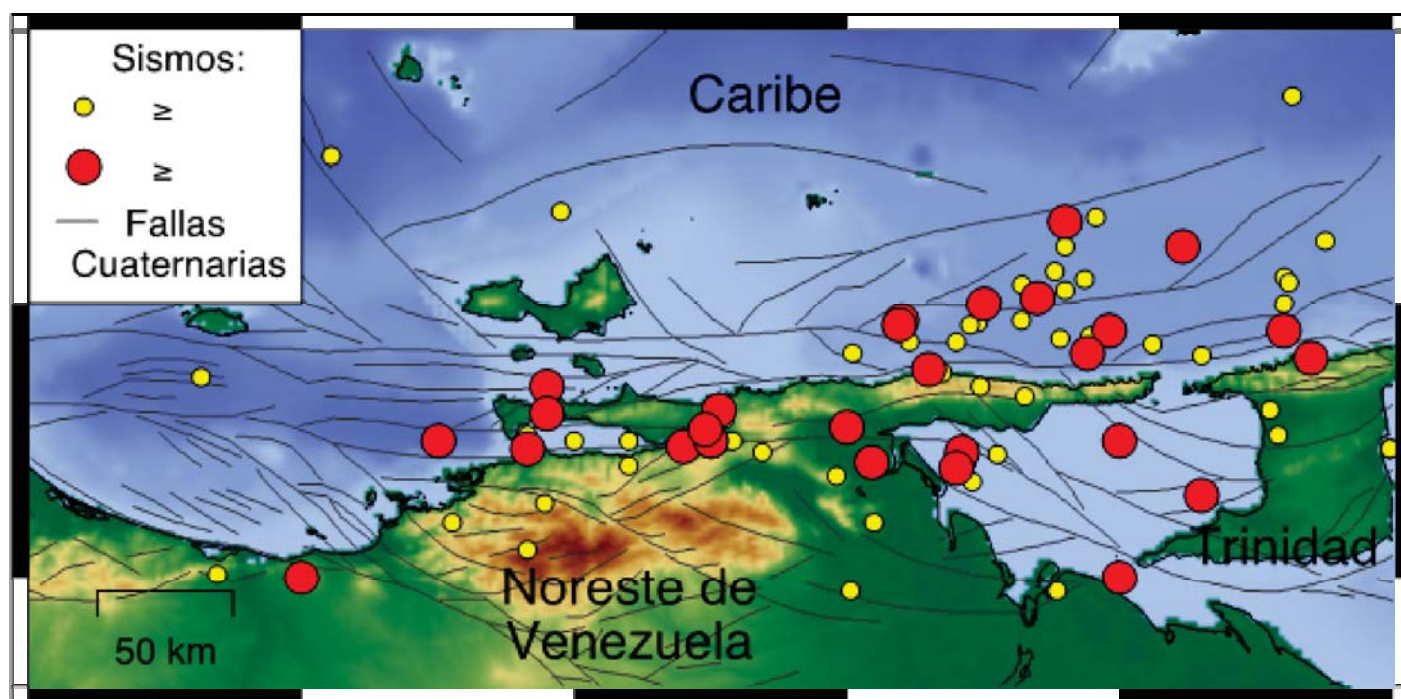


Geos



Volumen 33
No. 2

Marzo de 2013

GEOS

<http://www.ugm.org.mx/geos.html>

BOLETÍN INFORMATIVO DE LA UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C.

UNIÓN GEOFÍSICA MEXICANA, A.C. Mesa Directiva 2014-2015

Dr. Julián Adem Chain
Presidente Honorario

Dra. Tereza Cavazos
División de Oceanología, CICESE
Presidenta

Dra. Xyoli Pérez Campos
Instituto de Geofísica, UNAM
Vicepresidenta

Dr. Raúl Castro Escamilla
Ciencias de la Tierra, CICESE
Secretario General

Dr. Noe Carbajal
IPICYT
Secretario de Investigación

Dra. Ligia Pérez Cruz
Instituto de Geofísica, UNAM
Secretaria de Difusión

Dra. María del Sol Hernández
Geociencias, ENES, Unidad Morelia, UNAM
Secretario de Educación

Dr. Víctor Manuel Wong Ortega
División de Ciencias de la Tierra, CICESE
Tesorero

Editores Principales

Luis A. Delgado Argote
ldelgado@cicese.mx
CICESE

Ligia Pérez Cruz
perezacruz@geofisica.unam.mx
UGM

Comité Editorial

Harald Böhnelt, UNAM
Noel Carbajal Pérez, IPICYT
Oscar Campos, UNAM
Gerardo Carrasco, UNAM
Ana Luisa Carreño, UNAM
Carlos Flores Luna, CICESE
Juan García Abdeslem, CICESE
René Garduño, Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM
Gustavo Tolson, UNAM
Felipe Escalona, Unidad Académica de Ciencias de la Tierra, UAZ

Apoyo Técnico Editorial

Humberto S. Benítez Pérez
Angel Daniel Peralta Castro
María Cristina Álvarez Astorga
Alejandro F. Nava Pichardo
Lil J. Bidart Escobar

GEOS, boletín informativo de la Unión Geofísica Mexicana (UGM), se edita conjuntamente por la UGM y el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE) bajo el patrocinio del CICESE. Se publica dos veces al año, contiene artículos originales de investigación, artículos de divulgación, notas cortas, aspectos relevantes para la difusión de la actividad científica, tecnológica y docente en las Ciencias de la Tierra, así como noticias de interés para los miembros de la UGM. Las instrucciones para los autores se encuentran al final de cada número y en <http://www.ugm.org.mx/geos.html>. GEOS (ISSN 0186-1891) se edita en la División de Ciencias de la Tierra, CICESE, Carretera Ensenada-Tijuana No. 3918, Zona Playitas 22860, Ensenada B.C., México.

EDITORIAL	331
------------------	-----

ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN

Ecuaciones universales ajustadas para el cálculo de lluvias máximas de corta duración	332
Del Ángel González, Marcelino y Ramón Domínguez Mora	

NOTAS DE INVESTIGACIÓN

Postnóstico (pronóstico hecho a posteriori) del sismo del 11 de octubre de 2013 en Venezuela, mediante análisis de semiperiodicidad	350
Quinteros, Claudia B. y F. Alejandro Nava	

DIVULGACIÓN

La fórmula del calentamiento global y la XVIII Olimpiada de Ciencias de la Tierra	356
Gómez Treviño, Enrique	

REPORTES

Datos preliminares sobre recursos humanos en Ciencias de la Tierra	369
Mendoza, B., X. Blanco, A. Iglesias, A. Jazcilevich, J. Rosas, A. Trasviña y J. Zavala-Hidalgo	

Características ambientales de La Lagunita de El Ciprés, Municipio de Ensenada, Baja California y las amenazas a su conservación.	372
Anda Martín, Brenda I., Jaqueline Chavira Silva, Anabel Del Toro Kobzeff, Rhada A. Flores Zavala, Marlyne E. Jaimes Lugo y Zayre I. González Acevedo	

COMUNICACIONES

POLÍTICA EDITORIAL	391
---------------------------	-----

La oportunidad de la divulgación

El reconocimiento de la divulgación científica por el Estado mexicano le da un poco de tranquilidad a quienes la practican como una actividad adicional a la del perfil profesional por el que fueron contratados en sus Instituciones de Educación Superior (IES). La necesidad de llevar el conocimiento científico a la población cobra importancia y ahora el CONACYT promueve las tareas de divulgación a través de programas concretos que facilitan la adquisición de equipos y materiales. Por lo general, esa tarea la desarrollan los académicos de manera espontánea, generosa y (sobra decirlo) improvisada, bajo la mirada un tanto condescendiente de sus colegas así como de las autoridades de sus instituciones. Con frecuencia, el entusiasmo de los divulgadores compensa las limitaciones del diseño de sus exposiciones, pues han adquirido sus habilidades principalmente en aulas y laboratorios y su conocimiento lo han dirigido a estudiantes que han seguido un proceso sistemático de aprendizaje (las Olimpiadas de Ciencias de la Tierra auspiciadas por la UGM son un ejemplo). Con el aval legal a la divulgación científica como un eje relevante de las políticas de ciencia y tecnología en México, para lo cual se tramita una modificación a la Ley Orgánica del CONACYT, se busca que esta institución promueva acciones que fomenten y fortalezcan las actividades de divulgación científica entre los investigadores del país y las organizaciones de la sociedad civil. Más allá de la retórica política, esta iniciativa abre una oportunidad para que las IES y las sociedades académicas destinen espacios para practicar la comunicación del conocimiento en espacios distintos a las aulas y para grupos de personas heterogéneos, dado que la divulgación no es parte de la educación formal. Se entiende que uno de los propósitos básicos es hacer que el conocimiento científico o formal sea parte de la cultura. Al respecto, un dicho popular dice que *cultura es todo aquello que sabemos cuando olvidamos lo que se nos enseñó*. Quienes practican la divulgación entre la población combinan la vocación por la enseñanza, con la seguridad de que están ayudando a desarrollar un pensamiento más crítico en las comunidades, de manera que buscan que, por ejemplo, los fenómenos naturales puedan ser vistos sin recurrir a las supersticiones. Ojalá nuestra comunidad académica, así como nuestras instituciones, aprovechen esta oportunidad para intercambiar experiencias con la sociedad. Lo que muchos divulgadores han observado es que los mejores lugares para llevar a cabo intercambios entre académicos y estudiantes de posgrado con las comunidades son los museos locales y las instalaciones de las instituciones a través de “casas abiertas”. Sin embargo, esos ambientes visitados masivamente como parte de actividades escolares, a gran parte de la población le resultan no sólo son poco atractivos, sino incluso intimidantes. Por ello será conveniente pensar en las plazas públicas como lugares de encuentro para llevar a cabo ferias científicas. A ellas acudimos todos.

Ecuaciones universales ajustadas para el cálculo de lluvias máximas de corta duración

Del Ángel González, Marcelino¹ y Ramón Domínguez Mora²

¹Asociación Mexicana de Hidráulica del Sur de Tamaulipas y Norte de Veracruz
(mdag53@yahoo.com.mx, biingenieria@gmail.com)

²Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Ingeniería
(rdominguezm@iingen.unam.mx, rdm@pumas.iingen.unam.mx)

Resumen

Se hace notar la importancia de contar con herramientas útiles para el cálculo de precipitaciones pluviales e intensidades de corta duración para la región sur del Estado de Tamaulipas, enfatizando en la necesidad de utilizar registros de precipitaciones máximas en 24 hrs obtenidos en la zona conurbada de la región, así como en la realización de ajustes a las ecuaciones en la literatura. Se utilizan los coeficientes para la determinación de precipitaciones máximas en una hora para la República Mexicana y se establecen las comparaciones en los resultados de su aplicación para las estaciones climatológicas Tampico, Ciudad Madero y Altamira de la región sur de Tamaulipas, mediante las ecuaciones propuestas por Bell (1969) y Chen (1983), ajustadas a las lluvias máximas regionales.

Palabras clave: lluvias máximas, intensidades de corta duración.

Introducción

El agua, recurso esencial para la vida y elemento fundamental para el desarrollo sustentable de una región, requiere de su estudio a partir de su formación dentro del ciclo hidrológico. El análisis comienza a partir de su medición mediante pluviógrafos y pluviómetros. Los primeros registran la altura de precipitación con relación al tiempo y permiten determinar su intensidad. Los segundos, miden la altura de lluvia máxima cada 24 horas.

La importancia de su medición se fundamenta en que, para cualquier región, el agua (en forma de precipitación) es motor de desarrollo por todas aquellas actividades relacionadas tanto con el aprovechamiento de los recursos hídricos, como con el diseño de obras de protección.

La precipitación como tal, es una variable hidrológica que se puede caracterizar a través de

su intensidad, su distribución espacio-temporal y su frecuencia o probabilidad de ocurrencia. Su caracterización depende de las mediciones realizadas en pluviógrafos para deducir su patrón de comportamiento en una zona determinada y llevar a cabo un análisis a posteriori. Sin embargo, no siempre se dispone de datos de intensidades para precipitaciones máximas de corta duración, por lo que es común el uso de registros pluviométricos para determinar las intensidades por medio de ecuaciones diseñadas para tal fin.

Este estudio presenta la aplicación de las ecuaciones de precipitación propuestas tanto por Bell (1969), como por Chen (1983), mediante el coeficiente K, con el cual se relaciona la precipitación máxima de 1 hora con la de 24 horas determinado por Baeza (2007), aplicable

a la República Mexicana (Figura 1). Se realizó un análisis comparativo con estaciones climatológicas del sur de Tamaulipas ubicadas en Tampico, Ciudad Madero y Altamira, y se hicieron las observaciones y recomendaciones correspondientes.

El análisis tiene como objetivo determinar las precipitaciones máximas para duraciones cortas, de 10 a 120 minutos principalmente, y se establece un criterio para el diseño de obras protección contra inundaciones aplicable a cualquier región de México.

Son pocas las publicaciones que existen sobre estudios que se han realizado aplicando las

ecuaciones de Bell (1969) y Chen (1983) en algunas regiones de México, y en todos se utilizan tal y como fueron concebidas por sus autores, ajustando sólo los parámetros que corresponden a las precipitaciones o intensidades máximas. Caben destacar, por ejemplo, Pereyra-Díaz *et al.* (2005), quienes ajustan las ecuaciones de lluvia intensa generalizada, propuestas por Bell y Chen, a las precipitaciones máximas de la ciudad de Xalapa, Veracruz, con el propósito de usarlas en otras partes del país, especialmente en el estado de Veracruz, cuando se cuenta con precipitaciones máximas horarias y diarias y se requiere de precipitaciones máximas de corta duración para diseñar obras hidráulicas. Campos (2008), propuso un procedimiento basado en la

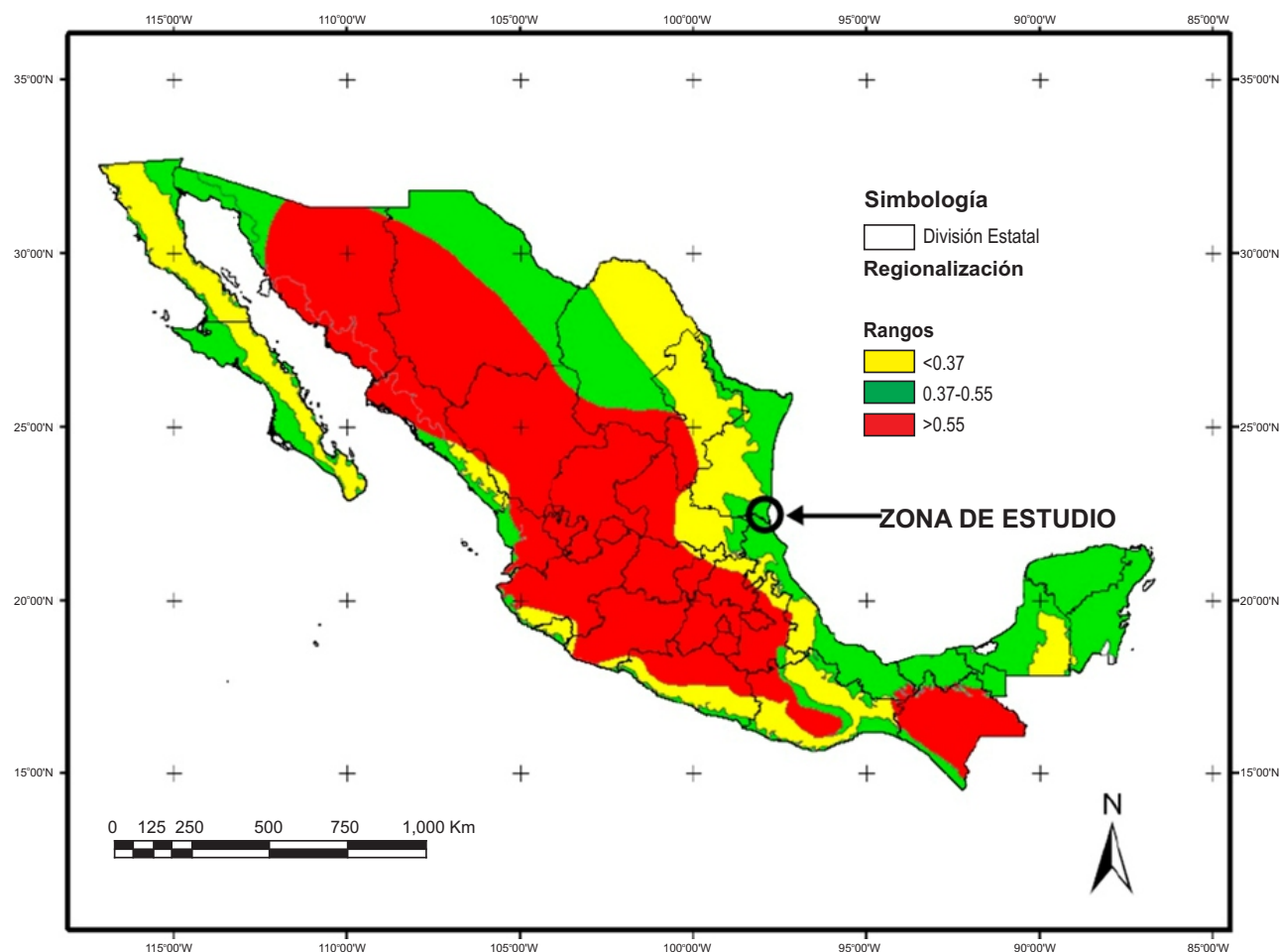


Figura 1. Valores de K para la República Mexicana propuestos por Baeza (2007). La figura se reproduce con autorización escrita del autor, 14 de agosto, 2013).

ecuación de Chen para construir las curvas IDF (intensidad-duración-frecuencia), el cual utiliza información sobre isoyetas de intensidades, así como la hidrométrica disponible en la República Mexicana y lo aplica en más de 50 localidades del país. En 2012 estimó las curvas IDF para la planicie costera de Tabasco mediante un método regional basado en la ecuación de Chen (1983).

En 1975 se publicó el Flood Studies Report (NERC, 1975), que es el resultado de más de cuatro años de estudios realizados por un grupo de especialistas de la Gran Bretaña, pertenecientes a cuatro centros de investigación. En el volumen relativo a la meteorología, se obtuvieron mapas con la precipitación asociada a un periodo de retorno de 5 años para distintas duraciones. Para obtener precipitaciones asociadas a duraciones menores de 2 días, primero se obtuvo la relación r entre la precipitación en 60 minutos y la precipitación en 2 días. A continuación, para cada valor de r se obtuvieron las relaciones que permiten pasar de la precipitación en 60 minutos a la correspondiente a cualquier duración entre 10 minutos y 2 días. Para España, Temes (1978) propuso tomar como base la relación α entre las intensidades de precipitación de 1h y de 1día, y elevarla a la potencia $h = (28^{0.1} - t^{0.1})/0.40$, donde t es la duración en horas.

En los resultados obtenidos por Baeza (2007) se consideran también algunos estudios previos, dentro de los que destaca el de Campos (1990).

En este trabajo, para su aplicación al sur de Tamaulipas, se hace inicialmente la presentación de las ecuaciones conforme fueron concebidas por sus autores y se propone su utilización mediante su ajuste a funciones de distribución de los datos de precipitaciones máximas en 24 horas de las tres estaciones climatológicas de la región. Con el fin de establecer un criterio que sea de utilidad para el diseño de obras hidráulicas urbanas se hacen las comparaciones de sus resultados.

Área de estudio

La zona conurbada del sur de Tamaulipas está formada por los municipios de Tampico, Ciudad Madero y Altamira, ubicados en la margen izquierda de la desembocadura del río Pánuco en el Golfo de México, y las lagunas del Chairel y de Champayán, las cuales reciben las aguas del río Tamesí, afluente del río Pánuco cerca de su desembocadura. En la Figura 2, se muestra la localización de los municipios en el estado de Tamaulipas, con su superficie y elevaciones medias.

Clima

De acuerdo con la clasificación climática de Köpen, el clima predominante en la región es del tipo Sabana Aw. Se caracteriza por ser cálido subhúmedo con lluvias en verano. La temperatura promedio anual es de 24.6° C, alcanzando los 36.8°C en promedio con mínimas promedio de 9.7° C. Los vientos predominantes en otoño e invierno son los denominados “nortes”, mientras que en las otras estaciones del año varían de sur a norte. Por estar la región expuesta a los fenómenos de tipo hidrometeorológico son comunes los ciclones y vientos huracanados, que en más de una ocasión han afectado seriamente a la población. La precipitación anual varía de 789 a 1,044 mm y el mes más lluvioso es julio con valores por arriba de los 1,000 mm.

Esta es una región que se caracteriza por estar rodeada de agua. Al poniente por las los sistemas de lagunas que forma el río Tamesí, la desembocadura del río Pánuco al sur, y el Golfo de México al oriente. Durante las lluvias de verano, las características anteriores hacen que la zona se vea afectada por fuertes inundaciones, que producen encharcamientos en sus avenidas y calles, a tal grado que pueden llegar a inundar amplias zonas habitacionales y comerciales. El desalojo de las aguas pluviales es un problema grave.

