191-201.
- 1842 Shay, L.,G. Goni and P. Black. 2000. Effects of warm oceanic features on Hurricane Opal,
1843 *Mon. Weath. Rev.*, 128, 131–148.
- 1844 Therrell, M.D., D.W. Stahle, M.K. Cleaveland and J. Villanueva-Diaz. 2002. Warm season
1845 tree growth and precipitation over Mexico. *Journal of Geophysical Research-*
1846 *Atmospheres* 107 (D14): Art. No. 4205.
- 1847 Thunell, R.C., and A.B. Kepple. 2004. Glacial-Holocene d15N record from the Gulf of
1848 Tehuantepec, Mexico: Implications for denitrification in the eastern equatorial Pacific
1849 and changes in atmospheric N2O. *Global biogeochemical cycles* 18, GB1001,
1850 doi:10.1029/2002GB002028.
- 1851 Trenberth, K.E. and A. Solomon. 1994. The global heat balance: heat transports in the
1852 atmosphere and ocean. *Climate dynamics* 10(3): 107-134.
- 1853 Williams-Linera, G., M.S. Devall and C. Alvarez-Aquino. 2000. A relict population of
1854 *Fagus grandifolia* var. *mexicana* at the Acatlan Volcano, Mexico: structure, litterfall,
1855 *phenology* and dedroecology. *Journal of Beogeography* 27:1297-1309.
- 1856 Williams-Linera, G., and J. Tolome. 1996. Litterfall, temperate and tropical dominant trees,
1857 and climate in a Mexican lower montane forest. *Biotropica* 28:649-656.
- 1858 Wischmeier W.H. y D.D. Smith 1958. Rainfall energy and its relationship to soil loss.

1859 Trans. Am. Geophys. Un. 39: 285-291
1860 Xuluc-Tolosa, F.J., H.F.M. Vester, N. Ramirez-Marcial, J. Castellanos-Albores and D.
1861 Lawrence. 2003. Leaf litter decomposition of tree species in three successional phases
1862 of tropical dry secondary forest in Campeche, Mexico. Forest Ecology and
1863 Management 174:401-412.
1864

1864

1865 **Caja 1 BASES DE DATOS CLIMATOLOGICAS**

1866

1867 Las bases de datos meteorológicas completas y confiables son gran importancia en el
1868 establecimiento de un programa de estudios ambientales. Dicho planteamiento genera una
1869 serie de preguntas sobre la calidad, cantidad, disponibilidad o variedad de las bases de datos.
1870 La situación actual es que existen fuentes y bases de datos dispersas, algunas disponibles
1871 por Internet, otras en CDs y algunas otras sólo en papel. Se les ha identificado, y se sabe
1872 que tienen algunas limitaciones, como por ejemplo: datos incompletos, nulo control de
1873 calidad, etc.

1874

1875 La información climática requerida debe considerar: información de estaciones
1876 meteorológicas (presión, temperatura, humedad, vientos, precipitación y radiación solar);
1877 información obtenida por satélite, incluyendo perfiles de temperatura y humedad;
1878 información de radisondeos o radar, información obtenida por satélite sobre color de la
1879 superficie que resulta en información sobre la salud de la vegetación, color del mar y
1880 productividad. Se debe también considerar la información de los reanálisis, que considera
1881 observaciones asimiladas mediante modelos que imponen restricciones físicas a los campos
1882 generados.

1883

1884 Es claro que no existe una fuente de datos única que corresponda al “verdadero estado de la
1885 atmósfera”, pues conocerlo con toda precisión y exactitud es imposible. Por ello, se debe
1886 tener una estimación de la incertidumbre misma de los datos para conocer el grado de
1887 precisión y exactitud a esperar por ejemplo, en las simulaciones y pronósticos con modelos

1888 numéricos del clima. Así, el concepto de incertidumbre debiera ser incluido de forma clara
 1889 no sólo en las salidas de los modelos de simulación y pronóstico del clima, sino incluso en
 1890 los mismos datos.

1891

1892 En términos de datos de superficie se puede agrupar la información en dos grandes grupos:
 1893 datos por estación y datos en mallas regulares. Los primeros proporcionan evidentemente
 1894 observaciones en un punto. El número de estaciones meteorológicas en el país ha variado
 1895 enormemente en las últimas décadas, pasando de unas cuantas en el siglo XIX a casi cuatro
 1896 mil en los años sesenta. En la actualidad se cuenta con alrededor de mil quinientas
 1897 estaciones meteorológicas. La mayor parte de la información de las estaciones se encuentra
 1898 digitalizada, sin embargo, existen algunos registros históricos de más de ochenta años que
 1899 sólo están disponibles en papel, es decir en libros de algunos ranchos y fincas.

1900

1901 Las estaciones meteorológicas corresponden a:

1902

Responsable de estaciones	Tipo	Variables	Disponibilidad
Servicio Meteorológico Nacional	Estaciones Automáticas	Precipitación, temperatura, viento, humedad relativa, presión, radiación solar	En línea CD
Servicio Meteorológico Nacional	Estaciones climatológicas	Precipitación Temperatura	CD
Comisión Federal de Electricidad	Estaciones Automáticas	Precipitación, temperatura, viento, humedad relativa,	Por solicitud CD
PEMEX	Estaciones automáticas	Precipitación, temperatura, viento, humedad relativa,	¿?

Secretaría de Marina	Estaciones Automáticas	Precipitación, temperatura, viento, humedad relativa, presión, Radiación solar	Por Solicitud
UNAM y otras instituciones académicas	Estaciones Automáticas	Precipitación, temperatura, viento, humedad relativa, presión, radiación solar	Por solicitud CD
Agrupaciones Agropecuarias	Estaciones Automáticas	Precipitación, temperatura, viento, humedad relativa, presión	No disponibles

1903

1904 Existen también los datos meteorológicos en malla. Dichos datos pueden ser el resultado de
 1905 estimaciones por satélite o procesos de asimilación basados en la información reportada en
 1906 las estaciones de superficie o por una combinación de los dos tipos. Las características
 1907 espaciales y temporales de estos datos varían. Sin embargo, entre los más conocidos en la
 1908 comunidad meteorológica se tienen:

1909

Responsable	Tipo	VARIABLES meteorológicas	Disponibilidad
NCEP/NCAR Reanalysis	Asimilación de datos (2.5°X .5°)	Todas cada 6 horas	En línea
North American Regional Reanalysis	Asimilación de datos (32km X 32 km)	Todas cada 3 horas	En línea
Univ. East Anglia	Asimilación de datos (0.5°X 0.5°)	Precipitación mensual	En línea
UNAM	Asimilación de datos (0.5°X 0.5°)	Precipitación mensual	En línea
NCEP	Asimilación de datos (0.5°X 0.5°)	Precipitación diaria	En línea
GPCP	Asimilación de datos (2.5°X 2.5°)	Precipitación diaria y mensual	En línea
Varios	Asimilación de datos. Estimaciones de	Precipitación Temperatura Humedad	En línea

	satélite	Radiación	
--	----------	-----------	--

1910

1911

1912 Un mecanismo adecuado para encontrar la información en línea es referirse a la pagina del

1913 *International Research Institute (IRI) for Climate and Society* (<http://iri.columbia.edu>) en

1914 donde se encuentra uno de los mayores archivos de datos geofísicos, pero en particular

1915 meteorológicos.

1916

1917