MUNICIPIO	SUPERFICIE (km ²)	ELEVACION MEDIA *(m.s.n.m.)
Tampico	68.1	10
Madero	62.86	10
Altamira	1,361.7	28

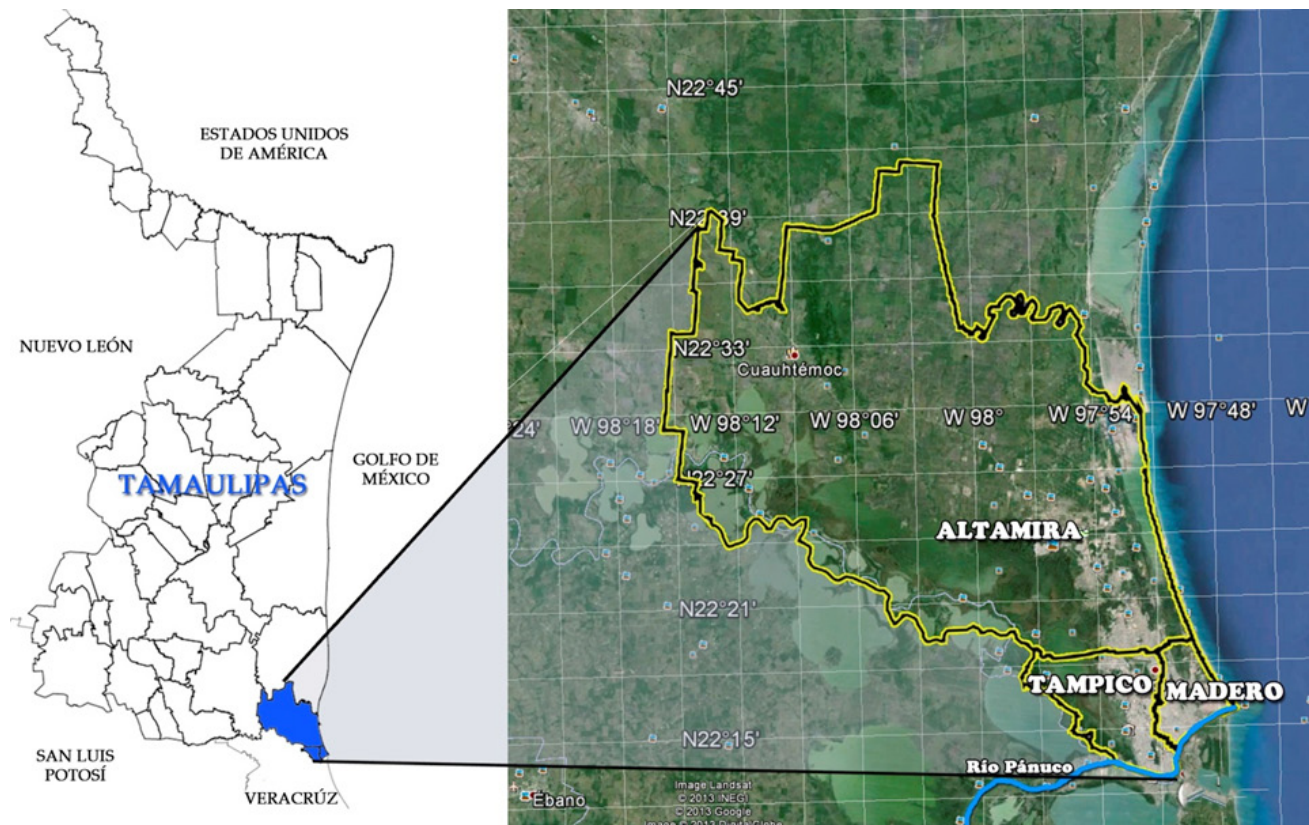


Figura 2. Localización de los Municipios de Tampico-Madero-Altamira.

En la región existen tres estaciones climatológicas para la medición de las precipitaciones pluviales; la estación Tampico, que se ubica en la bocatoma que abastece de agua a un amplio sector de las ciudades de Tampico y Ciudad Madero; la estación Tancol en la VIII Zona Militar de Tampico, y la estación Altamira en el municipio del mismo nombre. La estación Tampico es la que cuenta con una serie de tiempo de datos de precipitación pluvial mayor (50 años) y las restantes alrededor de 30 años. Las coordenadas geográficas de las estaciones son: Tampico: 22°14'19"N/97°52'44"O; Altamira: 22°25'30"N/97°56'42"O; Tancol: 22°17'39"N/97°53'10"O.

El objetivo de este estudio es ajustar las ecuaciones de lluvia generalizadas propuestas por Chen (1983) y por Bell (1969), a las precipitaciones máximas ocurridas en la zona, por ser de gran utilidad para el diseño de drenaje pluvial urbano, entre otras cosas.

Los registros de precipitaciones máximas en 24 horas de cada una de las estaciones climatológicas fueron proporcionados por la Comisión Nacional del Agua, Organismo de Cuenca Golfo Norte, con oficinas ubicadas en Altamira, Tamaulipas. Las estaciones no cuentan con mediciones de precipitaciones máximas en una hora, por lo

que se determinaron conforme a los estudios realizados por Baeza (2007), en donde se estimó el coeficiente K que relaciona la precipitación máxima de una hora con la correspondiente a 24 horas, para la República Mexicana y para el Valle de México (Fig. 1).

Ecuación de Bell

Bell (1969) propuso una fórmula para determinar las curvas Intensidad-Duración-Periodo de retorno, a partir de las lluvias con duraciones hasta de 120 minutos. Esta fórmula permite estimar la altura de lluvia para una cierta duración entre 5 y 120 minutos y periodo de retorno entre 2 y 100 años, si se conoce la altura de lluvia con duración de una hora.

La ecuación es la siguiente:

$$P_T^t = (0.35 \ln T + 0.76) (0.54 t^{0.25} - 0.50) P_2^{60} \quad (\text{Ec. 1})$$

La ecuación es válida para

2 años $\leq T \leq$ 100 años y 5 minutos $\leq t \leq$ 120 minutos

Donde

P_T^t es la precipitación en mm para una duración de t minutos y periodo de retorno de T años;

P_2^{60} es la precipitación en mm para una duración de 60 minutos y periodo de retorno de 2 años;

t es la duración de la lluvia entre 5 y 120 minutos, en minutos;

T es el periodo de retorno en años.

Ecuación de Chen

Chen (1983) propuso una fórmula general para representar la relación intensidad-duración-periodo de retorno, siendo necesario para su aplicación conocer las siguientes relaciones:

o Lámina de lluvia- Duración

$$R = \frac{R_1^T}{R_{24}^T}$$

En donde R_1^T es la precipitación acumulada en una hora y periodo de retorno T y R_{24}^T es la precipitación acumulada en 24 horas y periodo de retorno T.

o Lámina de lluvia-Periodo de retorno

$$X = \frac{R_t^{100}}{R_t^{10}}$$

En donde R_t^{100} es la precipitación en el tiempo t (minutos) y periodo de retorno de 100 años y R_t^{10} es la precipitación en el tiempo t (minutos) y periodo de retorno de 10 años.

La fórmula propuesta por Chen es la siguiente:

$$R_t^T = \frac{a R_1^{10} \log (10^{(2-X)} T^{(X-1)})}{(t+b)^c} \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde

R_1^T es la intensidad de lluvia en mm/hr para un periodo de retorno de T años y una lluvia de t minutos de duración.

a, b, y c, son parámetros que dependen del lugar

y de la relación $\frac{R_1^{10}}{R_{24}^{10}}$, los cuales se determinan por medio del nomograma propuesto por Chen (1983)(Figura 3), o mediante las ecuaciones 3, 4, y 5, o con la Tabla 4 elaborada y propuesta por Domínguez y Franco (2002).

R_1^{10} es la lluvia asociada a 10 años de periodo de retorno y una duración de una hora, en milímetros;

R_{24}^{10} es la lluvia asociada a 10 años de periodo de retorno y 24 horas de duración, en milímetros.

En este trabajo se utilizó el valor de $K = 0.35$ de la Tabla 4, en las ecuaciones 3, 4 y 5 para determinar los valores de a , b y c .

$$a = -2.297536 + 100.0389(R) - 432.5438(R)^2 - 1028.902(R)^4 \quad (Ec.3)$$

$$b = -9.845761 + 96.94864(R) - 341.4349(R)^2 - 598.7461(R)^4 \quad (Ec.4)$$

$$c = -0.06498345 + 5.069294(R) - 16.08111(R)^2 - 20.06288(R)^4 \quad (Ec.5)$$

La ecuación de Chen (1983) es válida para $T > 1$ año y $5 \text{ min} \leq t \leq 24$ horas.

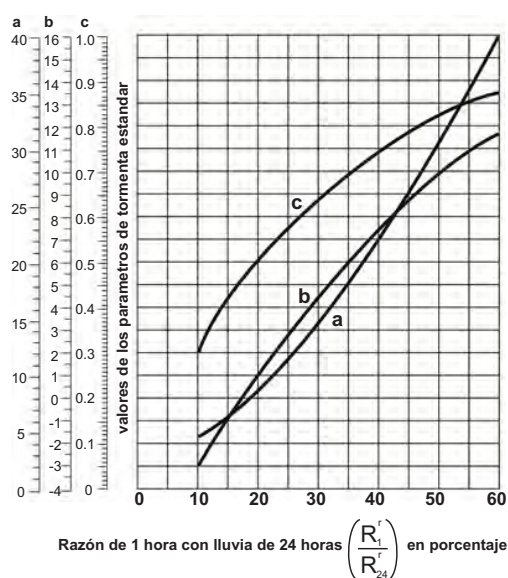


Figura 3. Nomograma de Chen (1983)

Las ecuaciones de Chen (1983) y las ecuaciones de Bell (1969) se pueden separar en factores que tomen en cuenta la duración y el periodo de retorno, como se muestra más adelante.

Aplicaciones

En la Tabla 1, se muestran los registros de lluvia de las estaciones climatológicas de Tampico, Altamira y Tancol, de la Zona Sur del Estado de Tamaulipas.

Tabla 1. Precipitaciones máximas anuales (mm) en 24 horas

Reg.Hidro.26/R.Guayalejo	Tampico	Altamira	Tancol
1960	61.0	-	-
1961	80.0	-	-
1962	184.0	-	-
1963	151.3	-	-
1964	52.3	-	-
1965	59.0	-	-
1966	104.8	-	-
1967	151.4	-	-
1968	54.0	-	-
1969	115.3	-	-
1970	147.8	-	-
1971	78.6	-	-
1972	142.5	-	-
1973	248.2	-	-
1974	167.5	-	-
1975	105.6	-	-
1976	122.0	-	-
1977	243.0	-	-
1978	84.5	-	-
1979	102.7	88.0	90.0
1980	60.5	79.0	76.0
1981	165.9	128.0	293.0
1982	75.5	70.2	76.0
1983	88.5	74.6	79.5
1984	180.0	180.6	230.5
1985	102.9	76.8	83.0
1986	50.1	90.3	52.0
1987	63.8	64.7	100.0
1988	143.5	40.5	94.0
1989	148.5	-	-
1990	193.2	226.0	125.0
1991	150.0	52.2	196.0
1992	141.4	67.5	89.0
1993	118.0	117.6	114.0
1994	105.0	147.7	98.0
1995	69.5	77.2	127.0
1996	98.0	84.9	119.0
1997	151.0	100.3	110.0
1998	93.0	77.0	106.0
1999	105.5	121.0	78.0

Tabla 1. (continuación)

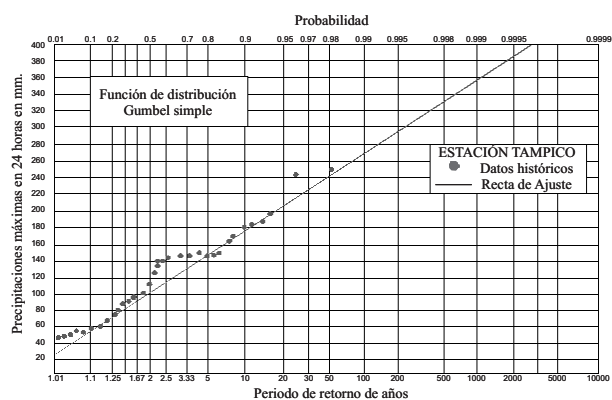
Reg.Hidro.26/R.Guayalejo	Tampico	Altamira	Tancol
2000	140.0	83.0	62.5
2001	150.3	81.8	42.8
2002	89.1	0.0	0.0
2003	108.2	3.0	0.0
2004	133.7	95.0	0.0
2005	94.0	111.5	62.0
2006	83.0	75.5	87.0
2007	140.0	149.2	61.5
2008	194.5	198.7	153.6
2009	68.0	85.1	102.6

Se realizó un ajuste de funciones de distribución de probabilidad para cada una de las estaciones climatológicas. Se encontró que la función de distribución que mejor se ajusta a cada una de las estaciones es Gumbel Simple para las estaciones Tampico y Altamira, Gumbel Doble para la estación Tancol.

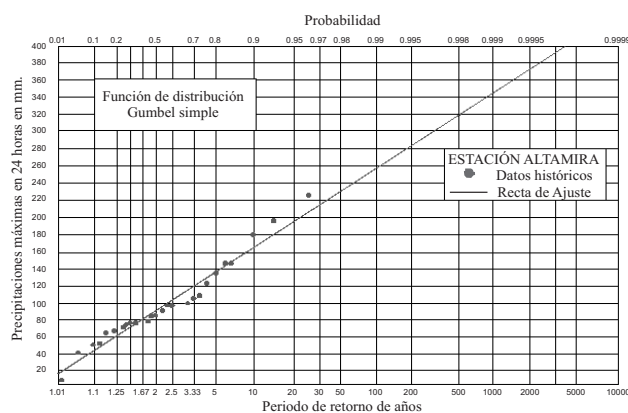
En la Tabla 2, se presentan las precipitaciones máximas en 24 horas, ajustadas para las estaciones en estudio para diferentes periodos de retorno. Las funciones de ajuste se muestran en la Figura 4.

Tabla 2. Precipitaciones máximas anuales en 24 horas ajustadas a funciones de distribución

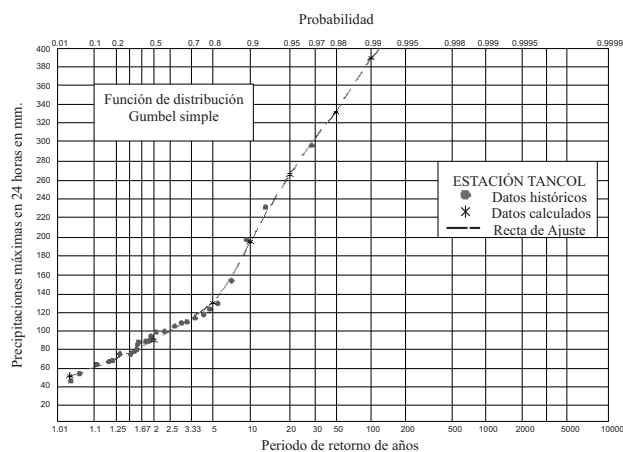
Periodo de retorno	Estación Tampico	Estación Altamira	Estación Tancol
Tr (AÑOS)	F. DISTRIBUCION GUMBEL (24 hrs)	F. DISTRIBUCION GUMBEL(24 hrs)	F. DISTRIBUCION DOBLE GUMBEL(24 hrs)
2	111.400	91.46	90.70
5	154.300	135.64	130.25
10	182.710	164.89	195.51
20	209.970	192.95	262.04
50	245.240	229.27	335.69
100	271.670	256.49	387.68
200	298.010	283.60	438.40
500	332.750	319.38	504.43



a) estación Tampico



b) estación Altamira



c) estación Tancol

Figura 4.- Ajuste de datos de precipitaciones máximas en 24 horas a funciones de distribución Gumbel y Doble Gumbel. a) y b) representan el ajuste de los datos históricos de precipitaciones máximas en 24 horas de las estaciones climatológicas Tampico y Altamira a una función de distribución de una sola población (Gumbel Simple); c) ajuste de los datos históricos de precipitaciones máximas en 24 horas de la estación climatológica Tancol a una función de distribución de dos poblaciones (Gumbel doble).

Análisis para la duración de 24 horas

De acuerdo con la ecuación de Chen, los valores de la precipitación asociados a cualquier periodo de retorno pueden estimarse multiplicando los valores correspondientes a 10 años de periodo de retorno por el factor : $\log (10^{(2-X)} T^{(X-1)})$

En el caso de la estación Tancol, el valor de X es:
 $387.68/195.51 = 1.9829$

De forma que :

$$\log (10^{(2-X)} T^{(X-1)}) = \log(10^{0.0171} T^{0.9829}) = \log (1.04016 T^{0.9829})$$

Para T=2 años, $\log (1.04016 * 1.9764343) = 0.32555$; al multiplicar por el valor de 195.51 correspondiente a $T_r=10$ años (Tabla 2) se obtiene: $0.31298 * 195.51 = 61.19$, que resulta ser mucho menor que el de 90.7 obtenido del ajuste directo con los datos medidos que se muestran en la Tabla 2.

En la Tabla 3 se muestran los valores obtenidos con la ecuación de Chen (1983) y se presenta una comparación con los valores generados mediante el ajuste a funciones de distribución.

Tabla 3.- Precipitaciones máximas anuales en 24 horas en la estación Tancol obtenidas mediante la ecuación de Chen (1983).

Periodo de retorno (años)	Obtenidos con ajuste directo	Obtenidos con la fórmula de chen (1983)
2	90.70	61.1912147
5	130.25	137.662064
10	195.51	195.510029
20	262.04	253.357994
50	335.69	329.828843
100	387.68	387.676808
200	438.40	445.524773
500	504.43	521.995622

En el caso del análisis para la duración de 24 horas, se observa que para los periodos de retorno de 2, 20 y 50 años la fórmula de Chen subestima y para periodos de retorno de 5, 200 y 500 años sobrestima. Esto se debe a que Chen supone un tipo de función de distribución que no en todos los casos corresponde con la realidad, como es el caso de la estación Tancol, cuya función de distribución es una Doble Gumbel.

Se recomienda entonces que para la duración de 24 horas no se utilice la ecuación de Chen, sino que se trabaje con el ajuste directo de la función de distribución más adecuada a cada caso particular.

Análisis para duraciones menores que 24 horas

En la Tabla 4, se presenta la relación de precipitaciones para un periodo de retorno y una duración d, y la precipitación para un periodo de retorno y una lluvia de duración de 60 minutos, para distintos valores del coeficiente K, elaborada por el Instituto de Ingeniería de la UNAM (Domínguez y Franco, 2002).

Tabla 4.- Relación $\frac{P_T^d}{P_T^{60}}$ para diferentes valores de K

No	d (min.)	d (hrs)	K = 0.15	K = 0.20	K = 0.30	K = 0.35	K = 0.40	K = 0.60	K = 0.70
1	5	0.083	0.25	0.27	0.29	0.29	0.29	0.3	0.3
2	10	0.167	0.36	0.4	0.43	0.44	0.45	0.47	0.48
3	15	0.25	0.46	0.49	0.54	0.55	0.56	0.59	0.6
4	30	0.5	0.67	0.7	0.74	0.755	0.77	0.8	0.81
5	60	1	1	1	1	1	1	1	1
6	120	2	1.49	1.41	1.32	1.285	1.25	1.18	1.16
7	240	4	2.23	1.99	1.72	1.625	1.53	1.34	1.3
8	360	6	2.81	2.44	2	1.86	1.72	1.43	1.38
9	480	8	3.32	2.81	2.23	2.045	1.86	1.49	1.43

Los valores de precipitaciones pueden ser generados directamente mediante la relación de $\frac{P_T^d}{P_T^{60}}$ dada en la Tabla 4, con el coeficiente k, sin embargo, también se pueden calcular haciendo uso de las ecuaciones 1 y 2, como se muestra enseguida.

Mediante la ecuación 1, los resultados de su aplicación dependen totalmente de la precipitación en 60 minutos (1 hora) y un periodo de retorno de 2 años y no toman en cuenta las variaciones con relación al periodo de retorno que, como ya se comentó, deben obtenerse de un ajuste directo como el mostrado en la Tabla 2 y en las estaciones de la Figura 4. Entonces, otra forma de usar esta ecuación y que permite incorporar lo obtenido para las precipitaciones máximas en 24 horas, es usar sólo el segundo término entre paréntesis (que depende de la duración) y multiplicarlo por la precipitación de 60 minutos para cada periodo de retorno.

De esta ecuación de Bell se convierte en la siguiente expresión:

$$P_T^t = (0.54 t^{0.25} - 0.50) P_T^{60} \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde

P_T^t es la precipitación en mm para una duración de t minutos y periodo de retorno de T años;

P_2^{60} es la precipitación en mm para una duración de 60 minutos y periodo de retorno de T años;

t es la duración de la lluvia entre 5 y 120 minutos, en minutos, y

T es el periodo de retorno en años.

Ecuación de Chen

Ajustando la ecuación 2 de Chen, conforme a lo obtenido con la función de distribución ajustada para cada estación se tiene:

$$R_t^T = \frac{18.15 P_{24}^T (0.35)}{(t + 5.77)^{0.69}} \left(\frac{t}{60} \right) \quad (\text{Ec. 7})$$

Donde

R_t^T es la precipitación en mm para un periodo de retorno de T años y t minutos de duración.

P_{24}^T es la lluvia asociada a un periodo de retorno T años y 24 horas de duración, en milímetros (Tabla 4).

Los valores de los parámetros a , b y c , se determinan mediante la Figura 3, o las ecuaciones

3, 4 y 5, con la relación $\frac{R_1^{10}}{R_{24}^{10}}$ que en este caso se tomó como 0.35, de acuerdo con los rangos establecidos en la Figura 1.

Ecuación de Bell

Al igual que en el caso de la ecuación 7 de Chen, se puede hacer un ajuste considerando solo las variaciones por la duración y no por el periodo de retorno; es decir, usando el factor:

$$(0.54 t^{0.25} - 0.50) P_T^{60}$$

En donde, como no existen datos para 60 minutos, se usarán los obtenidos con la ecuación 7 de Chen. En la Tabla 5, se presentan los valores de precipitaciones máximas con los obtenidos para 60 minutos mediante la ecuación 7 de Chen para los datos de la estación Tancol.

Una vez obtenidos los valores de precipitaciones para 60 minutos mediante la ecuación 7 de Chen, se usarán estos para el cálculo de precipitaciones para duraciones menores a 24 horas mediante la ecuación 6 de Bell

En el caso del análisis para duraciones menores a 24 horas, se observa que para todos los periodos de retorno, la ecuación de Chen proporciona resultados menores (Tabla 5) que los obtenidos con Bell (Tabla 6). Lo anterior se debe a que no se cuenta con información de registros de precipitaciones para duraciones de 60 minutos y al usar los valores de precipitaciones generados mediante la ecuación 7 de Chen (Tabla 6, segunda columna), los valores resultantes de precipitaciones son menores.

Tabla 5.- Precipitaciones máximas para duraciones hasta de 240 min. obtenidas mediante la Ecuación de Chen en la estación Tancol.

T _R	F. Distribución D. Gumbel (24 Hrs)	Duración en minutos						
		5	10	15	30	60	120	240
2	90.7	9.31	14.32	17.76	24.41	32.07	41.01	51.66
5	130.25	13.38	20.56	25.51	35.06	46.06	58.89	74.19
10	195.51	20.08	30.86	38.28	52.62	69.13	88.40	111.36
20	262.04	26.91	41.37	51.31	70.53	92.66	118.48	149.25
50	335.69	34.47	52.99	65.73	90.35	118.70	151.78	191.20
100	387.68	39.81	61.20	75.92	104.34	137.08	175.28	220.81
200	438.4	45.02	69.21	85.85	117.99	155.02	198.22	249.70
500	504.43	51.80	79.63	98.78	135.77	178.36	228.07	287.30

Tabla 6.- Precipitaciones máximas para duraciones hasta de 240 min. obtenidas mediante la ecuación de 6 de Bell, usando las precipitaciones máximas en 60 minutos obtenidas mediante la ecuación 7 de Chen en la estación Tancol.

T _R	Precipitación Chen 60 min	Duración en minutos						
		5	10	15	30	60	120	240
2	32.07	9.86	14.76	18.05	24.50	32.16	41.28	52.13
5	46.06	14.16	21.20	25.92	35.18	46.19	59.29	74.86
10	69.13	21.26	31.82	38.90	52.80	69.33	88.99	112.37
20	92.66	28.49	42.65	52.14	70.77	92.93	119.27	150.61
50	118.70	36.50	54.63	66.79	90.66	119.04	152.80	192.94
100	137.08	42.15	63.10	77.14	104.70	137.48	176.46	222.82
200	155.02	47.67	71.35	87.23	118.40	155.47	199.55	251.97
500	178.36	54.85	82.10	100.37	136.23	178.88	229.60	289.92

Por lo anterior, bajo el mismo procedimiento, resulta indiferente, para el cálculo de las precipitaciones, el uso de las ecuaciones de Chen o Bell, ya que las diferencias son mínimas, aun tratándose de una función Doble Gumbel como es el caso de la estación Tancol.

Debido a que los valores de precipitaciones en la estación Tampico se ajustan a una función de distribución Gumbel, se hará una comparación de valores determinados con la ecuación de Chen para diferentes duraciones y los calculados con el coeficiente K (calculado y proporcionado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM), para duraciones hasta de 480 minutos, tomando como representativa dicha estación.

Ecuación 7 de Chen

Mediante la ecuación 7, se determinaron las alturas de lluvia para diferentes duraciones y con los resultados se hizo la comparación de los valores de precipitaciones máximas obtenidos mediante el uso del coeficiente K y los de la ecuación 7 de Chen para las tres estaciones. En la Tabla 7, se presentan los resultados para la estación Tampico.

Basándose en esta comparación, se puede ver que los valores de 10 hasta 240 minutos son muy similares, siendo ligeramente mayores los calculados con la ecuación 7 de Chen, lo que incluye los obtenidos para una duración de 1 hora. Mediante esta comparación se ve que los valores obtenidos con el coeficiente K (Tabla 4) con las precipitaciones en 24 horas son ligeramente menores, por lo que los obtenidos mediante la ecuación ajustada de Chen también representan una aproximación. En el caso de los valores de precipitaciones para 360 y 480 minutos, las diferencias se vuelven menores, debido a que la ecuación de Chen fue establecida para precipitaciones hasta de 2 horas. En el caso de las estaciones Altamira y Tancol, las diferencias obtenidas para cada una de las duraciones fueron muy similares.

Ecuación 6 de Bell

Aplicando la ecuación 6 de Bell, se también se hizo una comparación con los valores de precipitaciones máximas obtenidos mediante el uso del coeficiente K para las tres estaciones. En la Tabla 8 se presentan los resultados para la estación Tampico.

A partir de esta tabla comparativa se desprende que los valores de 10 hasta 240 minutos son muy similares y sus diferencias son debidas al ajuste de las funciones de distribución realizado en la Tabla 2. Sin embargo, para una duración de una hora, los resultados obtenidos mediante el coeficiente K con las precipitaciones en 24 horas, son prácticamente iguales, de aquí que los obtenidos con la ecuación 6 de Bell también representan aproximaciones. En el caso de los valores de precipitaciones para 360 y 480 minutos, las diferencias se vuelven menores a la unidad debido a que la ecuación 6 de Bell fue establecida para precipitaciones hasta de 2 horas. En el caso de las estaciones Altamira y Tancol, las diferencias obtenidas fueron muy similares para cada una de las duraciones.

Una vez determinados los valores de las precipitaciones de la Tabla 8, se procedió a determinar las precipitaciones mediante las ecuaciones 6 y 7, para cada una de las estaciones en estudio.

En las tablas 9 y 10, se puede ver que la ecuación 6 de Bell proporciona resultados con valores mayores de precipitaciones para duraciones cortas, hasta de 15 minutos (para todos los periodos de retorno en estudio), y con la ecuación 7 de Chen se obtienen resultados mayores para duraciones de 30 a 480 minutos. Sin embargo, como se mencionó en el análisis para duraciones de 24 hrs, se recomienda que los cálculos de precipitaciones para diferentes periodos de retorno, se realicen mediante cualquier ecuación. Con valores de K de 0.35, los resultados son muy similares. Los casos contrarios ocurren en las zonas altas donde se podrían tener valores de K de 0.60, como en la Ciudad de México.

Tabla 7.- Comparación de las precipitaciones máximas en mm para diferentes duraciones y periodos de retorno en la estación Tampico.

Tr en años	Duración en minutos								
	10(1)	10(2)	(2)/(1)	15(1)	15(2)	(2)/(1)	30(1)	30(2)	(2)/(1)
2	17.16	17.59	1.025	21.44	21.81	1.017	29.44	29.98	1.018
5	23.76	24.36	1.025	29.70	30.22	1.017	40.77	41.53	1.018
10	28.14	28.84	1.025	35.17	35.78	1.017	48.28	49.18	1.018
20	32.34	33.15	1.025	40.42	41.12	1.017	55.48	56.51	1.018
50	37.77	38.72	1.025	47.21	48.02	1.017	64.80	66.01	1.018
100	41.84	42.89	1.025	52.30	53.20	1.017	71.79	73.12	1.018
200	45.89	47.05	1.025	57.37	58.36	1.017	78.75	80.21	1.018
500	51.24	52.53	1.025	64.05	65.16	1.017	87.93	89.56	1.018

Tr en años	Duración en minutos								
	60(1)	60(2)	(2)/(1)	120(1)	120(2)	(2)/(1)	240(1)	240(2)	(2)/(1)
2	38.99	39.39	1.010	50.10	50.19	1.002	63.36	63.45	1.002
5	54.01	54.56	1.010	69.40	69.52	1.002	87.76	87.88	1.002
10	63.95	64.61	1.010	82.17	82.32	1.002	103.92	104.06	1.002
20	73.49	74.24	1.010	94.43	94.60	1.002	119.42	119.59	1.002
50	85.83	86.72	1.010	110.30	110.49	1.002	139.48	139.68	1.002
100	95.08	96.06	1.010	122.18	122.40	1.002	154.51	154.73	1.002
200	104.30	105.38	1.010	134.03	134.27	1.002	169.49	169.74	1.002
500	116.46	117.66	1.010	149.65	149.92	1.002	189.25	189.52	1.002

Tr en años	Duración en minutos					
	360(1)	360(2)	(2)/(1)	480(1)	480(2)	(2)/(1)
2	72.52	72.34	0.997	79.73	79.30	0.995
5	100.45	100.20	0.997	110.44	109.84	0.995
10	118.94	118.64	0.997	130.77	130.07	0.995
20	136.69	136.35	0.997	150.29	149.47	0.995
50	159.65	159.25	0.997	175.53	174.58	0.995
100	176.86	176.41	0.997	194.45	193.39	0.995
200	194.00	193.51	0.997	213.30	212.14	0.995
500	216.62	216.07	0.997	238.17	236.87	0.995

(1) Valores obtenidos con el coeficiente K=0.35.

(2) Valores obtenidos mediante la ecuación de Chen.

Tabla 8.- Comparación de las precipitaciones máximas en mm para diferentes duraciones y periodos de retorno en la estación Tampico

Tr en años	Duración en minutos								
	10(1)	10(2)	(2)/(1)	15(1)	15(2)	(2)/(1)	30(1)	30(2)	(2)/(1)
2	17.16	17.95	1.05	21.44	21.94	1.02	29.44	29.78	1.01
5	23.76	24.86	1.05	29.70	30.39	1.02	40.77	41.25	1.01
10	28.14	29.43	1.05	35.17	35.99	1.02	48.28	48.84	1.01
20	32.34	33.83	1.05	40.42	41.35	1.02	55.48	56.13	1.01
50	37.77	39.51	1.05	47.21	48.30	1.02	64.80	65.56	1.01
100	41.84	43.77	1.05	52.30	53.51	1.02	71.79	72.62	1.01
200	45.89	48.01	1.05	57.37	58.69	1.02	78.75	79.67	1.01
500	51.24	53.60	1.05	64.05	65.54	1.02	87.93	88.95	1.01

Tr en años	Duración en minutos								
	60(1)	60(2)	(2)/(1)	120(1)	120(2)	(2)/(1)	240(1)	240(2)	(2)/(1)
2	38.99	39.10	1.00	50.10	50.19	1.00	63.36	63.38	1.00
5	54.01	54.16	1.00	69.40	69.52	1.00	87.76	87.78	1.00
10	63.95	64.13	1.00	82.17	82.32	1.00	103.92	103.94	1.00
20	73.49	73.70	1.00	94.43	94.60	1.00	119.42	119.45	1.00
50	85.83	86.08	1.00	110.30	110.49	1.00	139.48	139.52	1.00
100	95.08	95.36	1.00	122.18	122.40	1.00	154.51	154.55	1.00
200	104.30	104.61	1.00	134.03	134.27	1.00	169.49	169.54	1.00
500	116.46	116.80	1.00	149.65	149.92	1.00	189.25	189.30	1.00

Tr en años	Duración en minutos					
	360(1)	360(2)	(2)/(1)	480(1)	480(2)	(2)/(1)
2	72.52	72.22	0.9958	72.52	79.73	0.9915
5	100.45	100.03	0.9958	100.45	110.44	0.9915
10	118.94	118.44	0.9958	118.94	130.77	0.9915
20	136.69	136.12	0.9958	136.69	150.29	0.9915
50	159.65	158.98	0.9958	159.65	175.53	0.9915
100	176.86	176.11	0.9958	176.86	194.45	0.9915
200	194.00	193.19	0.9958	194.00	213.30	0.9915
500	216.62	215.71	0.9958	216.62	238.17	0.9915

(1) Valores obtenidos con el coeficiente K=0.35.

(2) Valores obtenidos mediante la ecuación de Bell.

Tabla 9.- Precipitaciones máximas en mm para duraciones de 10 a 120 min

Tr en años	Duración en minutos									
	10(1)	10(2)	15(1)	15(2)	30(1)	30(2)	60(1)	60(2)	120(1)	120(2)
estación Tampico										
2	17.59	17.95	21.81	21.94	29.98	29.78	39.39	39.10	50.37	50.19
5	24.36	24.86	30.22	30.39	41.53	41.25	54.56	54.16	69.76	69.52
10	28.84	29.43	35.78	35.99	49.18	48.84	64.61	64.13	82.61	82.32
20	33.15	33.83	41.12	41.35	56.51	56.13	74.24	73.70	94.93	94.60
50	38.72	39.51	48.02	48.30	66.01	65.56	86.72	86.08	110.88	110.49
100	42.89	43.77	53.20	53.51	73.12	72.62	96.06	95.36	122.83	122.40
200	47.05	48.01	58.36	58.69	80.21	79.67	105.38	104.61	134.74	134.27
500	52.53	53.60	65.16	65.54	89.56	88.95	117.66	116.80	150.45	149.92

Tr en años	Duración en minutos									
	10(1)	10(2)	15(1)	15(2)	30(1)	30(2)	60(1)	60(2)	120(1)	120(2)
estación Altamira										
2	14.44	14.73	17.91	18.01	24.62	24.45	32.34	32.10	41.35	41.21
5	21.41	21.85	26.56	26.71	36.51	36.26	47.96	47.61	61.33	61.11
10	26.03	26.56	32.29	32.48	44.38	44.08	58.30	57.88	74.55	74.29
20	30.46	31.08	37.78	38.00	51.93	51.58	68.23	67.73	87.24	86.93
50	36.19	36.93	44.90	45.16	61.71	61.29	81.07	80.48	103.66	103.30
100	40.49	41.32	50.23	50.52	69.03	68.57	90.69	90.03	115.97	115.56
200	44.77	45.69	55.53	55.86	76.33	75.81	100.28	99.55	128.23	127.77
500	50.42	51.45	62.54	62.90	85.96	85.38	112.93	112.11	144.40	143.89

Tr en años	Duración en minutos									
	10(1)	10(2)	15(1)	15(2)	30(1)	30(2)	60(1)	60(2)	120(1)	120(2)
estación Tancol										
2	14.32	14.61	17.76	17.86	24.41	24.25	32.07	31.84	41.01	40.86
5	20.56	20.98	25.51	25.65	35.06	34.82	46.06	45.72	58.89	58.68
10	30.86	31.50	38.28	38.51	52.62	52.27	69.13	68.63	88.40	88.09
20	41.37	42.21	51.31	51.61	70.53	70.05	92.66	91.98	118.48	118.06
50	52.99	54.08	65.73	66.11	90.35	89.74	118.70	117.83	151.78	151.24
100	61.20	62.45	75.92	76.35	104.34	103.64	137.08	136.08	175.28	174.67
200	69.21	70.62	85.85	86.34	117.99	117.20	155.02	153.89	198.22	197.52
500	79.63	81.26	98.78	99.35	135.77	134.85	178.36	177.06	228.07	227.27

Ecuaciones de chen (1) y Bell (2)

Tabla 10.-Tabla comparativa de las precipitaciones máximas en mm para duraciones de 240 a 480 min

Tr en años	Duración en minutos					
	240(1)	240 (2)	360(1)	360(2)	480(1)	480(2)
estación Tampico						
2	63.45	63.38	72.34	72.22	79.30	79.06
5	87.88	87.78	100.20	100.03	109.84	109.50
10	104.06	103.94	118.64	118.44	130.07	129.66
20	119.59	119.45	136.35	136.12	149.47	149.01
50	139.68	139.52	159.25	158.98	174.58	174.04
100	154.73	154.55	176.41	176.11	193.39	192.79
200	169.74	169.54	193.51	193.19	212.14	211.48
500	189.52	189.30	216.07	215.71	236.87	236.14

Tr en años	Duración en minutos					
	240(1)	240 (2)	360(1)	360(2)	480(1)	480(2)
estación Altamira						
2	52.09	52.03	59.29	59.39	65.11	64.91
5	77.26	77.17	87.93	88.08	96.56	96.26
10	93.92	93.81	106.89	107.07	117.38	117.01
20	109.90	109.77	125.08	125.29	137.35	136.93
50	130.58	130.43	148.63	148.88	163.21	162.70
100	146.09	145.92	166.27	166.55	182.59	182.02
200	161.53	161.34	183.85	184.16	201.89	201.26
500	181.91	181.70	207.04	207.39	227.36	226.65

Tr en años	Duración en minutos					
	240(1)	240 (2)	360(1)	360(2)	480(1)	480(2)
estación Tancol						
2	51.66	51.60	58.90	58.80	65.11	64.37
5	74.19	74.10	84.58	84.44	96.56	92.43
10	111.36	111.23	126.96	126.74	117.38	138.74
20	149.25	149.08	170.16	169.87	137.35	185.96
50	191.20	190.97	217.98	217.62	163.21	238.22
100	220.81	220.55	251.74	251.32	182.59	275.12
200	249.70	249.41	284.68	284.20	201.89	311.11
500	287.30	286.97	327.55	327.00	227.36	357.97

Ecuaciones de chen ajustada (1) y Bell (2)

Discusión y conclusiones

En este artículo se usaron tanto las ecuaciones de Chen como las de Bell, ajustándolas para las lluvias máximas regionales en la zona conurbada del sur del Estado de Tamaulipas y se muestran los resultados aplicados para diferentes duraciones. El problema principal en la utilización de las ecuaciones como fueron concebidas por sus autores, consiste en la obtención de las precipitaciones máximas para una hora de duración. Dado que actualmente es cada vez más difícil obtener registros de pluviogramas para tormentas representativas en diferentes regiones de la República Mexicana, también es más frecuente el uso de registros de pluviómetros con los cuales se obtienen precipitaciones máximas en 24 horas. Sin embargo, no existen suficientes modelos numéricos que permitan, a partir de precipitaciones máximas, obtener intensidades para el diseño de las obras pluviales, como es el caso de las ecuaciones presentadas en este trabajo.

Para obtener las precipitaciones para una hora de duración, Domínguez y Franco (2002), propusieron un coeficiente K mediante un análisis regional para obtener precipitaciones asociadas a duraciones menores a 2 horas que permite, a partir de precipitaciones máximas en 24 horas, obtener las precipitaciones representativas para una hora de duración (Figura 1).

Por otro lado, aplicar tanto las ecuaciones de Bell como las de Chen tal y como fueron concebidas, conlleva a errores de apreciación y de valoración, debido a que no toman en cuenta las variaciones de los datos con relación al periodo de retorno, las cuales pueden medirse al ajustar estas ecuaciones a funciones de distribución. En la Tabla 2 se presentan los resultados del ajuste para las tres estaciones climatológicas en estudio.

Para valorar las diferencias existentes al calcular las precipitaciones con el coeficiente K y las ecuaciones ajustadas, se determinó

primeramente con un análisis para 24 horas de duración en la estación Tancol, pues en esta estación se tiene una función de distribución Doble Gumbel.

Los valores de precipitaciones para diferentes periodos de retorno se muestran en Tabla 2, en donde se observa que para periodos de retorno pequeños, la ecuación de Chen subestima y para periodos grandes sobrestima, como es el caso de la estación Tancol cuya función de distribución es Doble Gumbel.

Para duraciones menores a 24 horas, en el caso de la ecuación de Bell, se determinaron las precipitaciones pero, como no se cuenta con información de lluvias para una hora de duración, se utilizaron las calculadas mediante la ecuación 7 de Chen (Tabla 5). En el caso del análisis para duraciones menores a 24 horas, (Tabla 6) se observa que para todos los periodos de retorno, la ecuación 7 de Chen proporciona resultados menores que los obtenidos con la ecuación 6 de Bell. Lo anterior se debe a que no se cuenta con información para duraciones de 60 minutos y al usar la ecuación 7 de Chen, los valores resultantes de precipitaciones son muy similares.

También se efectuó el cálculo de las precipitaciones mediante las ecuaciones 3 y 4 con el coeficiente K para diferentes duraciones, con sus correspondientes variaciones para cada una de las duraciones establecidas de 10 a 480 minutos. En las tablas 7 y 8 se presentan, para la estación Tampico, los resultados obtenidos para esta condición utilizando la ecuación 7 de Chen (Tabla 7) y la 6 de Bell (Tabla 8).

De estos resultados se concluye que con ambas ecuaciones se obtienen valores muy similares para duraciones de 10 a 240 minutos, siendo sus diferencias debidas al ajuste a funciones de distribución de la Tabla 2. Para una hora de duración los resultados obtenidos con el coeficiente K son ligeramente más bajos, por lo

que se concluye que los valores obtenidos con las ecuaciones de Chen y de Bell también representan aproximaciones. En el caso de duraciones de 360 y 480 minutos las diferencias disminuyen, lo cual se debe a que ambas ecuaciones fueron establecidas para duraciones hasta de dos horas. Con los resultados obtenidos por medio de ambas ecuaciones, se calcularon las precipitaciones para las tres estaciones, Tampico, Altamira y Tancol (tablas 9 y 10). Estos resultados muestran que la ecuación 6 de Bell proporciona valores mayores de precipitaciones para duraciones cortas, hasta de 15 minutos (para todos los periodos de retorno en estudio), mientras que la ecuación 7 de Chen lo hace para duraciones de 30 a 480 minutos.

En el análisis para duraciones de 24 hrs, se recomienda que los cálculos de precipitaciones para diferentes periodos de retorno, se realicen mediante la función de distribución que mejor se ajuste a los datos del registro, ya que si no se cuenta con registros para una hora de duración, es necesario recurrir a resultados regionales, como los mostrados en la Figura 1 de Baeza (2007). Hay, además, diferencias entre lo que se obtiene con la ecuación 7 de Chen y con la 6 de Bell que, en este caso en particular, son pequeñas debido a que el valor de K es de 0.35. Sin embargo, estas podrían ser mayores para valores de K pequeños (0.25), o muy grandes (0.60).

Como se ha mostrado, la base para la aplicación de las ecuaciones de Bell y de Chen, consiste en la determinación de las precipitaciones para una hora de duración. Para obtenerla, se requiere de pluviogramas para elaborar las curvas para el cálculo de precipitaciones e intensidades de corta duración. En caso de no contar con ellos, el método propuesto por el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, a partir de lluvias máximas en 24 hrs, constituye una herramienta útil, sencilla y confiable.

Se recomienda que para el estudio de cualquier región de la República Mexicana se examinen las

precipitaciones con duración de 24 hrs cuando no haya registros con duración de una hora. Es conveniente determinar si ambas ecuaciones se ajustan a los datos del registro de precipitaciones; de no ser así, conviene realizar el ajuste a funciones de distribución y utilizar la que mejor se ajuste.

Al hacer la comparación entre la ecuación 6 de Bell y la 7 de Chen, se observa que son muy similares, por lo que se puede utilizar cualquiera para el cálculo de precipitaciones e intensidades en esta región de México, aunque sean un poco mayores usando la ecuación 6 de Bell. En otras regiones de la República Mexicana los resultados no siempre son los mismos, por lo que no se deben extrapolar, sino hacer el análisis para cada caso en particular.

Una recomendación final es la de analizar en la cuenca que se esté estudiando, las duraciones con base en los periodos de retorno y tiempos de concentración y, con base en ello, aplicar una u otra ecuación. Alternativamente, para el diseño de las obras de infraestructura pluvial, se puede utilizar la función de distribución que mejor se ajuste, de forma que las precipitaciones e intensidades resultantes permitan obtener un volumen de escurrimiento mayor mediante cualquiera de las ecuaciones que involucran la relación lluvia-escurrimiento.

Agradecimientos

A la Lic. Concepción E. Tamayo Rubio de la Asociación Mexicana de Hidráulica del Sur de Tamaulipas, por su colaboración y comentarios en la elaboración de este trabajo.

A la M.I. Gabriela Esquivel Garduño por la revisión crítica de este trabajo.

A la Comisión Nacional del Agua, Dirección General, Organismo de Cuenca Golfo Norte,

por haber proporcionado la información sobre precipitaciones máximas en 24 horas de las estaciones climatológicas que se citan en este estudio.

Al Dr. Rafael Hernández Walls, por sus sugerencias y comentarios en la revisión de este artículo.

Al Dr. Luis A. Delgado Argote, editor de la revista GEOS, por sus observaciones y sugerencias en la revisión de este artículo.

Referencias

- Baeza, R. C. (2007). Estimación regional de factores de convectividad para el cálculo de relaciones intensidad-duración-frecuencia. Tesis de Maestría. Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería, UNAM. 37 pp.
- Bell, F. C. (1969). Generalized rainfall duration-frequency relationships. Journal of the Hydraulics Division. Proc. papers 6357, 95(HY1), 311-327.
- Campos, A.D. (1990). Procedimiento para obtener curvas I-D-T a partir de registros pluviométricos. Ingeniería Hidráulica en México, 5(2), 39-52.
- Chen, C.I. (1983). Rainfall intensity-duration-frequency formulas. Journal of the Hydraulics Division, 109(12), 1603-1621.
- Domínguez, R. y Franco C. (2002). Análisis regional para la obtención de precipitaciones de diseño asociadas a duraciones menores de 2 h. Memorias del XX Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Ciudad de la Habana, Cuba, pp.234-241.
- Pereyra-Díaz, D, Ochoa-Martínez, C.A. Y Pérez-Sesma, J.A.A. (2005). Ecuaciones de lluvia intensa generalizada para obtener precipitaciones máximas de corta duración. GEOS, 25(2), 340-351.
- Campos, A.D. (2008). Intensidades máximas de lluvia para diseño hidrológico urbano en la república mexicana. Ingeniería, Investigación y Tecnología 11(002), 179-188.
- Campos, A.D. (2012) . Contraste de un método regional de estimación de curvas IDF en la planicie costera de Tabasco, México. Agrociencia, 46, 637-649.
- Natural Environment Research Council. (1975). Flood Studies Report. 5 v. London.
- Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo de España. Dirección General de Carreteras. (1990). Instrucción 5.2-IC de drenaje superficial. Recuperado de: <http://www.fomento.es/NR/rdonlyres/2482CE5B-4577-4E8D-81CF-C5E18DA53679/55854/0610100.pdf>

Recibido: 13 noviembre de 2012

Recibido corregido por el autor: 27 de agosto de 2013

Aceptación: 4 de septiembre de 2013

Postnóstico (pronóstico hecho a posteriori) del sismo del 11 de octubre de 2013 en Venezuela, mediante análisis de semiperiodicidad

Quinteros, Claudia B.^{1,2} y F. Alejandro Nava¹

¹Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, Baja California, División de Ciencias de la Tierra.

Departamento de Sismología

²Departamento de Geofísica FUNVISIS, Venezuela

Email: cquinter@cicese.mx

Email: fnava@cicese.mx

Resumen

Un reciente método para buscar secuencias de sismos mediante análisis espectral de Fourier aplicado a la serie de tiempos de ocurrencia de sismos ocurridos en el noreste de Venezuela, desde 1922 hasta inicio del 2013, permitió identificar una secuencia semiperiódica de 6 eventos con periodicidad $\tau_p \approx 14.4$ años, error $\sigma \approx 1.525$ años y probabilidad de ocurrencia no aleatoria $P_c \approx 0.8$, lo que resulta en un postnóstico (pronóstico hecho a posteriori) muy acertado para el sismo ocurrido el 11 de octubre de 2013 cercano a la costa oriental de Venezuela.

Palabras clave: Pronóstico sísmico, semiperiodicidad, Venezuela

Introducción

Una interpretación simplista del modelo del rebote elástico (Reid *et al.*, 1940) puede sugerir que los grandes sismos deben ocurrir de manera periódica; sin embargo, dicho modelo utilizado como kernel de un sistema críticamente autorregulado resulta en secuencias semiperiódicas de grandes sismos, mientras que los sismos pequeños ocurren en forma esencialmente aleatoria.

La mayor parte de los estudios que pretenden identificar secuencias semiperiódicas asumen que todos los eventos grandes ocurridos en una región sismogénica dada son producto del mismo proceso semiperiódico, pero es necesario considerar la posibilidad de que en dicha región ocurra más de un proceso semiperiódico, por lo que la serie de eventos observada puede contener eventos de más de una secuencia, así como eventos que no pertenezcan a alguna secuencia identificable. Con base en esta consideración, Nava *et al.* (2013) proponen un método para

identificar secuencias semiperiódicas mediante el análisis espectral (analítico) de Fourier y lo aplican a la región de Parkfield, California, USA. Quinteros *et al.* (2013) aplican dicho método a regiones de Japón y Venezuela. En cada caso, se logró identificar una o más secuencias semiperiódicas con alta probabilidad de no ocurrir por azar, y además, los postnósticos del último sismo de cada secuencia identificada, resultaron coherentes al coincidir con sismos ya ocurridos.

A tan sólo meses de la publicación de estos estudios, el 11 de octubre de 2013 ocurrió un sismo cercano a la costa oriental de Venezuela, de magnitud M_w 5.6 según Funvisis ó 6.1 según el USGS. Este sismo no había sido pronosticado por Quinteros *et al.* (2013) pues su análisis estuvo enfocado a la búsqueda de secuencias con tiempos interevento relativamente largos, combinando datos instrumentales con datos históricos, y la heterogeneidad de dichos datos precluía

obtener secuencias con tiempos inetervento cortos. Por tal motivo, surgió la curiosidad de aplicar nuevamente el análisis, utilizando ahora únicamente datos instrumentales homogéneos para ver si el método podía identificar una secuencia asociada con el nuevo sismo.

Método

El método propuesto por Nava *et al.* (2013) consiste en la identificación de componentes semiperiódicas en el espectro analítico de Fourier de las series observadas de eventos cuyas magnitudes son iguales o mayores que una magnitud umbral dada y Quinteros *et al.* (2013), proponen una manera de disminuir los posibles efectos negativos de eliminar eventos con magnitudes menores que el umbral dada la incertidumbre usual ($\approx \pm 0.1$) en la estimación de magnitudes. El análisis utiliza solamente eventos grandes, pues son los apropiados para presentar comportamiento semiperiódico y los de interés desde el punto de vista de peligro sísmico. Por tanto, la magnitud umbral se escoge, por prueba y error, de mayor a menor, de manera que la series estudiadas contengan suficientes sismos para llevar a cabo el análisis, pero no tantos como para que las secuencias identificadas tengan alta probabilidad de ser debidas al azar.

Para identificar secuencias, tras elegir un pico espectral, se construye un “peine” periódico a partir del periodo y de la fase correspondientes, se descartan los eventos que están demasiado lejos de los “dientes” del peine y el proceso se repite (4 veces), utilizando criterios de aceptación cada vez más severos, hasta identificar la secuencia constituida por los sismos que mejor ajustan al peine. Si, en cualquier paso, no hay eventos que ajusten algún diente, entonces se descarta el periodo del peine como posible base de semiperiodicidad. El tiempo de ocurrencia del próximo sismo de la secuencia, es estimado por el tiempo correspondiente al próximo diente del peine.

A partir del error cuadrático entre eventos y peine se estima qué tan grande es la variación aleatoria causante de la semiperiodicidad, se establecen límites de confianza para el tiempo pronosticado y se estima la probabilidad de que el peine haya ocurrido al azar P_ϕ . La probabilidad de que no haya ocurrido al azar, $P_c = 1 - P_\phi$ es una medida de qué tan significativo es el pronóstico.

Sismicidad y datos

La región de interés, mostrada en la Figura 1, abarca el noreste de Venezuela, en donde la actividad sísmica se encuentra bien definida principalmente sobre el sistema de fallas transcurrentes de El Pilar (Beltrán *et al.*, 1995). Esta zona de fallamiento es el resultado de la interacción tectónica entre la Placa Caribe y la Placa Suramericana. La actividad sísmica en esta región es mayormente superficial, aunque puede alcanzar cerca de los 120 km de profundidad (Sobiesiak *et al.*, 2005). Se caracteriza por ser moderada, con alta tasa de microsismicidad ($M \leq 3$) y eventos de magnitud intermedia (entre 3 y 5). Sin embargo, han ocurrido grandes sismos en esta región ($M \geq 6$) que, aunque no son tan frecuentes, son motivo de estudios en busca de la mitigación de riesgos, debido a los daños significativos que éstos han causado.

El catálogo sísmico de la región es el resultado de la recopilación de información de diferentes agencias, que ha realizado Funvisis, integrada con la información que ellos generan mediante el monitoreo de la Red Nacional Sismológica de Venezuela, en conjunto con redes sismológicas del Caribe y algunas estaciones de la Red Mundial.

La ventana de tiempo analizada en este estudio, determinada por la consideración de que el catálogo sea completo y homogéneo, abarca desde 1922.00 hasta 2013.00, con 20 sismos de magnitud $M \geq 5.7$ (Tabla 1).

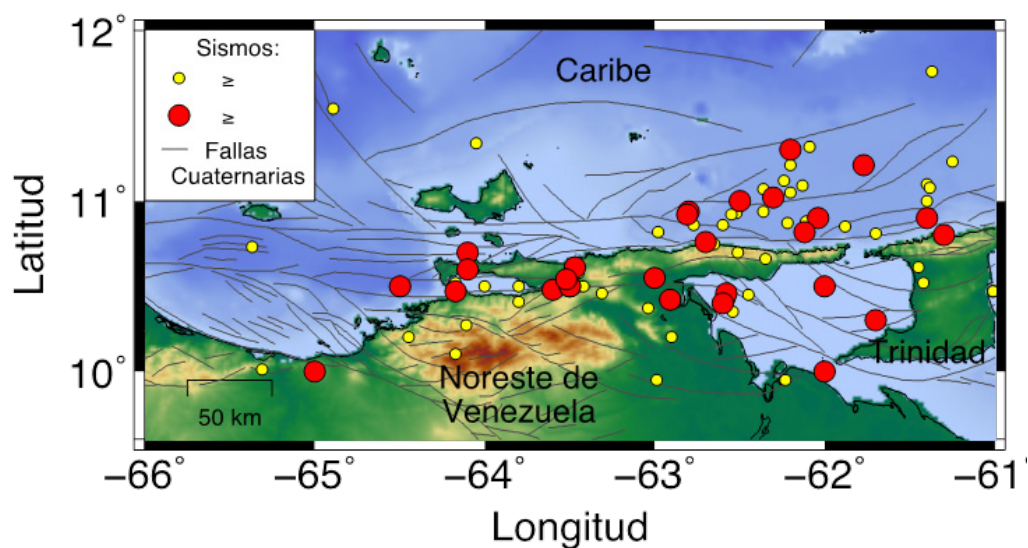


Figura 1. Mapa del noreste de Venezuela. La sismicidad representada es de magnitud $M \geq 5$, ocurrida entre los años 1530-2013.

Tabla 1. Sismos del catálogo de la región NW de Venezuela, $M \geq 5.7$.

Número	Año	M
1	1923.6014	6.5
2	1926.0851	6.5
3	1929.0452	6.9
4	1935.2738	6.5
5	1942.3451	6.0
6	1945.9763	6.5
7	1954.9254	6.3
8	1957.7521	6.1
9	1957.7568	6.7
10	1957.9827	5.9
11	1962.9900	6.1
12	1963.5322	6.3
13	1965.8586	5.8
14	1968.7193	6.2
15	1974.4457	5.7
16	1983.1828	5.9
17	1986.4427	5.9
18	1997.5200	6.9
19	2000.7585	5.9
20	2006.7440	6.1

Resultados

Fueron realizados varios análisis para diferentes magnitudes umbral M_o . Para $M_o \geq 6$ no hubo suficientes eventos para el análisis. Para $M_o = 5.9, 5.8$ y 5.7 se encontró una misma secuencia conformada por los seis eventos: 3, 5, 8, 14, 17 y 19 de la Tabla 1, con período, tiempo pronosticado y error cuadrático casi idénticos y con probabilidades de no-aleatoriedad muy parecidas.

Como ejemplo de dichos análisis mostramos el de la serie de $N=20$ eventos que ocurren

durante un intervalo $T=91$ años [1922.0-2013.0], correspondiente a $M_o = 5.7$. La Figura 2 muestra los cuatro pases del análisis; el primer pase incluye todos los eventos de la serie, y en cada pase se descartan los sismos que no ajustan al peine hasta que en el cuarto pase se considera únicamente los sismos mejor ajustados a la secuencia semiperiódica del paso previo. El análisis identificó una secuencia conformada por seis eventos (tabla 1), que tienen periodo $\tau_p=14.4$ años y error rms $\sigma=1.525$ años. La probabilidad de no aleatoriedad de esta secuencia es $P_c=0.836$.

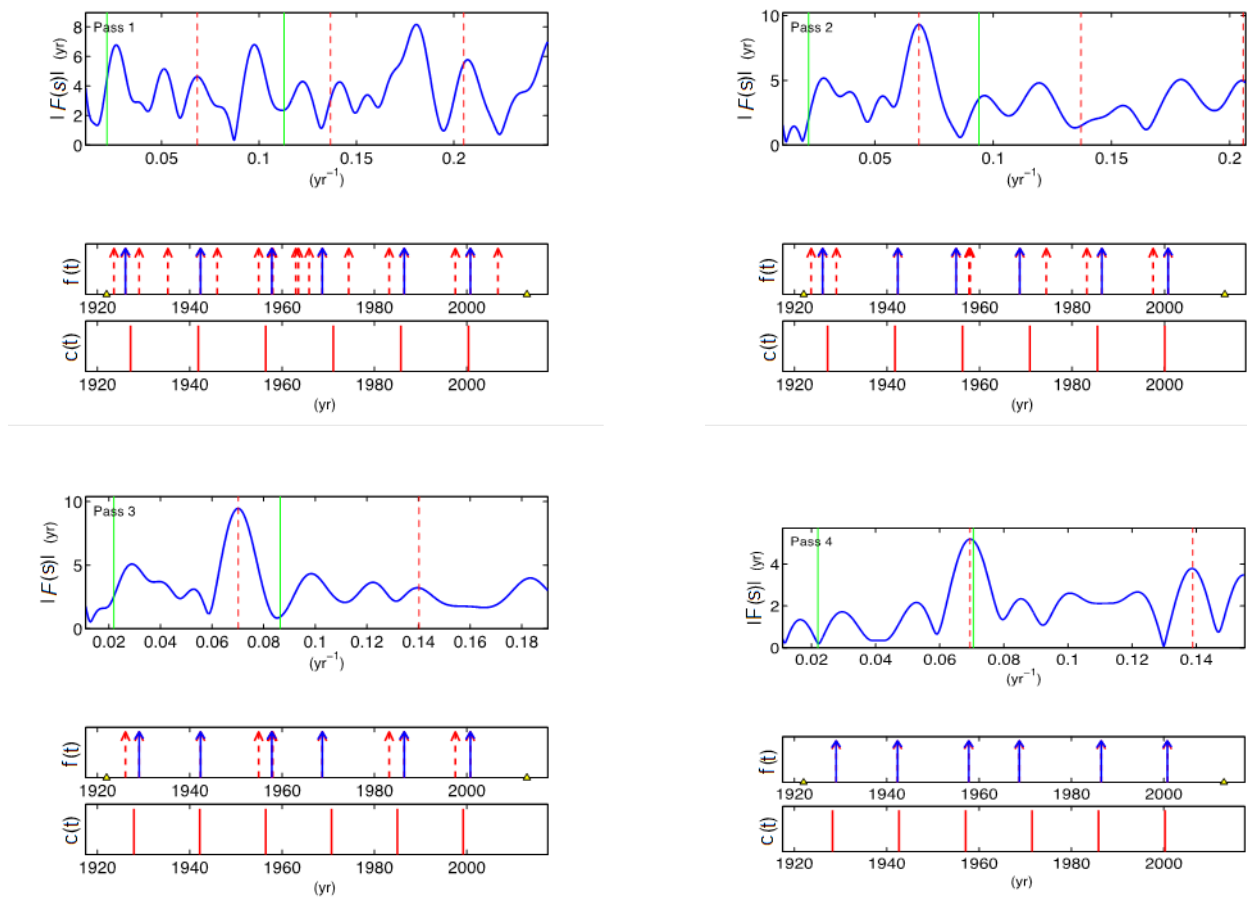


Figura 2. Primer pase (superior izquierda), segundo pase (superior derecha), tercer pase (inferior izquierda) y cuarto pase (inferior derecha) del análisis espectral, en donde se identifica la secuencia semiperiódica con frecuencia y múltiplos de ésta indicados por las líneas punteadas; bajo los espectros se muestran los eventos utilizados (flechas, con línea continua aquellos eventos identificados con los dientes del peine) y el peine determinado del espectro (líneas verticales rojas).

El pronóstico del tiempo de ocurrencia del próximo evento de la secuencia es $t=2014.670 \pm 3.050$, con intervalo de incertidumbre correspondiente a 2σ (95.45%) de confianza. La Figura 3 muestra el postnóstico del análisis; la fecha postnósticada se muestra como una línea punteada y la curva (roja) centrada en ella, mostrada en las dos gráficas superiores, es la distribución de densidad de probabilidad de ocurrencia suponiendo distribución normal para las variaciones aleatorias normalizada para tener área total P_c . El tiempo de ocurrencia del sismo del pasado 11 de octubre de 2013 está indicado por una flecha con línea discontinua que muestra lo cercano que está del tiempo postnósticado.

La probabilidad de que el sismo postnósticado ocurriera en un intervalo de $\pm 2\sigma$ centrado sobre el tiempo del postnóstico (figura 3), es $P_{cq}=0.79$, y representa una ganancia de probabilidad de 1.24 con respecto a la probabilidad Poissoniana durante el mismo intervalo.

Conclusiones y discusión

La aplicación del método y las técnicas propuestos en Nava *et al.* (2013) y Quinteros *et al.* (2013), resulta en un postnóstico muy acertado para el sismo del pasado 11 de octubre en Venezuela. El postnóstico es bastante robusto, pues da esencialmente los mismos resultados para magnitudes umbral de 5.7, 5.8 y 5.9. Las probabilidades de no aleatoriedad correspondientes son 0.836, 0.869 y 0.903, respectivamente.

En las aplicaciones mencionadas aquí y en las mostradas en las referencias recién citadas, el método ha dado postnósticos muy acertados, pero es necesario enfatizar que los pronósticos que puedan ser hechos mediante este método están sujetos a que las suposiciones explícitas e implícitas en el mismo sean correctas. Además, aún si dichas suposiciones son correctas, es necesario tomar en cuenta las incertidumbres propias de los catálogos sísmicos, que pueden ser factores importantes para la confiabilidad de los resultados.

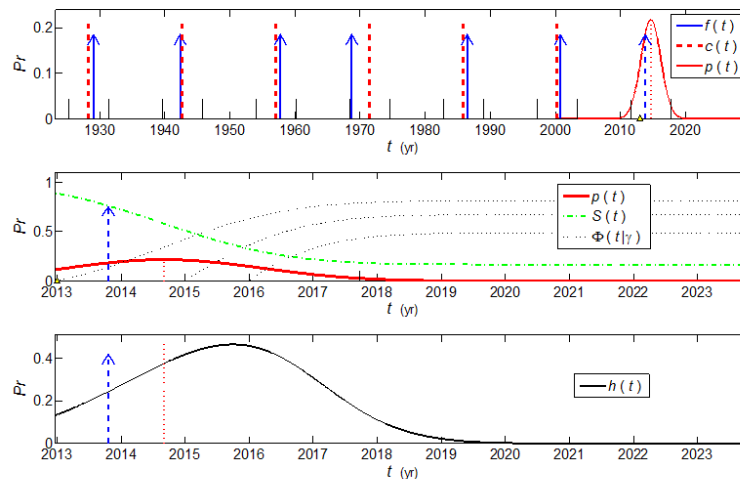


Figura 3. Postnóstico para $M_0 = 5.7$. La gráfica superior representa los eventos de la secuencia semiperiódica $f(t)$, los dientes del peine $c(t)$ y la función de densidad de probabilidad (pdf) del evento postnósticado $p(t)$ normalizada para tener área total P_c . El triángulo amarillo indica el tiempo final de la serie (2013.0). En la gráfica de la mitad, se muestra una vista ampliada de $p(t)$ y el tiempo de ocurrencia del sismo (flecha), junto con la función de supervivencia $S(t)$ y la función de tiempo de vida futura $\phi(t | \gamma)$ para varios valores de γ . En la gráfica inferior, se muestra la función de peligro $h(t)$.

Agradecimientos

Nuestro agradecimiento al editor de GEOS y a los dos árbitros anónimos. Este estudio fue financiado parcialmente por la beca 242919 de Conacyt (C.Quinteros), y es adjunto al proyecto CGL2011-29474-C01-01.

Referencias

- Beltrán, C., Singer, A. and Rodriguez, J.A. (1996). The El Pilar fault active trace (northeastern Venezuela): neotectonic evidences and paleoseismic data, Third ISAG, St Malo, pp 153–156.
- Nava, F., Quinteros, C., Glowacka, E. and Frez, J. (2013). Semi-periodic sequences and extraneous events in earthquake forecasting: I. Theory and method, parkfield application. Pure and Applied Geophysics. doi:10.1007/s00024-013-0679-5
- Quinteros, C., Nava, F., Glowacka, E. and Frez, J. (2013). Semi-periodic sequences and extraneous events in earthquake forecasting II: Application, forecasts for Japan and Venezuela. Pure and Applied Geophysics. doi:10.1007/s00024-013-0678-6
- Sobiesiak, M., Alvarado, L. (2005). Recent seismicity in northeastern Venezuela and tectonic implications. Revista de la Facultad de Ingeniería, UCV, 20(4), 75-84.

Recepción del manuscrito: 28 de octubre de 2013.

Recepción del manuscrito corregido: 6 de diciembre de 2013.

Aceptación: 6 de diciembre de 2013.

La fórmula del calentamiento global y la XVIII Olimpiada de Ciencias de la Tierra

Gómez Treviño, Enrique
egomez@cicese.mx

División de Ciencias de la Tierra, CICESE, Ensenada, Baja California

Presentación

¿Existe una receta segura para hacer que una fórmula se haga popular? La fórmula que más ha trascendido del mundo de la ciencia a la cultura popular es $E=mc^2$. Tal vez esto se deba a su relación con la bomba atómica porque, con toda seguridad, no es porque todo el mundo comprenda la teoría de la relatividad de Einstein. La fórmula con la que Arrhenius predijo el calentamiento global se publicó unos diez años antes que la de Einstein y no tuvo la misma suerte, pues pasó casi inadvertida por medio siglo. Aún hoy día que se tienen confirmaciones de su predicción la fórmula no es muy conocida. Y sin embargo, debería de serlo. La fórmula es extremadamente simple, tomando en cuenta que representa fenómenos muy complejos. En su forma más simple, la temperatura de la Tierra se expresa en términos de una sola variable ϵ , la absorción de la atmósfera a los rayos infrarrojos.

Una de las razones por las que la fórmula debería ser mucho más popular es que todos estamos en ella, están también nuestros abuelos y demás antepasados de los últimos dos siglos, e incluso estarán muchas de las próximas generaciones. Y es que el corazón de las invenciones que dieron lugar a la revolución industrial, es y sigue siendo la quema de combustibles fósiles. Primero carbón mineral, luego petróleo y gas. Fósiles significa que se formaron hace muchos millones de años y que si bien son productos de la Tierra misma, sus átomos estaban enterrados y fuera de circulación desde entonces. Al quemar estos combustibles para utilizar su energía estamos poniendo en circulación mucho más bióxido de carbono del que la Tierra puede absorber en el corto plazo en forma natural, mediante la fotosíntesis y otros procesos. El resultado es la acumulación de bióxido de carbono en la atmósfera más allá de lo que se tenía en la era preindustrial, hace apenas 250 años. ¿Las consecuencias? Pues de eso se ocupa la fórmula de Arrhenius. Más detalles se pueden leer más abajo en la guía para la olimpiada y en las preguntas del examen. Y como estamos en la era del “amor a la camiseta”, imprimimos la fórmula en las camisetas alusivas a la XVIII Olimpiada para difundirla por lo menos entre los lectores obsesivos de camisetas.

Asistieron estudiantes de preparatorias de los municipios de Mexicali, Tijuana, Rosarito y Ensenada. El examen inició a las 10:07 AM y terminó a las 12:07 PM. El recorrido por los diferentes laboratorios de la División se realizó en pequeños grupos de hasta diez estudiantes conforme iban saliendo del examen. La comida se sirvió entre la 1:00 y 2:30 PM y la premiación se llevó a cabo entre las 2:30 y 3:00 PM. Jordán Israel Díaz Álvarez, estudiante del plantel COBACH Rosarito obtuvo el primer lugar. Su asesor fue el maestro José Antemio Cázarez Ibarra. El segundo y el tercer lugar lo obtuvieron Liubove Orlov Savko y Martha Ornelas Medina, respectivamente, ambas estudiantes del Centro Educativo Patria en Ensenada, bajo la asesoría de la maestra Rita Guevara.

La fórmula del Calentamiento Global: Guía para la XVIII Olimpiada de Ciencias de la Tierra para estudiantes de preparatoria de Baja California. Viernes 31 de mayo de 2013. Auditorio de Ciencias de la Tierra. CICESE. Ensenada, Baja California.

Introducción

Recordarán que en la XVI olimpiada abordamos el personaje de Aristarco de Samos, quien hace más de dos mil años aplicó teoremas de geometría al sistema Sol-Tierra-Luna, y planteó, casi dos mil años antes que Copérnico, que la Tierra gira alrededor del Sol. Los conocimientos de geometría que Aristarco utilizó ya existían en su tiempo. Se podría decir que todo estaba listo para que alguien diera el gran salto de aplicar esos conocimientos a los objetos del cielo. Esa fue la gran contribución de Aristarco. Algo parecido sucedió hace poco más de cien años con el sistema Tierra-Sol, pero ya no en relación con distancias y tamaños porque eso ya se sabía, sino sobre cómo es que el Sol calienta a la Tierra. Esta vez el gran salto lo realizó Arrhenius, un científico sueco que en 1903 recibió el Premio Nobel por sus descubrimientos sobre electrólisis. Svante August Arrhenius trabajó en muchas áreas de la ciencia, aplicando nuevos conocimientos para explicar el origen y comportamiento de los cometas, así como en teorías sobre el origen de la vida en la Tierra. El artículo en el que predice el calentamiento global debido al aumento de bióxido de carbono en la atmósfera lo publicó en 1896.

Las nuevas preguntas de la XVIII olimpiada girarán en torno de Arrhenius, particularmente sobre su predicción del calentamiento global. Como en el caso de Aristarco en su tiempo, todo estaba listo para que a finales del siglo XIX alguien diera el gran paso. Y el gran paso lo dio Arrhenius en 1896. Para ello utilizó descubrimientos clave realizados antes que él por otros científicos, pues en el siglo XIX se realizaron muchísimos descubrimientos que ahora forman parte de la cultura general. Por

ejemplo, que el aire está compuesto por varios gases que ahora llamamos nitrógeno, oxígeno, etc. Esto no se sabía desde siempre, alguien tuvo que descubrirlo porque era algo que estaba “cubierto” o escondido, nadie lo sabía. Lo mismo sucedía con el bióxido de carbono; alguien tuvo que descubrir que existía en el aire y en qué proporción. Una vez que sus elementos se pudieron aislar en una botella se dedicaron a estudiar sus diferentes propiedades. Entre los numerosos experimentos se encontraban los relacionados con la transparencia de los gases a la luz de diferentes colores incluyendo la infrarroja, la cual no se ve pero se sienten sus efectos. A esta luz también se le conoce como rayos infrarrojos o rayos de calor.

La fórmula

En el caso del bióxido de carbono, se encontró que es un gas que absorbe luz infrarroja. Esta luz la había estudiado Herschel en 1800 y para mediados del siglo XIX podía utilizarse en experimentos. En 1859 Tyndall descubrió que el vapor de agua, el bióxido de carbono y el ozono absorbían esta luz invisible. Lo que hizo Arrhenius fue sintetizar o juntar estos y otros descubrimientos en un modelo muy simple, que le permitió predecir el calentamiento global al aumentar el bióxido de carbono en la atmósfera. La idea en esta olimpiada es que ustedes puedan llegar a calcular el calentamiento global si así lo desean. En términos concretos, aquí está la fórmula que resume la predicción de Arrhenius:

$$T_s = \left(\frac{1}{1 - \varepsilon/2} \right)^{\frac{1}{4}} 255^\circ K. \quad (1)$$

La fórmula es muy simple considerando que resume fenómenos muy complejos. La variable T_s es la temperatura promedio en la superficie de la Tierra y ε es una variable que caracteriza la absorción de luz infrarroja por la atmósfera.

Si $\varepsilon=0$, la atmósfera no absorbe luz infrarroja, o sea que es completamente transparente. Si $\varepsilon=1$, la atmósfera absorbe toda la luz infrarroja que le llega, o sea que es completamente opaca. En general tendremos que $0 \leq \varepsilon \leq 1$. Y esto es todo. Ya pueden ustedes predecir el calentamiento global. O casi, porque falta lo más importante: comprender lo que significa la fórmula.

“Otra” fórmula

Como se pueden dar cuenta, se trata de una ecuación con una sola variable independiente, la absorción de la atmósfera ε . Conociendo esta cantidad podemos calcular fácilmente la temperatura de la superficie de la Tierra T_s . Como todas las fórmulas, ésta también funciona al revés. Despejando ε tendremos que

$$\varepsilon = 2 \left(1 - \left(\frac{255}{T_s} \right)^4 \right) \quad (2)$$

Ahora la variable independiente es T_s . Podemos calcular la absorción de la atmósfera si conocemos la temperatura promedio de la Tierra. Por si acaso, les recordamos que la ecuación (2) es la misma que la ecuación (1). Parecen diferentes pero son una y la misma ecuación. Si todavía no saben despejar, pues es tiempo de aprender: pregunten, pregunten y pregunten. Cuando dominen la técnica se sentirán como un mago que desaparece cosas de un lugar y las hace aparecer en otro. Esta puede ser la gran oportunidad que les deparaba el destino para acercarse a las matemáticas. No hallarán otra fórmula que sea tan simple y que a la vez tenga tanta importancia para el futuro de la humanidad. Ni siquiera la famosa fórmula de Einstein $E=mc^2$.

Fórmula empírica vs modelo matemático

Otra observación sobre la fórmula de Arrhenius es que no se trata de una ecuación empírica. Esto es, que no se obtuvo midiendo temperaturas de la Tierra variando la absorción de la atmósfera. Esto es imposible por la escala del planeta. Además, aunque fuera posible, sería muy peligroso porque todos los habitantes de la Tierra podríamos terminar quemados o congelados. Para estos casos en los que no se puede experimentar directamente, los científicos han inventado los modelos matemáticos de procesos físicos. La ecuación (1) es el modelo matemático y el proceso físico es el calentamiento de la Tierra. Con la fórmula podemos experimentar todo lo que queramos sin correr ningún peligro.

Hagamos la prueba. Veamos cuál es la predicción para el caso en que la atmósfera es completamente transparente. Esto es, cuando $\varepsilon=0$. Resulta que $T_s=255^\circ\text{K}$, lo que equivale a -18°C . Esto quiere decir que si la atmósfera no tuviera bióxido de carbono, todo en la Tierra estaría congelado. Sabemos que actualmente la temperatura promedio de la Tierra es de 15°C y que con esta temperatura estamos más o menos bien. Veamos ahora cual es la predicción para una atmósfera completamente opaca a la luz infrarroja, o sea cuando $\varepsilon=1$. El resultado es $T_s=303^\circ\text{K}$, lo que equivale a 30°C . En grados centígrados esto es el doble de la temperatura real de 15°C . En otras palabras, si la atmósfera fuera completamente opaca a la luz infrarroja entonces tendríamos demasiado calor. Como conclusión podemos decir que la atmósfera no es completamente transparente ni completamente opaca, sino que debe tener una absorción intermedia como $\varepsilon=0.5$. Para averiguarlo podríamos sustituir este valor en la fórmula (1) y comparar el resultado con el valor real de 15°C . Si aún obtenemos una temperatura menor a la real podríamos intentarlo de nuevo aumentando la absorción de la atmósfera hasta tener éxito.

Sin embargo, seguramente ya se dieron cuenta del juego y que el camino más corto para llegar al objetivo es utilizar la formula inversa (2). Sustituyendo $T_s=15^\circ\text{C}=288^\circ\text{K}$, en grados Kelvin, obtenemos $\epsilon=0.78$.

El modelo físico

Todo lo anterior está muy bien en cuanto a utilizar la fórmula para calcular cantidades de interés. Sin embargo, no es suficiente para comprender bien la fórmula. Es necesario también comprender cómo la fórmula se acopla al sistema físico que está representando. Lo primero que hay que aclarar es que el Sol, a su temperatura, emite y envía a la Tierra principalmente luz visible, y que para esta luz la atmósfera es prácticamente transparente, por lo que no hay obstáculos para la entrada de energía. Con todo y que no hay obstáculos, esta energía no es suficiente para calentar la superficie de la Tierra a la temperatura que tiene. El refuerzo proviene del obstáculo en la salida para los rayos de calor que emite la Tierra. La variable ϵ se refiere a la absorción de los rayos de calor que salen de la Tierra hacia el espacio. La Tierra, a su temperatura, emite solamente rayos de calor invisibles. Esto se muestra gráficamente en la Figura 1

La historia no termina aquí. Arrhenius utilizó tres leyes de la física que ya eran conocidas en su tiempo. Una de ellas es la ley de Kirchhoff de la radiación térmica, la cual establece que en un objeto en equilibrio térmico la absorción es igual a la emisión. Aplicada a la atmósfera, esta ley implica que la energía que se absorbe se vuelve a emitir. La atmósfera la emite tanto hacia el espacio exterior como de regreso a la Tierra, lo cual hace que la Tierra se caliente más que si no tuviera atmósfera. Así, sin más preámbulos, éste es el famoso efecto invernadero del planeta Tierra. En sí, se trata de un fenómeno altamente beneficioso para la vida porque hace que la temperatura promedio sea de 15°C . Sin el efecto invernadero esta temperatura sería de -18°C . Imagínense la Tierra sin el efecto invernadero. Por cierto, los invernaderos donde se cultivan plantas funcionan de otra manera: simplemente no dejan que el aire caliente ascienda y se escape. Ni el vidrio ni el plástico absorben luz infrarroja. Las otras dos leyes físicas que utilizó Arrhenius son la ley de la conservación de la energía y la ley de Stefan–Boltzmann. Con estas leyes formuló un sistema de dos ecuaciones lineales con dos incógnitas, como los que se resuelven en los cursos de álgebra. La solución para una de las variables es la fórmula (1). Hacia el final de esta guía encontrarán una derivación más simple que la que está en Wikipedia.

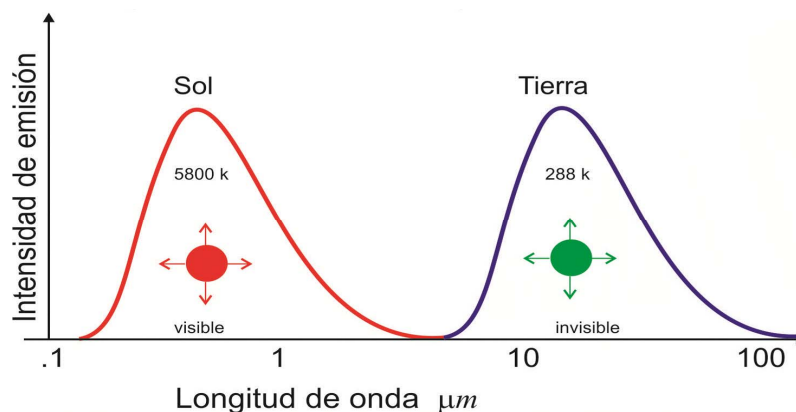


Figura 1. Radiación de energía hacia el espacio

Origen de la temperatura mínima

La fórmula (1) tiene el factor numérico de 255° K. Encontrarán en sus búsquedas que a este factor lo llaman temperatura de emisión o temperatura planetaria efectiva T_e y se calcula como

$$T_e = \sigma^{-\frac{1}{4}} \left[\left(\frac{S_0}{4} \right) (1 - \alpha_p) \right]^{\frac{1}{4}} \text{°K} . \quad (3)$$

La constante $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$ se conoce como la constante de Stefan-Boltzmann que relaciona temperatura con energía en la ley del mismo nombre. La siguiente constante $S_0 = 1376 \text{ Wm}^{-2}$ tiene unidades de energía por metro cuadrado por segundo y se conoce como la constante solar para el planeta Tierra. Numéricamente corresponde a los Watts por metro cuadrado que recibe la Tierra en el ecuador. La tercera constante es $\alpha_p = 0.3$, el albedo de la Tierra como planeta. Su valor indica que 30% de la luz visible que nos llega del Sol se refleja hacia el espacio exterior, por lo que solamente una proporción de $(1 - \alpha_p)$ calienta el planeta. En sus consultas en internet encontrarán invariablemente que nadie

utiliza la constante S_0 como tal, sino $S_0/4$. ¿Por qué la cuarta parte? Otro comentario de interés es que sólo σ es una verdadera constante de la naturaleza. Tanto S_0 como α_p pueden cambiar con el tiempo y afectar la temperatura de la Tierra. En el primer caso porque la actividad del Sol puede variar, y en el segundo porque el albedo depende de muchos factores tales como el promedio de nubosidad y la extensión de la capa de hielo en los polos.

En la Figura 2 se muestran los diferentes aspectos del efecto invernadero, desde la energía de entrada hasta la que emite la superficie de la Tierra. El calentamiento lo inicia el Sol con el 70% de la energía que nos llega, y se ve reforzado con 45% que emite la atmósfera hacia abajo a consecuencia de la absorción. El bióxido de carbono en la atmósfera actúa como el aislante que se instala en algunas casas. Sin embargo, hay una gran diferencia: reforzar el aislamiento de una casa no causará mayor problema a sus habitantes, al contrario, entre más aislamiento mejor, pero en el caso de la atmósfera las cosas son diferentes.

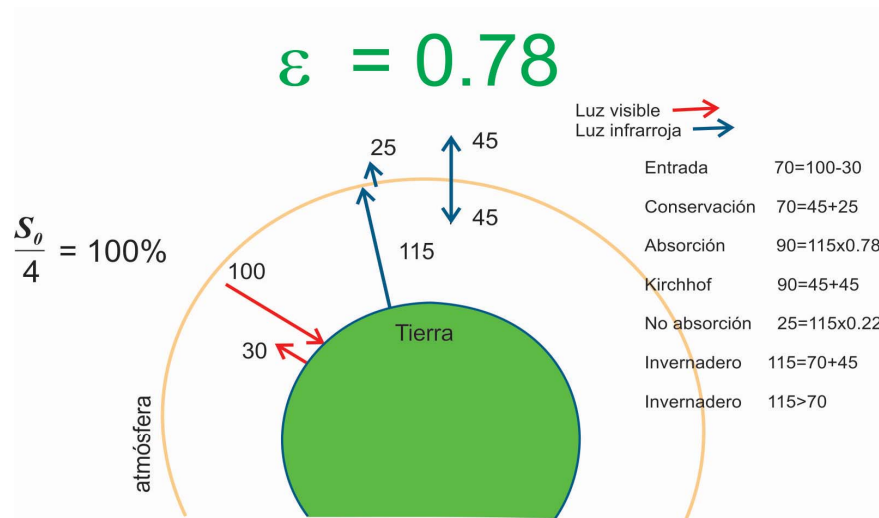


Figura 2. Balance de energía

El sobre-calentamiento global

Ahora sí estamos más o menos listos para comprender el fenómeno que trae de cabeza a científicos, presidentes de países y ciudadanos del mundo preocupados por el calentamiento global y sus consecuencias. Como vimos anteriormente, el calentamiento global es en sí un fenómeno que beneficia a todos los organismos vivos. Si no existiera el calentamiento global la vida en la Tierra probablemente no existiría, excepto tal vez alrededor de los volcanes submarinos. Lo que está pasando es que el bióxido de carbono está aumentando en la atmósfera, de 280 partes por millón en la era preindustrial a 391 actualmente, en gran parte atribuible a la quema de combustibles fósiles como carbón, petróleo y gas. Arrhenius utilizó la ecuación (1) para calcular el aumento de temperatura suponiendo que la concentración de bióxido de carbono fuera de 560 partes por millón, o sea el doble de lo normal en el pasado, o un aumento de 100%. Actualmente se estima que con esto la absorción

de la atmósfera aumentaría en una cantidad de 0.02, o sea de 0.78 a 0.80, por lo tanto la temperatura aumentaría de 288.5 a 289.7 grados Kelvin. Esto es, 1.2 grados. Otro aumento de 0.02 lo incluyen por el efecto de realimentación, porque a mayor temperatura se incrementará el vapor de agua en la atmósfera, lo que se estima que aumentaría la absorción de la atmósfera a 0.82. En este caso la temperatura promedio sería de 291.0 grados Kelvin. Esto es, un aumento de 2.5 grados sobre la temperatura normal. Esto no parece mucho pero en realidad es bastante. El bióxido de carbono apenas ha aumentado un 40% y ya hay desaparición de glaciares, así como huracanes y tornados más violentos.

En la Figura 3 se muestra el balance de energías para este caso. Se puede observar que la entrada y salida de energía de la Tierra como planeta es la misma que anteriormente (70%), pero en el cambio se acumuló más energía en la Tierra (119 vs 115).

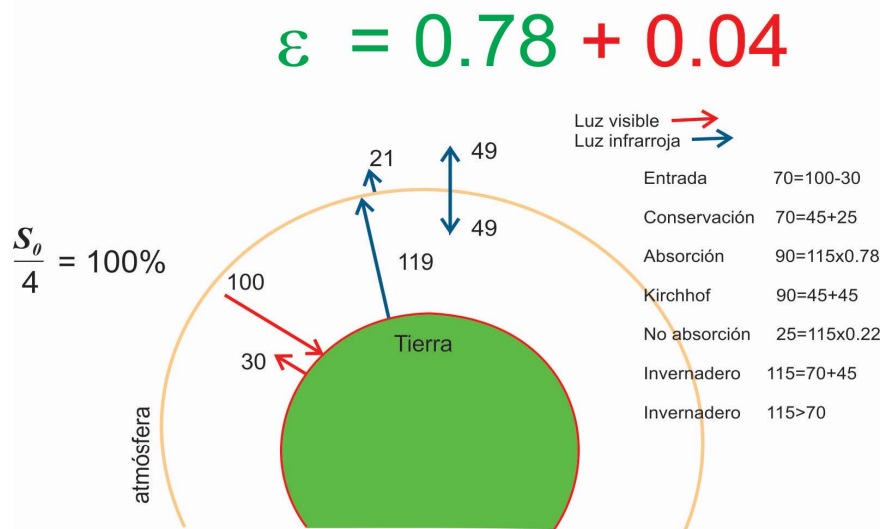


Figura 3. Balance de energía

Podemos modificar la ecuación (1) para enfatizar que en realidad se trata de un sobrecalentamiento desde un estado normal y saludable con absorción ϵ a otro con $\epsilon + \Delta\epsilon$, donde el incremento $\Delta\epsilon$ es el que estaría causando problemas. La ecuación es

$$T_s = \left(\frac{1}{1 - (\epsilon + \Delta\epsilon)/2} \right)^{1/4} 255^\circ\text{K} \quad (4)$$

Como el color rojo evoca calor, T_s y $+\Delta\epsilon$ están en rojo. La temperatura mínima 255°K está en azul para evocar frío y la absorción normal ϵ en verde para evocar un ecosistema saludable. La Figura 4 es una representación gráfica de la ecuación en donde se incluyen algunos puntos de interés.

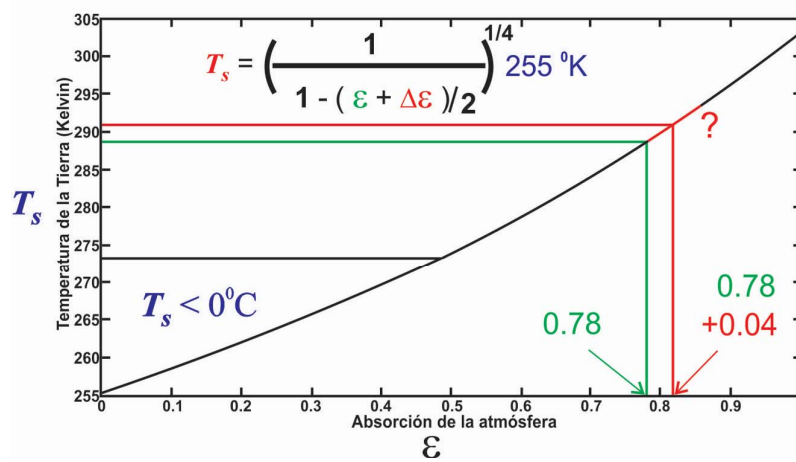


Figura 4. Fórmula del calentamiento global

Pesimismo vs optimismo

Pesimismo.- En la Fig. 4 el signo de interrogación representa incertidumbres relacionadas con efectos de realimentación. Por ejemplo, el aumento de temperatura provocará que aumente el vapor de agua en la atmósfera, lo cual hará que aumente más su absorción, porque según se mencionó el vapor de agua también absorbe luz infrarroja. Entonces, con más vapor mayor aumento en la temperatura y a mayor temperatura todavía más vapor. Esto se conoce como realimentación positiva. Si el fenómeno no se controla se llega a lo que llaman efecto invernadero desbocado, o sea que la temperatura aumenta, aumenta y aumenta sin medida.

Optimismo.- Sin embargo, como vimos en la pasada olimpiada sobre Gaia, también existe la realimentación negativa. Si hay más vapor en la atmósfera se podrán formar también más nubes, las cuales reflejarán más luz del Sol al espacio, aumentando el albedo α_p . Entonces, la temperatura de la Tierra tendería a disminuir. ¿Habría qué incluir éste efecto en la fórmula?

Para los que quieren más

La ecuación (1) predice la temperatura promedio de la Tierra mediante una sola variable, la absorción ϵ de la atmósfera a la luz infrarroja. Este es el efecto principal que determina la temperatura. Sin embargo, como vimos en la ecuación (3), hay otras dos variables que podrían ser importantes, la energía que nos llega del Sol S_0 , y el albedo de la Tierra α_p . Se podrían hacer gráficas variando estas cantidades y estudiar cómo cambia la temperatura. Nos daríamos cuenta que la temperatura de la Tierra es muy frágil. Por esta razón existen propuestas y experimentos para reducir ϵ , aumentar α_p e incluso para reducir S_0 . Se necesitan ideas.

La ley de Stefan-Boltzmann establece que la energía por metro cuadrado por segundo que emite un objeto a una temperatura T viene dada como $E=\sigma T^4$. La fórmula (1) se puede obtener fácilmente aplicando conservación de energía en la superficie de la Tierra. En la Figura (2) la igualdad de invernadero $115=70+45$ significa que la energía que sale de la Tierra (115) es igual a la que llega a la Tierra desde el Sol (70) y desde la atmósfera (45). En términos de la ley de Stefan-Boltzmann, $115=\sigma T_s^4$, $70=(S_0/4)(1-\alpha_p)$ y $45=1/2 \epsilon \sigma T_s^4$. En esta última ecuación el factor de un medio expresa que sólo la mitad de la energía que se absorbe en la atmósfera se recibe en la superficie de la Tierra. La otra mitad se pierde en el espacio. En estos términos

$$\sigma T_s^4 = \left(\frac{S_0}{4}\right)(1 - \alpha_p) + \frac{1}{2} \epsilon \sigma T_s^4. \quad (5)$$

Despejando para T_s se obtiene la fórmula (1), donde el factor 255°K está dado por la ecuación (3).

Recomendación

Lean esta guía varias veces. No es un tema fácil pero es muy importante. Descifren las figuras. Con lápiz y papel hagan los despejes. Discutan entre ustedes y con sus maestros. Vean en YouTube videos al respecto, etc.

El examen

Como siempre, en total serán 100 preguntas. Sobre el presente tema de La Fórmula del Calentamiento Global serán 25 preguntas. Estas 25 preguntas tendrán un valor de 3 puntos cada una para un valor total de 75 puntos. Sobre Gaia serán 20 (XVII olimpiada), sobre Aristarco de Samos (XVI olimpiada) serán 30, sobre Rayos y Centellas (XV) serán 25. Las preguntas nuevas serán sobre el presente tema, así como en la XVII fueron nuevas aquellas sobre Gaia, en la XVI las de Aristarco de Samos, y en la XV las de Rayos y Centellas. Estas 75 preguntas las pueden consultar en los informes correspondientes a las olimpiadas mencionadas, que están disponibles en esta misma página (<http://olimpiadas.ugm.org.mx>).

Estas 75 preguntas tendrán un valor de 1/3 de punto cada una para un valor total de 25 puntos. Para los que no han asistido a nuestras olimpiadas se les recomienda ver en YouTube:

<http://www.youtube.com/watch?v=Q5d-4HvP32U>.

Inscripciones

Por favor recuerden que es muy conveniente para nosotros que se inscriban con anterioridad, ya sea en forma individual o en grupo por correo electrónico, según se indica en esta página, porque nos permite planear mejor la cantidad de exámenes que debemos imprimir, preparar un día antes los gafetes con sus nombres, imprimir los diplomas de participación, el número de mesas y sillas que necesitaremos, así como

la cantidad de comida que debemos ordenar. Por lo general recibimos a alrededor de 90 participantes. Aunque nunca hemos puesto límites, si es necesario limitaremos a 100 el número de participantes por cuestiones de cupo en el auditorio.

Habrán pan, café, chocolate y frutas para quienes no hayan desayunado. De 8:00 a 10: AM se entregarán los gafetes con sus nombres. A las 10:00 AM inicia el examen y se termina a las 12:01 PM. Antes de la comida tendremos, como siempre, la visita a varios laboratorios incluyendo la red sismológica donde se reciben las señales de los sismos que ocurren en Baja California. Las premiaciones se harán de 2:00 a 3:00 de la tarde.

Saludos cordiales y buena suerte. Los esperamos en Ensenada.

Atentamente,

Dr. Enrique Gómez Treviño.
Coordinador de las Olimpiadas

Las 25 preguntas nuevas del examen:

1) Una de estas cuatro fórmulas no es la fórmula de Arrhenius del calentamiento global. ¿Cuál?

- a) $T_s = (2/2 - \epsilon)^{1/4} 255$
- b) $T_s = (4/4 - 2\epsilon)^{1/4} 255$
- c) $T_s = (2/1 - \epsilon)^{1/4} 255$
- d) $T_s = 2^{1/4} (1/2 - \epsilon)^{1/4} 255 \text{ K}$

2) El número 4 que aparece en el exponente de la fórmula proviene de la ley que rige la radiación que emite un objeto a determinada temperatura. Esta ley es la ley de

- a) Herschel b) Stefan–Boltzmann
- c) Kirchhoff d) Kelvin

3) En la fórmula original de Arrhenius que se presenta en la guía, la absorción de la atmósfera ϵ no aparece por sí sola, sino dividida entre el número 2. Esto es, como $\epsilon/2$. Como en el caso anterior, el número 2 no es una casualidad, sino que se puede rastrear hasta una de las tres leyes que utilizó Arrhenius. ¿De cuál ley se trata?

- a) Herschel b) Stefan–Boltzmann
- c) Kirchhoff d) Kelvin

4) En 1995 realizamos la primera Olimpiada de Ciencias de la Tierra. En ese año la concentración de CO₂ en la atmósfera era de 360 ppm. En 2013, diez y ocho años después, la concentración es de 396 ppm (en la guía se menciona que es de 391 ppm, pero esto se aclarará más adelante, en esta pregunta utilicen 396 ppm para mayor facilidad). La pregunta es: ¿Cuál es la velocidad del aumento de CO₂ en la atmósfera en ese periodo?

- a) 36 ppm/año b) 10 ppm/año
- c) 5 ppm/año d) 2 ppm/año

5) Suponiendo la velocidad calculada desde que se iniciaron las olimpiadas en 1995, según la respuesta a la pregunta anterior: ¿Cuántos años pasarán para que se llegue al doble de concentración con respecto a la que se tenía en la era preindustrial de 280 ppm? Suponer que la velocidad es constante.

- a) 16 b) 32 c) 62 d) 82

6) La concentración de CO₂ en la atmósfera se ha estado midiendo de forma continua desde 1958, por lo que se tienen datos por más de 50 años. Cuando se calcula la velocidad del aumento de cada diez años, se tiene que la velocidad no es constante, sino que está aumentando década por década. De 1963 a 1972, en la primera década, la velocidad fue de 0.90 ppm/año, en la segunda de 1.37, en la tercera de 1.52, en la cuarta de 1.67, y en la quinta de 2.07 ppm/año. Si la velocidad

está aumentando significa que estamos en la presencia de un movimiento acelerado, como el de una piedra que cae bajo el efecto de la gravedad. Suponiendo que la aceleración es constante como en el caso de la gravedad: ¿Cuál es la aceleración en la última década en ppm/ (año x año)?

- a) 0.02 B) 0.04 c) 0.2 d) 0.4

7) La forma más simple de un movimiento acelerado es cuando la aceleración es constante, como en el caso de la gravedad. En este caso la cantidad de CO₂ que se acumula con el tiempo t no se puede calcular simplemente multiplicando la velocidad por el tiempo. La fórmula para el movimiento uniformemente acelerado con velocidad inicial v_0 y aceleración a es

- a) $CO_2 = v_0 t - 1/2 at^2$
 b) $CO_2 = v_0 t + 1/2 at^2$
 c) $CO_2 = v_0 t - 2 at^2$
 d) $CO_2 = v_0 t + 1/2 a\sqrt{t}$

8) Con la velocidad obtenida en la pregunta 4 y la aceleración en la pregunta 6, la ecuación para la acumulación acelerada de CO₂ es

- a) $CO_2 = 5t - 0.2t^2$
 b) $CO_2 = 2t + 0.02t^2$
 c) $CO_2 = 5t - 2t^2$
 d) $CO_2 = 2t - 4\sqrt{t}$

9) Con la ecuación correcta se puede predecir cuánto aumentará la cantidad de CO₂ en los próximos años. Por ejemplo, sustituyendo $t=1$ tendremos la predicción para 2014 porque estamos utilizando en la fórmula los datos de velocidad inicial y aceleración de 2013. Para los próximos 10 años la fórmula predice un incremento, en ppm, de

- a) 12.2 b) 17.2 c) 19.8 d) 22

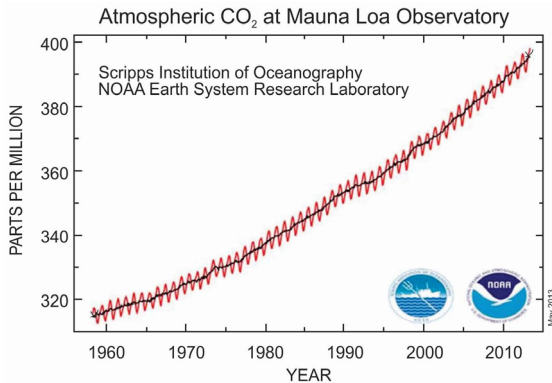
10) También, con la ecuación correcta, se pueden predecir las cosas al revés. Esto es, si deseamos saber los años que faltan para que el CO₂ alcance determinada concentración, se puede dar como dato la concentración y obtener como resultado el número de años. Dada una ecuación cuadrática de la forma $at^2 + bt + c = 0$, su forma inversa es

- a) $t = -b \pm \sqrt{b^2 - 4ca}/2a$
 b) $t = -b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}/2$
 c) $t = -b \pm \sqrt{b - 4ac}/2a$
 d) $t = b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}/2a$

11) Aplicando la solución correcta de la pregunta anterior a la ecuación correcta de la pregunta 8, se puede predecir el número de años que faltan a partir de 2013 para que la concentración de CO₂ alcance determinado valor. Recuerden que estamos utilizando como tiempo cero el año de 2013, tanto para la velocidad como para la aceleración y por lo tanto también para la concentración de CO₂. Esto es, que la concentración de CO₂ en las ecuaciones anteriores es la diferencia entre el valor del futuro y el de 2013, que según se mencionó más arriba es de 396 ppm en la actualidad. La pregunta es el número de años que tardará la concentración de CO₂ en aumentar hasta el doble de su valor en la era preindustrial, esto es, hasta 560 ppm. La cantidad de años es de

- a) 23 b) 32 c) 43 d) 53

12) La curva que se muestra a continuación se conoce como la curva de Keeling, en honor a Charles Keeling quien inició la medición continua de la concentración de CO₂ en la atmósfera desde 1958.



La figura está tomada del original y por esta razón los datos están en inglés, pero la traducción está al nivel del inglés que se enseña en preparatoria. Como se puede observar, la concentración está aumentando con los años. La curva no es una línea recta, sino más bien parece una parábola, por lo que una mejor representación es una variación cuadrática como se anticipó. Las oscilaciones que se pueden apreciar tienen un periodo anual y se deben a cambios asociados con las estaciones del año. Algunos científicos se refieren a esta oscilación como la respiración del planeta, en alusión a nuestra propia respiración. Inhalamos aire y cuando lo exhalamos lo devolvemos con más concentración de CO₂. Esto lo hacemos en muy corto tiempo, en unos segundos. La Tierra lo hace en un año. Si los continentes estuvieran distribuidos uniformemente entre el hemisferio norte y el hemisferio sur no existiría este fenómeno. Sin embargo, hay más tierra en el hemisferio norte y también más vegetación, por lo que hay más actividad de fotosíntesis. Las estaciones del hemisferio norte determinan entonces este ciclo anual. Esto implica que el mínimo de concentración de CO₂ será en el mes de

- a) diciembre b) marzo
c) junio d) septiembre

13) Una de estas ecuaciones no es la inversa de la ecuación de Arrhenius del calentamiento global. ¿Cuál?

- a) $\varepsilon = (2 - 2(255/T_s)^4)$
b) $\varepsilon = (2 - 1/8 (2 \ 255/T_s)^4)$
c) $\varepsilon = 2(1 - 2^{-4} (2 \ 255/T_s)^4)$
d) $\varepsilon = (2 - (2 \ 255/T_s)^4)$

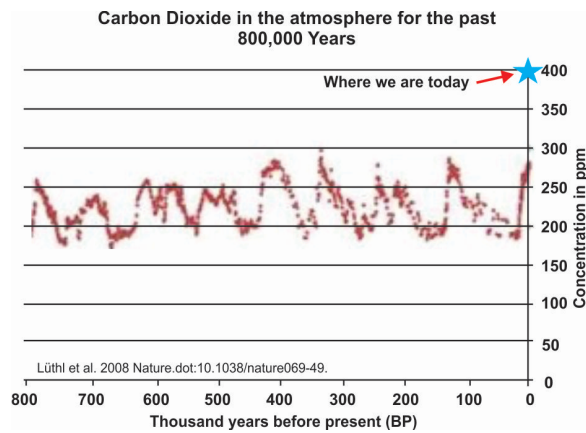
14) En la fórmula de la temperatura mínima de la Tierra $T_e = \sigma^{-1/4} [(S_0/4)(1-\alpha_p)]^{1/4} K$, la constante solar S_0 es la energía que llega perpendicular al ecuador por metro cuadrado y por segundo. Sin embargo, como se puede apreciar, la constante no aparece como tal sino como su cuarta parte. Hay dos razones para ello, y cada una reduce el efecto de S_0 a la mitad, resultando en conjunto un factor de un cuarto. Una de las razones es que la Tierra se ilumina sólo por un lado a la vez, y que la energía recibida se reparte por toda la Tierra al girar sobre su eje. Esto reduce el efecto de S_0 a la mitad. La otra mitad se debe a que los rayos del Sol no llegan perpendiculares sobre toda su superficie porque la Tierra es una esfera. Este efecto es responsable de la otra mitad porque, si R es el radio de la Tierra, la energía total que le llega por segundo es

- a) $4\pi R^2 S_0$ b) $2\pi R^2 S_0$
c) $\pi R^2 S_0$ d) $1/2 \pi R^2 S_0$

15) Existen muchas propuestas que están en la etapa experimental para contrarrestar el calentamiento global. Una de ellas es estimular artificialmente la formación de nubes. De llevarse acabo esto significaría en la fórmula de la temperatura mínima que

- a) S_0 aumentaría b) S_0 disminuiría
c) α_p aumentaría d) α_p disminuiría

16) En la figura que se presenta a continuación se muestran las mediciones de la concentración de CO_2 para los últimos 800,000 años. Los datos de la figura están en inglés, pero como se mencionó anteriormente, el nivel que se utiliza es el que se enseña en preparatoria



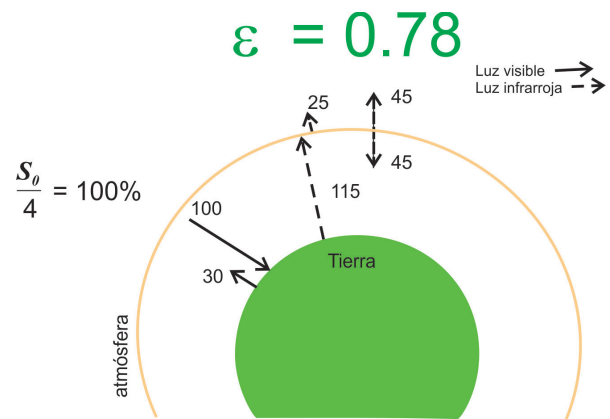
Estas mediciones del CO_2 que contenía el aire hace muchos siglos no las pudieron haber hecho las personas que vivieron en esa época. En primer lugar, porque hace apenas 200 años que nos dimos cuenta de que el aire está compuesto de varios gases. Las mediciones se hacen en burbujas de aire de ese tiempo que se han conservado intactas desde entonces. Estas burbujas se recuperan de perforaciones realizadas en

- a) mar b) hielo c) tierra d) lagos

17) Se puede observar que la concentración de CO_2 oscila con un periodo más o menos de 100,000 años. Se sabe que estas variaciones están relacionadas con cambios de la temperatura global de la Tierra. A mayor concentración mayor temperatura y viceversa. La causa primera de las oscilaciones en temperatura se deben a cambios en

- a) actividad volcánica
b) el eje de rotación de la Tierra
c) vegetación d) el Sol

18) En la siguiente figura se muestra la distribución relativa de energía para el caso de la absorción normal de la atmósfera de 0.78. Los valores se obtienen aplicando las leyes de conservación de energía y de Kirchhoff en la superficie de la Tierra y en la atmósfera. En el modelo la atmósfera se representa como una capa delgada que rodea a la Tierra. Las diferentes entradas y salidas de energía están interrelacionadas entre sí por las leyes mencionadas. En lo que sigue el objetivo es identificar qué balance representa mejor la aplicación de estas leyes y de los conceptos relacionados.



¿Cuál de las siguientes opciones representa mejor la ley de Kirchhoff?

- a) $25=115 \times 0.22$ b) $100-30=25+45$
c) $115=70+45$ d) $115-25=45+45$

19) ¿Cuál de las siguientes opciones representa mejor la conservación de energía de la Tierra como un todo?

- a) $25=115 \times 0.22$ b) $100-30=25+45$
c) $115=70+45$ d) $115-25=45+45$

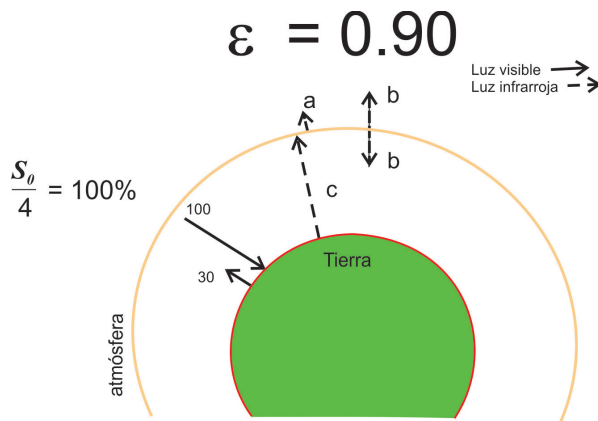
20) ¿Cuál de las siguientes opciones representa mejor el fenómeno de absorción de rayos infrarrojos por la atmósfera?

- a) $25=115 \times 0.22$ b) $100-30=25+45$
c) $115=70+45$ d) $115-25=45+45$

21) ¿Cuál de las siguientes opciones representa mejor el fenómeno del calentamiento global?

- a) $25=115 \times 0.22$ b) $100-30=25+45$
c) $115=70+45$ d) $115-25=45+45$

22) En la siguiente figura se muestra con variables la distribución relativa de energía para el caso de una absorción anormal de la atmósfera de 0.90. La entrada de energía es la misma que para el caso anterior, pero la distribución interna será diferente. Para determinar los valores numéricos es necesario aplicar las mismas reglas que en el caso anterior pero con variables, y luego resolverlas como ecuaciones simultáneas.



¿Una de las siguientes ecuaciones no es correcta?
¿Cuál?

- a) $70=a+b$ b) $c=70+b$
c) $0.9c=a+2b$ d) $0.9c=2b$

23) Utilizando las tres ecuaciones correctas se obtienen a, b y c. ¿Cuál es el valor de c para este caso de absorción de la atmósfera de 0.9? Los valores están redondeados a números enteros.

- a) 122 b) 127 c) 130 d) 125

24) ¿Cuál es el valor de b para este caso de absorción de la atmósfera de 0.9? Los valores están redondeados a números enteros.

- a) b=57 b) b=60 c) b=52 d) b=55

25) ¿Cuál es el valor de a para este caso de absorción de la atmósfera de 0.9? Los valores están redondeados a números enteros.

- a) a=10 b) a=18 c) a=15 d) a=13

Referencia

<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>

Datos preliminares sobre recursos humanos en Ciencias de la Tierra

Mendoza, B.^{1*}, X. Blanco¹, A. Iglesias¹, A. Jazcilevich², J. Rosas³, A. Trasviña⁴ y J. Zavala-Hidalgo²

¹Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México, CP 04510, México, D.F., México.

²Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México, CP 04510, México, D.F., México.

³Universidad de Guadalajara, CUVALLES, Jalisco, México.

⁴Centro de Investigación Científicas y de Educación Superior de Ensenada Baja California,, Unidad La Paz, Miraflores 334 entre Mulegé y La Paz, Fraccionamiento Bella Vista, La Paz 23050, BCS, México.

* blanca@geofisica.unam.mx

En esta nota reportamos datos preliminares sobre académicos que trabajan en Ciencias de la Tierra. Los datos provienen del Sistema Nacional de Investigadores, así como de diversas Universidades y Centros SEP-CONACYT y fueron proporcionados por sus directores o secretarios académicos. Los datos sobre estudiantes fueron facilitados por los programas de posgrado correspondientes. A todas las personas involucradas les manifestamos nuestro agradecimiento.

En estas instituciones es donde hemos identificado que existen académicos que desarrollan investigación y/o docencia en las cuatro grandes áreas de interés para la Unión Geofísica Mexicana: Atmósfera, Ciencias Espaciales, Océano y Tierra Sólida.

Este es un estudio preliminar, no exhaustivo y seguramente faltan datos, pero creemos que hemos incluido a la mayor parte de los académicos en las áreas mencionadas. Los datos incluyen hasta mayo del 2012.

Presentamos siete figuras con la síntesis de la información. Los porcentajes se relacionan con las instituciones, leyéndolos en el sentido de las manecillas del reloj.

En la Figura 1 se reportan los números correspondientes al área de Atmósfera, con un total de 102 académicos. El 76% trabaja en la UNAM. Ante la indudable existencia del cambio climático, es muy preocupante que en el país sólo haya un centenar de científicos dedicados a las Ciencias Atmosféricas, por lo cual es indispensable impulsar la formación de más investigadores en esta área.

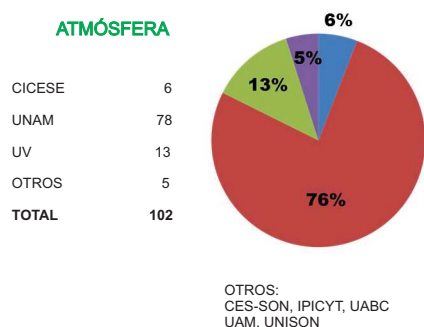


Figura 1. Número de académicos en el área de Atmósfera

En la Figura 2 están los números correspondientes al área de Ciencias Espaciales, que representan a 53 académicos. El 62% trabaja en la UNAM. Los efectos de la actividad solar en la tecnología de un mundo globalizado son cada vez más evidentes. Además, se han encontrado relaciones entre la actividad solar y el clima. Y por otro lado, la tecnología que se genera a partir de estas ciencias ha probado ser un motor de desarrollo para cualquier país. Medio centenar de investigadores en un área que cada vez se vuelve más prioritaria es totalmente insuficiente.

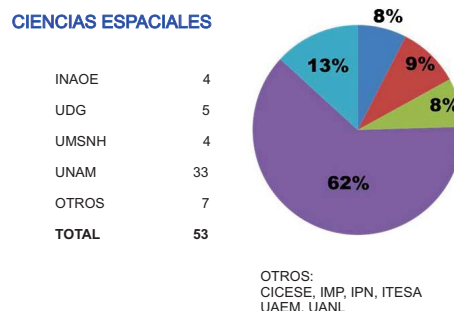


Figura 2. Número de académicos en el área de Ciencias Espaciales

En la Figura 3 se presenta el área de Océano. Del total de 100 académicos, el 37% trabaja en el CICESE. Nuevamente, el problema de cambio climático tiene un efecto directo en la dinámica marina. México es un país altamente vulnerable a las condiciones marinas dado que tiene costas en el Océano Pacífico y el Golfo de México. Es evidente que un centenar de investigadores en esta área no puede abarcar los numerosos retos que se presentan.

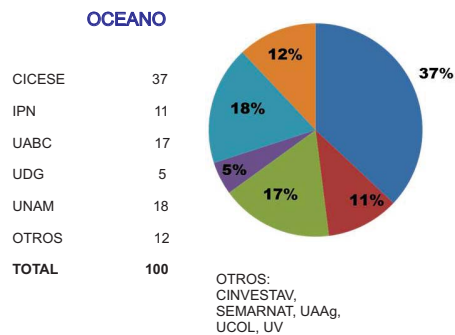


Figura 3. Número de académicos en el área de Océano

La Figura 4 corresponde al área de Tierra Sólida donde el 48% de una población de 501 académicos labora en la UNAM, 24% en otras cuatro instituciones académicas (CICESE, IPN, UANL y UDG) y es notable también que en otras 43 instituciones académicas y paraestatales se concentra el 28% restante. México es un país de sismos, volcanes, y otros fenómenos asociados a la actividad planetaria. Con 500 investigadores dedicados a esta área trabajosamente se cubre sólo una parte de esta riqueza.

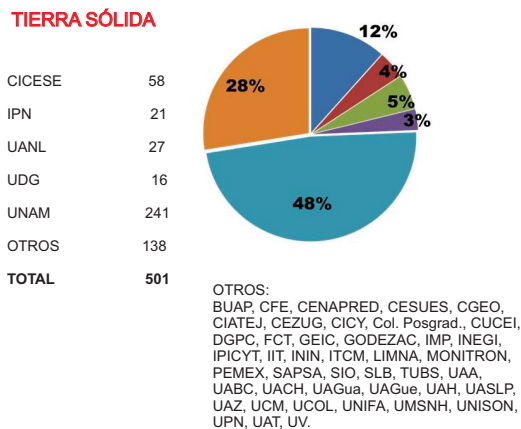


Figura 4. Número de académicos en el área de Ciencias de la Tierra

La Figura 5 presenta un resumen de todas las áreas y vemos que de 756 académicos que efectúan estudios en Ciencias de la Tierra, el mayor porcentaje lo hace en Tierra Sólida (66%) y el menor en Ciencias Espaciales (7%).

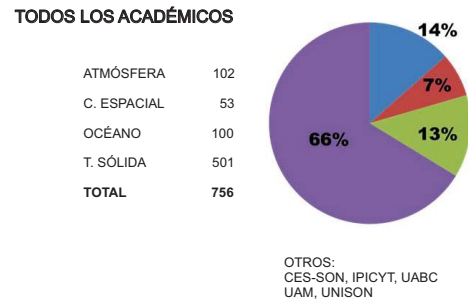


Figura 5. Número de académicos de todas las áreas

El porcentaje de investigadores en Ciencias de la Tierra, comparado con el de otras áreas de las ciencias dentro del Sistema Nacional de Investigadores representa únicamente el 2% (Figura 6), el menor de las áreas reportadas.

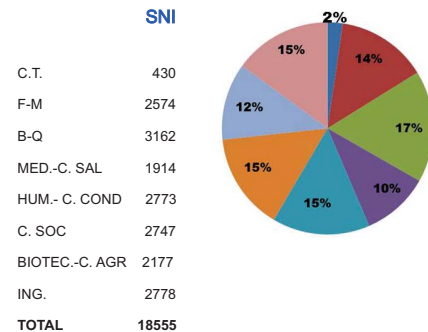
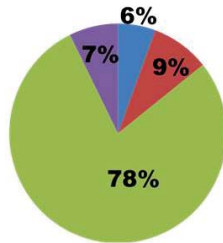


Figura 6. Proporción de académicos de Ciencias de la Tierra con respecto a otras áreas del Sistema Nacional de Investigadores

Con respecto a la población estudiantil de posgrado, en la Figura 7 se presenta la distribución de la población por área del conocimiento. De un total de 357 estudiantes, la mayoría está en el área de Tierra Sólida (78%) y la minoría en Atmósfera. Tomando la información de las figuras 5 y 7, en la Tabla 1 mostramos la razón estudiante de posgrado/académico por área. Notamos que esta razón es de apenas 0.2 en el área de Atmósfera, mientras que Ciencias Espaciales y Tierra Sólida alcanzan 0.6. El promedio de las cuatro áreas es de tan solo 0.5 estudiantes por académico.

ESTUDIANTES DE POSGRADO

ATMÓSFERA	20
C. ESPACIAL	31
T. SÓLIDA	280
OCÉANO	26
TOTAL	357



ATMÓSFERA	C. ESPACIAL	OCÉANO	T. SÓLIDA
UNAM	19	UNAM	31
UV	1	CICESE	13
TOTAL	20	TOTAL	26
		UNAM	13
		CICESE	52
		IPICYT	14
		UANL	23
		UNAM	191
		TOTAL	280

Figura 7. Distribución de la población estudiantil de posgrado por área

Tabla 1. Relación estudiante de posgrado entre académico en las Ciencias de la Tierra.

Área	Razón estudiante/académico
Atmósfera	0.2
C.Espaciales	0.6
Océano	0.3
T.Sólida	0.6
Promedio	0.5

La gran riqueza y problemáticas asociadas con los fenómenos de las Ciencias de la Tierra en el país contrasta desfavorablemente con el bajo número de académicos encargados de investigarlos. De acuerdo con la Figura 5 donde se muestra que en el país existen 756 investigadores en todas las áreas de las geociencias y tomando en cuenta que, de acuerdo con el último censo del INEGI, la población alcanza aproximadamente los 112 millones, la relación entre pobladores y geocientíficos es de uno por cada ciento cincuenta mil mexicanos.

Es indispensable elevar el número de geocientíficos, pero dadas las pocas oportunidades de trabajo, no muchos estudiantes

se deciden a proseguir sus estudios de posgrado en esta área, como vemos sólo hay del orden de 360 estudiantes.

Concluimos que es indispensable para México tener más geocientíficos. Para ello hay varias acciones que se deben emprender, entre ellas destacamos:

- Fortalecimiento de las instituciones que ya cuentan con grupos dedicados a las Ciencias de la Tierra.
- Creación de más centros de trabajo que incorporen a geocientíficos.
- Fortalecimiento de las licenciaturas y posgrados existentes en Ciencias de la Tierra y creación de éstos en las instituciones educativas que no cuenten con ellos.

Esperamos que estos datos sean de utilidad y como un punto de partida para estudios más profundos. Las bases de datos se pueden obtener tanto de la Dra. Blanca Mendoza como del Editor Dr. Luis Delgado Argote.

Referencias

CONACYT. Sistema Nacional de Investigadores . Directorio de Investigadores (2014). Consulta en línea: <http://www.conacyt.mx/index.php/estadisticas-centros-de-investigacion-conacyt>

Características ambientales de La Lagunita de El Ciprés, Mpio. de Ensenada, Baja California y las amenazas a su conservación

Anda-Martín, Brenda I., Jaqueline Chavira-Silva, Anabel Del Toro-Kobzeff, Radha A. Flores-Zavala, Marlyne E. Jaimes-Lugo y Zayre I. González-Acevedo*

Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, Baja California, División de Ciencias de la Tierra. .
Carretera Tijuana-Ensenada No. 3918, Zona Playitas, C.P. 22860. Ensenada, Baja California, México.

*Autor de correspondencia: Zaire González <zgonzale@cicese.mx>

Resumen

Existe una polémica que involucra a los sectores gubernamental y social de Ensenada, Baja California, México, en torno al uso que se le debe de dar al humedal natural de agua dulce y costero conocido como La Lagunita de El Ciprés (La Lagunita). En este trabajo se exponen las diferentes propuestas desde el punto de vista hidrológico, ecológico, económico y social, reuniendo los aspectos principales sobre este sitio. La Lagunita se encuentra sobre sedimentos arcillosos en un ambiente de clima mediterráneo seco con régimen de lluvias invernales y un área de captación de agua de 4 km². Se considera cuna de biodiversidad biológica, con presencia importante de aves migratorias con estatus de protección, según las normas mexicanas. Además, posee valor histórico ya que los grupos indígenas Tipai o Kumiai usaban el área para campamentos estacionales por sus atributos naturales. Para la población representa una opción para fomentar valores de cuidado al ambiente, otorgándole un valor económico potencial a través de actividades ecoturísticas.

Palabras clave: La Lagunita, humedal, biodiversidad, cuidado ambiental.

Introducción

Los humedales son zonas terrestres que están temporal o permanentemente inundadas de acuerdo con factores climáticos. Debido a su permanente interrelación con los seres vivos que los habitan, son altamente productivos. Estos ecosistemas reciben agua por precipitaciones, agua subterránea o mediante arroyos y ríos. La almacenan, filtran, permiten escurrimientos a otros cuerpos de agua superficiales y recargando mantos acuíferos, constituyendo así un componente vital del ciclo hidrológico.

La Convención Ramsar (Ramsar Convention Secretariat, 2006,) se refiere a los humedales como “extensiones de marismas, pantanos y turberas, o superficies cubiertas de aguas, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces,

salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros”. La Lagunita El Ciprés (La Lagunita) forma parte de una red o complejo natural de pequeños humedales esparcidos por la franja costera noroccidental de Baja California, entre los que están La Misión, San Miguel, Santo Tomás y El Rosario, entre otros.

Actualmente existe una discusión desde el punto de vista social, científico y gubernamental en la ciudad de Ensenada, debido al uso del humedal La Lagunita. Es por ello que en este trabajo, desde una perspectiva holística, en los campos hidrográfico, geológico, ecológico y socioeconómico, se abordan los aspectos que afectan a esta zona.

Nuestras fuentes de información incluyen periódicos, revistas, libros, páginas web, tesis, artículos científicos. Se elaboraron diversos mapas para el análisis hidrográfico de la cuenca que contiene y alimenta al cuerpo de agua de La Lagunita utilizando los programas en línea del INEGI SIATL, para ofrecer un panorama sobre el nivel de conocimiento que se tiene del humedal e influir en su conservación.

Antecedentes

Espejel y Escofet (1990) elaboraron un artículo de divulgación científica con la finalidad de llamar la atención sobre los valores ambientales de pequeños ecosistemas inmersos en los centros de población, como es el caso de La Lagunita. Posteriormente, Jones (1995) realizó su tesis de maestría en la cual se evaluaron cuatro planes para el uso de suelo de La Lagunita. Uno incluye la situación en aquel entonces y tres fueron presentados por grupos de interés (los dueños del sitio, la Secretaría de Planeación Urbana y ecólogos profesionales locales). La evaluación se hizo bajo tres criterios: la legislación ambiental mexicana, los beneficios a la comunidad y el impacto ambiental. El plan de los ecólogos profesionales locales (Jones, 1995) propone la realización de actividades de ecoturismo y de educación ambiental. En el 2001, la organización PRO ESTEROS A. C. realizó el proyecto "Inventario de pequeños humedales costeros de la Península de Baja California" (PRO ESTEROS, 2001), con la intención de incidir en futuras acciones de conservación y uso racional de los recursos naturales de estos importantes ecosistemas y dar información acerca de estos sitios. Hasta la fecha se tiene la base de datos de trece pequeños humedales en el noroeste de Baja California, desde Cantamar, hasta el Rosario, incluyendo a La Lagunita.

El 21 de noviembre de 2001 el Cabildo del XVI Ayuntamiento de Ensenada declaró a La Lagunita de El Ciprés Zona de Reserva Ecológica, basado en estudios previos y en la opinión de expertos en materia de la caracterización de flora y fauna, así como en las características físicas, de localización, importancia económica, atractivo visual, etc. del humedal.

El 7 de marzo de 2002 (DOF, 2012) el Ayuntamiento aprobó complementar y ratificar la declaratoria, otorgando a la zona de reserva una extensión de 317,758 m², debido a que se consideró un área de vital importancia debido al déficit de áreas verdes en la ciudad, según consta en el Periódico Oficial del Estado del 22 de marzo de 2002. Poco después, Erickson et al. (2002) reportaron que La Lagunita es el sitio de anidación del pato friso (*Anas strepera*) en México. Ruiz-Campos et al. (2005) mostraron en un amplio censo de los humedales pequeños costeros del noroeste de Baja California que la composición y abundancia de especies entre humedales estaba formada por 17,978 individuos pertenecientes a 187 especies, 121 géneros y 47 familias. Los humedales con la mayor riqueza específica fueron El Rosario (126), Santo Tomás (107), La Misión (95) y Santo Domingo (90), mientras que los que presentaron la menor riqueza fueron San Simón (38), La Salina (48) y La Lagunita (55), en proporción con sus dimensiones. Rosas (2008) hizo una propuesta de plan de manejo para la playa municipal de Ensenada en la que también está incluida La Lagunita. Estudiantes de Maestría en el Manejo de Ecosistemas de Zonas Áridas de la UABC (Anaya et al., 2009), elaboraron el trabajo titulado "Propuesta de áreas naturales urbanas en el centro de la población de Ensenada", en el que propone a "La Lagunita El Ciprés" como una de las áreas naturales de esta localidad.

Área de estudio

La Lagunita El Ciprés (Figura 1) es un pequeño humedal de agua dulce situado a 7.8 km al sur de la ciudad de Ensenada, B.C. (31.82°N / 116.6°O). Hacia el oriente colinda con la Av. Dr. Pedro Loyola, al occidente está separado del mar por una barrera de dunas y una playa de más de 50 m y, hacia el sur, con el complejo habitacional turístico Pacífica Ensenada Bay. Según Escofet y Espejel (1991) La Lagunita puede considerarse como un relicto de un ecosistema que se extendía hacia el sur hasta lo que actualmente es el Ejido Chapultepec y hacia el norte, en la ciudad de Ensenada, hasta el fraccionamiento Playa Ensenada.

Problemáticas del área de estudio

El rápido crecimiento urbano hacia el sur de la ciudad de Ensenada ha creado diferentes amenazas a este ecosistema debido a las diversas actividades humanas:

- 1) La circulación de vehículos y motocicletas en las dunas que separan a La Lagunita de la costa.
- 2) El desecho de escombros, residuos sólidos, utilizando la zona como basurero clandestino.
- 3) Las descargas de desagües clandestinos de las edificaciones aledañas (Figura 2).
- 4) El desarrollo del complejo turístico Pacífica Ensenada Bay (Figura 3), el cual abarca más del 50% del territorio declarado como zona de reserva en 2001.

Con la finalidad de secarla, en 2009 se abrió una zanja para que el agua de La Lagunita desembocara al mar (figuras 4a y 4b). La situación se detectó a tiempo y se pudo remediar. Se desconoce el motivo y las personas que realizaron dicho trabajo.

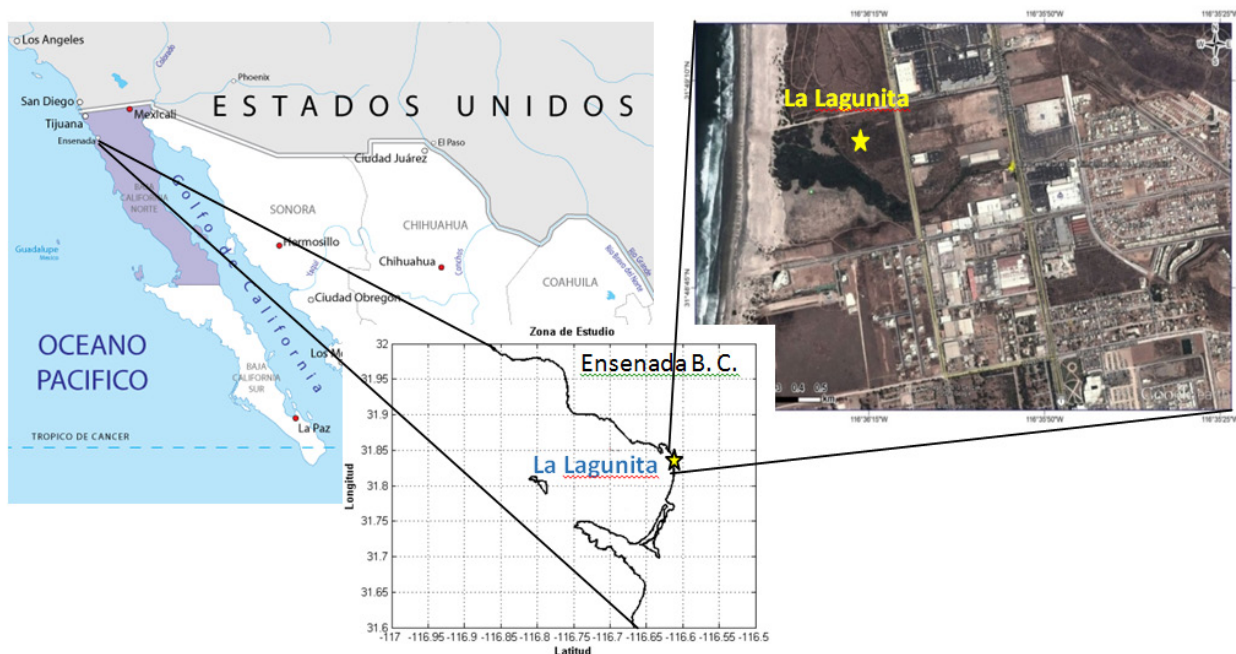


Figura 1. Área de estudio La Lagunita de El Ciprés y su localización en la Bahía de Todos Santos, Ensenada, B. C. Modificado de Google Earth; consultado en febrero de 2013.



Figura 2. Descarga de un líquido color verde en un arroyo que conecta con La Lagunita. Foto de Benjamín Pacheco; periódico El Vigía, marzo de 2013.



Figura 3. Complejo turístico Pacífica a 400 m al sur del centro de La Lagunita. Foto de Jorge Torres, 2012.



Figura 4. Proceso de secado de La Lagunita; a) Zanja construida para el secado de La Lagunita (facebook La Lagunita, 2009); b) Acercamiento a la zanja (tomado de ensenada.net, enero 2009).

5) En 2012 rellenaron una parte de La Lagunita para que quedara al mismo nivel que la calle Huerta, al sur de la Lagunita, donde se encuentra ubicado el complejo turístico (figuras 5a y 5b). Una vez nivelado el terreno, fue utilizado como estacionamiento (Figura 5c). Se desconoce quién fue el responsable de dicha obra.

Actualmente, uno de los problemas más graves es el cambio de uso de suelo para la instalación de una planta desalinizadora de agua de mar. Con este proyecto se pretende desviar el cauce que alimenta a la Lagunita (Figura 6), lo que modificaría los volúmenes de agua y sedimentos que se transportan durante la temporada de lluvias. En una situación similar, basándose en los efectos ambientales de la urbanización de las cuencas de los ríos Bíobio y Andalién, Santiago de Chile, Vidal y Romero (2010) observaron una mayor extensión e incorporación de nuevas áreas afectadas a riesgos de inundación fluvial y anegamientos, que pueden estar directamente

relacionados con la urbanización.

Además de lo anterior, debe tomarse en cuenta que la presencia de fábricas y empresas puede afectar la calidad del agua que llega a la Lagunita y causar un impacto fuerte en el ecosistema.

Diversas asociaciones como el Instituto Municipal de Investigación y Planeación de Ensenada, A.C., Pro Esteros, A.C., Hacienda lo Necesario, A.C., Centro Mexicano de Estudios para la Conservación, A.C., Pro Playitas, A.C., Lorax Consultores S.A. de C.V., Arte y Medio Ambiente en Armonía, Ensenada, Artist Association, A.C., entre otros, han intentado que se preserve el área como un sitio verde natural para la ciudad. El inconveniente es que la zona se encuentra entre predios particulares (Tabla 1) y, para conservarla, es necesario decretar el área como un área protegida municipal o como un parque recreativo urbano privado (Rosas, 2008).



Figura 5. Modificación del terreno de La Lagunita; a) Camión de volteo arrojando materiales en el área de La Lagunita (2012); b) Zona de La Lagunita con material ajeno al del área (2012); c). Área habilitada para estacionamiento en el área de La Lagunita (2012).



Figura 6. Trazo natural de la escorrentía que alimenta a La Lagunita (en verde) y trayectoria del cauce modificado por el proyecto de instalación de la desalinizadora propuesta (en azul).

Tabla 1. Lista de propietarios de los terrenos aledaños a La Lagunita (periódico oficial del Estado de Baja California, 22 de marzo de 2002).

Propietario	Área del terreno
Lucía Patricia Macías Martínez	13,316.91 m ²
Lucía Patricia Macías Martínez	99,236.86 m ²
Moisés González Reznik	9,900 m ²
Moisés González Reznik	3,400 m ²
Carlos Alberto Tavárez Newman	157, 121.487 m ²
Juan Antonio Sánchez Zertuche	18,563.387 m ²
María del Socorro Martínez	16, 219.301 m ²
Total	317,757.945 m²

Resultados y discusión

Características fisiográficas

El área de estudio se localiza en la planicie costera de Todos Santos, al sur del puerto de Ensenada (Figura 7). Es un área de pendiente suave y zonas

inundables de aproximadamente 34,000 ha. Sus límites fisiográficos son: al norte, punta San Miguel; al sur, la península de Punta Banda; al oriente, la bahía de Todos Santos y al occidente una cadena de lomas y cerros que forman parte del complejo montañoso de la sierra de Baja California (Aranda-Manteca, 1983). La Lagunita es parte de la zona costera de El Naranjo-Chapultepec, la cual se caracteriza por su pendiente suave (entre 0° y 5°), separada de la playa por un cordón de dunas de aproximadamente 100 m de largo. La playa en esta zona forma una franja arenosa de aproximadamente 50 m.

La Lagunita es una marisma de agua dulce asociado un arroyo intermitente. Aparentemente, está protegida de la intrusión de agua marina por un estrato de arcilla en el fondo. Registros históricos indican que existían más cuerpos como éste en la planicie de Todos Santos, los cuales fueron rellenados y urbanizados durante el crecimiento de la Ciudad de Ensenada.

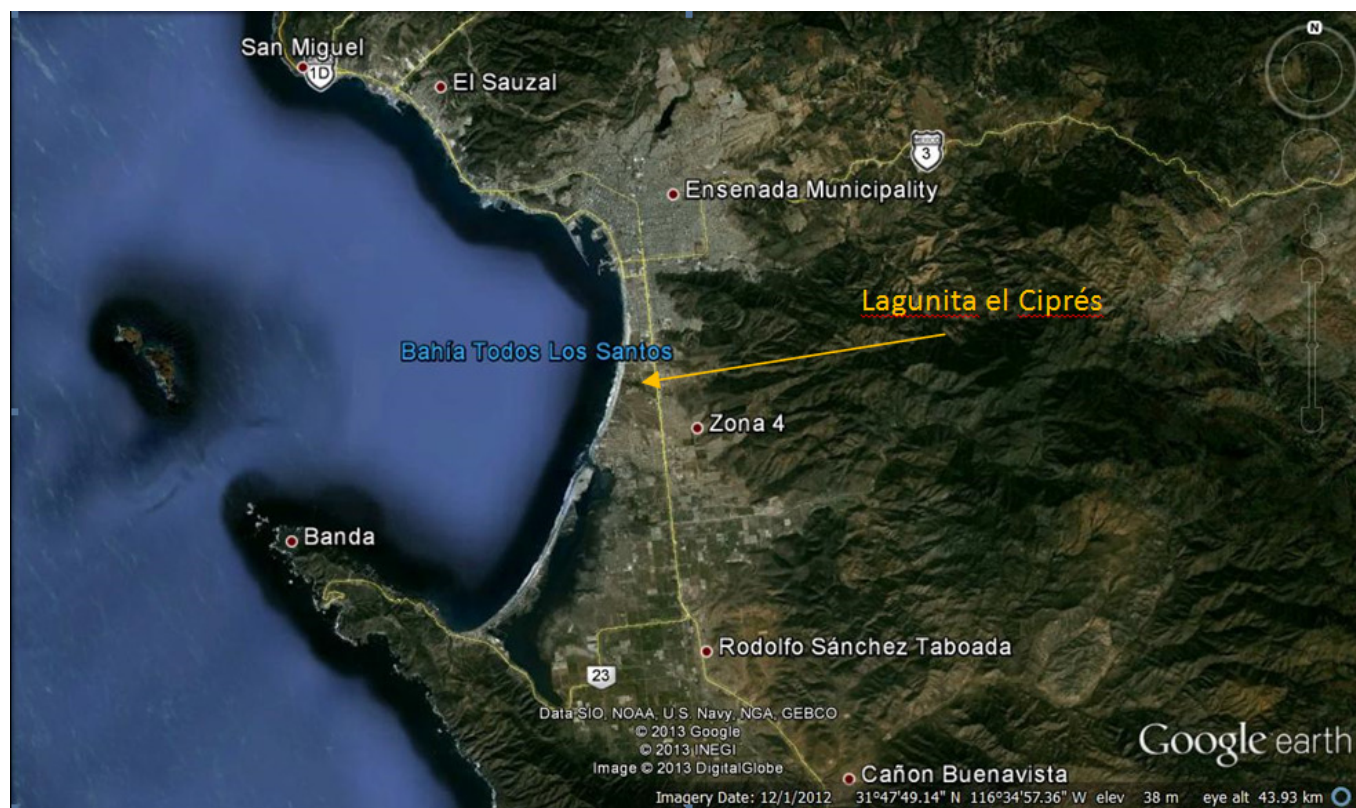


Figura 7. planicie costera de Todos Santos. Tomado y modificado de Google Earth; consultado en febrero de 2013.

Climatología

Temperatura y precipitación pluvial

Ensenada posee un clima mediterráneo seco, donde la temperatura media anual es de 16.5°C, con una mínima media en el mes de enero de 12.6°C y una máxima media de 21°C en el mes de agosto (INEGI, 2013). La precipitación total promedio es de 266.5 mm, en un régimen de lluvias invernales (diciembre a marzo) propias del clima mediterráneo (IMIP, A.C. y otros, 2013), generadas por vientos frescos que soplan del suroeste, desde el océano, hacia el frente peninsular. Estos vientos vienen moderadamente cargados de humedad, de modo que no producen lluvias abundantes (INEGI, 1995). Las precipitaciones acumuladas del periodo de 1923 a 2002, registradas en la estación meteorológica Ensenada, clave 2072 estación climatológica

No. 16, con coordenadas 31° 52.98' latitud N y 116° 36' longitud O, a 24 msnm, muestran que los meses de enero, febrero y marzo son los de mayor precipitación (53.3 mm) y los meses de junio y julio los de menor precipitación (0.9 mm) (Fig. 8)(software ERIC, producto de IMTA, 2006, citado en IMIP A.C. y otros, 2013).

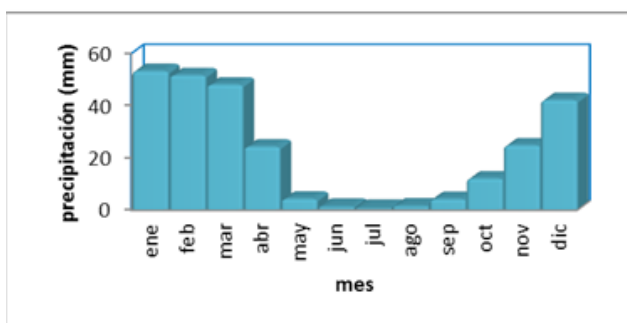


Figura 8. Precipitaciones acumuladas mensuales en el periodo 1923-2002 de la estación meteorológica Ensenada clave 2072 no.16 (tomado de IMIPE, A.C. y otros, 2013).

Hidrografía

En vista de que el tema del agua es de gran importancia por su escasez y degradación, se considera un asunto estratégico para las políticas de los gobiernos. Conjuntamente, el riesgo que representan las avenidas de ríos, deslaves y las inundaciones ocasionadas por lluvias intensas, han creado la necesidad de generar información vectorial más detallada. En este sentido, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) creó la Red Hidrográfica escala 1:50 000 la cual modela el drenaje superficial de una cuenca hidrográfica, así como la aplicación que permite a los usuarios consultar y analizar dichos datos (INEGI, 2012). La información correspondiente al análisis hidrográfico de la cuenca que contiene y alimenta al cuerpo de agua de La Lagunita se extrajo del recurso en línea SIATL 2.1 (Simulador de Flujos de Cuencas Hidrográficas) desarrollado por el mismo INEGI (2013).

La Lagunita pertenece a la región hidrográfica RH01, denominada Baja California Noreste, dentro de la cuenca “C” que corresponde a la cuenca Río Tijuana- A. de Maneadero y a menor escala a la subcuenca exorreica RH01Cb, que comprende el sistema de cauces desde el sur de La Misión y se extiende hacia la zona urbana de la ciudad de Ensenada hasta el predio del aeropuerto Gral. Alberto L. Salinas (Fig. 9) delimitada por INE-INEGI-CNA a partir de modelos de elevación analizados en sistemas de información geográfica (INEGI, 2013).

Para fines descriptivos y de análisis más específicos del sitio de interés, se toma por definición que una cuenca hidrográfica es la totalidad del área drenada por una corriente o sistema interconectado de cauces, tales que todo el escurrimiento originado en tal área es descargado a través de una única salida (Campos-Aranda, 1992). La cuenca hidrográfica del cauce que alimenta al sistema de La Lagunita se muestra en la Figura 10.

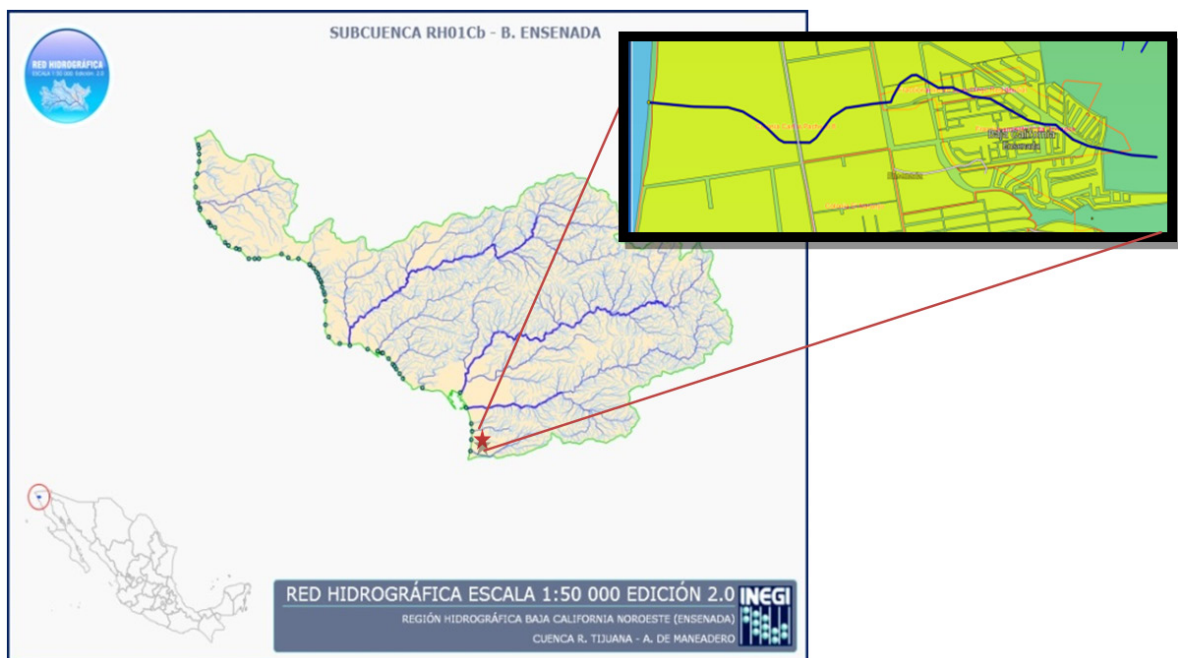


Figura 9. Subcuenca RH01Cb donde se encuentra el área de “La Lagunita El Ciprés”. En la ampliación se muestra el cauce principal de escurrimiento superficial que alimenta al humedal y el drenaje al mar. Tomado y modificado del INEGI, 2013.



Figura 10. Área de captación de escorrentía superficial con el cauce principal que alimenta la cuenca de aproximadamente 4 km² de La Lagunita. Tomado y modificado del INEGI, 2013.

La Lagunita se alimenta por la escorrentía superficial intermitente de un área aproximada de 4 km², que escurre a un cauce principal único, cuya elevación varía entre 57 y 2 msnm a lo largo de 2.75 km (Figura 11). Presenta una pendiente media de 1.92%, lo que la define como un terreno llano (Tabla 2). Esto guarda relación directa con la infiltración, humedad del suelo, fenómenos de erosión y define el tiempo de concentración y viaje aproximado del agua de 30 minutos, calculados a partir de una precipitación aproximada de 267 mm.

Corriente arriba, el cauce atraviesa los fraccionamientos Juan Diego residencial y Vista Hermosa. Cruza en sentido E-W la carretera transpeninsular y la zona industrial en la colonia Carlos Pacheco y, finalmente, al cruzar la Av. Pedro Loyola, llega al humedal, que es confinado gracias a los sedimentos arcillosos del fondo, que le confieren impermeabilidad, evitando también la intrusión salina del mar y la retención del agua de escurrimiento y de lluvia (IMIP A.C. y otros, 2013) (Figura 12a). Al compararse este cauce con el natural (Figura 12b), se observa una modificación al curso, lo que ha causado un aumento en la velocidad de la escorrentía, un menor aporte de

sedimentos y el arrastre de basura proveniente de las superficies urbanizadas.

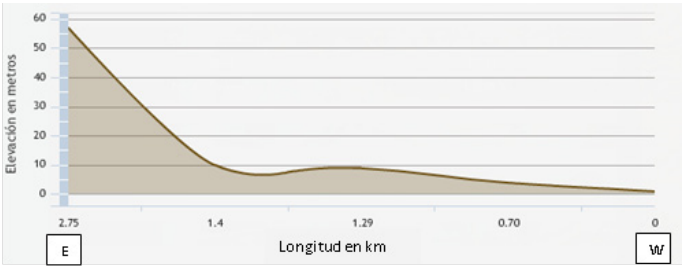


Figura 11. Perfil de elevaciones del cauce principal de la cuenca La Lagunita con un máximo y mínimo de 57 y 2 msnm. Tomado del INEGI, 2013.

Tabla 2. Valores de pendiente propuestos para la clasificación del tipo de terreno (Campos-Aranda, 1992).

Pendiente	Tipo de terreno
2	Llano
5	Suave
10	Accidentado medio
15	Accidentado
25	Fuertemente accidentado
50	Escarpado
>50	Muy escarpado

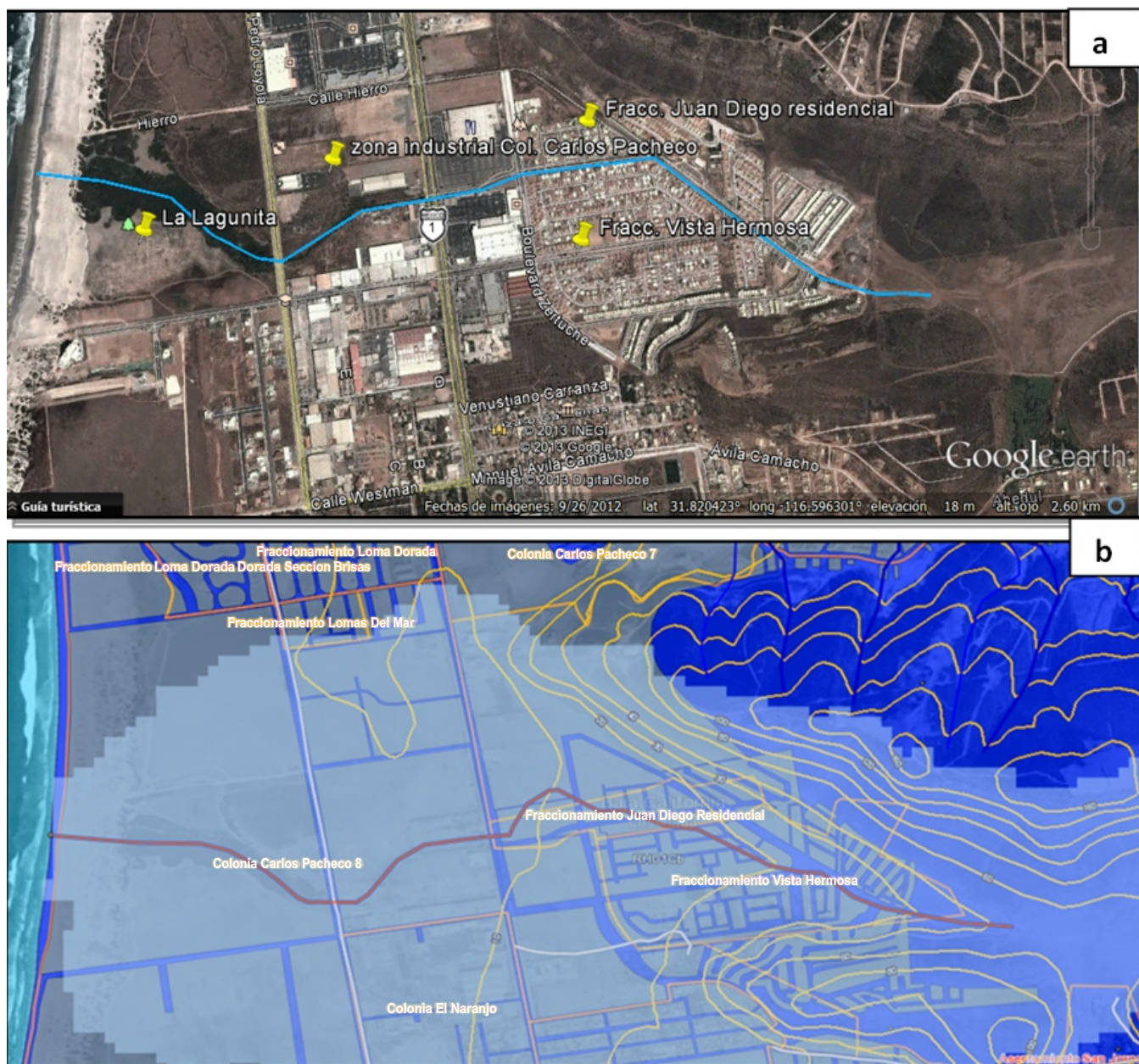


Figura 12 (a y b). Modelaciones comparativas del cauce principal que alimenta la cuenca de La Lagunita. La imagen superior (a) muestra el encauzamiento artificial debido al desarrollo urbano de la parte oriental del cauce (tomado y modificado del INEGI, 2013); la imagen inferior (b) muestra el cauce natural definido por modelos de elevación del terreno. Tomado y modificado de Google Earth, 2013.

Características biológicas

Los límites de los humedales se definen por el tipo de vegetación hidrófila de presencia permanente o estacional y las áreas lacustres o de suelos permanentemente húmedos por la descarga natural de acuíferos. La Convención Ramsar (Lambert, 2003) hace uso de una definición más amplia, considerando sitios artificiales como embalses y salinas, así como zonas marinas próximas a las costas cuya profundidad en marea baja no exceda los seis metros; pueden incluir manglares y arrecifes de coral.

Vegetación

La vegetación está dominada por hidrófitas, que son plantas llamadas comúnmente tule, carrizo, o junco y que se desarrollan en ambientes acuáticos. La especie más abundante es *Scirpus californicus*, es perenne y se encuentra en el centro y en la periferia del humedal. El junco cumple una importante función ecológica en las riberas de los lagos y estanques, pues sirven de defensa contra los embates del viento y las olas, permitiendo así el crecimiento de otras plantas que favorecen el desarrollo de criaderos a la fauna lacustre, además de evitar la erosión. La vegetación mencionada forma también una zona de refugio y de anidación para las aves residentes y migratorias. Además del tule, La Lagunita cuenta con 58 especies pertenecientes a 25 familias. El porcentaje de especies exóticas es de 41% (24 especies) (IMIP A.C. y otras asociaciones, 2013). Sobre las dunas se pueden encontrar plantas nativas como: *Abronia maritima*, *A. gracilis* subsp., *Ambrosia camissonis*, *Atriplex canescens*, *Ephedra californica*, *Helianthus niveus* var. *niveus*, *Isocoma menziesii* var. *vernonioides*, *Lycium brevipes*, *Pluchea sericea* y *Isocoma menziesii* var. *Sedoides* así como *Isocoma menziesii* var. *Sedoides*. Esta última es dominante y es característica de las dunas costeras. Otras dos especies introducidas son *Cakile maritima* y *Carpobrotus edulis*. La mayoría de las especies

encontradas son buenas fijadoras de dunas, sin embargo, todas las especies están seriamente amenazadas por el paso de vehículos motorizados (IMIP A.C. y otras asociaciones, 2013).

La única reminiscencia de vegetación de marisma se circunscribe a la parte media del tular. Al norte, todavía existe un pequeño manchón de *Frankenia salina* con *Cynodon dactylon*. En los terrenos que años atrás fueron campos agrícolas puede encontrarse la especie *Distichlis spicata* aunque con abundancia baja (IMIP A.C. y otras asociaciones, 2013).

Existen algunos remanentes de vegetación riparia como *Salix lasiolepis* y *Tamarix pentandra*, además de arbustos como *Baccharis salicifolia*. En los alrededores de La Lagunita ya no hay mucha vegetación. En lo que anteriormente fueron campos agrícolas, actualmente se han desarrollado diferentes complejos habitacionales. Sin embargo, en los pocos parches que todavía quedan sin construcciones, las especies dominantes son *Salsolakali* y *Chrysanthemum coronarium*, exóticas y, en menor abundancia, hay *Mesembrythemum crystallinum* con algunos arbustos nativos de *Isocoma menziesii* de la var. *menziesii*, así como herbáceas *Eremocarpus setigerus* y *Distichlis spicata*. Hacia el sur, en los campos, hay una mayor diversidad de especies nativas. En esta zona podemos encontrar *Chamaesyce micromera*, *Verbena bracteata*, y *Cressa truxillensis* (parasitada por *Cuscuta salina*) y *Malacothamnus marruboides*, que es la especie dominante.

Fauna

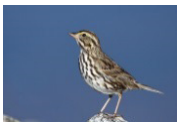
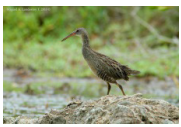
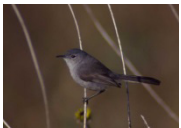
Existen registros de ratón común (*Mus musculus*), ardilla terrestre (*Spermophilus beecheyi*), conejo (*Sylvilagus audubonii*) y liebre de cola negra (*Lepus californicus*) (Erickson *et al.*, 2002). Escofet y Espejel (1991) mencionan que en temporadas de lluvias se podían observar varias especies de ranas e insectos del orden de

los odonatos, mejor conocidos como libélulas o caballitos, que es raro que se encuentran en otra parte de Ensenada. En cuanto a las aves, se han registrado 78 especies, de las cuales 18 son migratorias. Existen varias especies citadas dentro de la Norma Oficial Mexicana (NOM-059-SEMARNAT-2010) con algún estatus de protección. En la Tabla 3 se muestra un listado con algunas de las especies más representativas

de la zona de estudio.

Otra especie que no se encuentra en la norma oficial mexicana pero que habita esta zona es el pato *Oxyura jamaicensis*, que interactúa con otras especies que permiten mantener en equilibrio la red trófica del ecosistema.

Tabla 3. Listado de avifauna con estatus especial, registrada en La Lagunita (IMIPE A. C. y otros 2013).

Familia	N. Científico	N. común	Categoría	Distribución	Foto
Accipitridae	<i>Accipiter cooperii</i>	Gavilán de Cooper	Pr	E	
Emberizidae	<i>Passerculus sandwichensis beldingi</i>	Gorrión sabanero	A	p*	
Laridae	<i>Larus heermanni</i>	Gaviota Paloma	Pr	p*	
Laridae	<i>Sterna elegans</i>	Charran elegante	A	p*	
Rallidae	<i>Rallus longirostris</i>	Rascon Picudo	A	p*	
Sylviidae	<i>Polioptila californica atwoodi</i>	Perlita californiana	A	P	
Anatidae	<i>Branta bernicla nigricans</i>	Ganso de collar	A	O	
Scolopacidae	<i>Calidris canutus</i>	Playero Cauto	P	O	

Abreviaturas:

Categorías: P - en peligro de extinción, A - amenazada, Pr - sujeta a protección especial. Distribución: P - residentes permanentes, O - visitantes ocasionales, E - visitantes estacionales, * - especies que anidan en el humedal.

Valor histórico

Desde hace más de dos mil años La Lagunita, junto con otras lagunas costeras de Ensenada, fue utilizada por los indígenas Tipai o Kumiai como área para campamentos estacionales costeros-playeros. Las dunas ofrecían protección contra los vientos fríos y fuertes, lo que creaba buenas condiciones para la supervivencia. Allí los indígenas podían encontrar gran variedad de animales y plantas que les servían como alimento y materia prima, además de suficiente agua dulce en sus inmediaciones (Claudia Leyva, comunicación personal, 2013).

Valor social

Los elementos que dan forma a la mancha urbana de la ciudad de Ensenada y que definen su estructura son la franja costera, los cerros circundantes que encierran la planicie costera (mayormente ocupada por la ciudad), el valle agrícola de Maneadero, el vaso de la presa y los arroyos Ensenada, Aguajito y El Gallo (IMIP, 2009).

En el Programa de Desarrollo Urbano de Centro de Población de Ensenada 2030, una de las problemáticas ambientales urbanas es el déficit de áreas verdes, el cual es sólo de 1.78 m² por persona. La Organización Mundial de la Salud (OMS) establece la necesidad de que las ciudades cuenten con al menos 9 m² de áreas verdes por habitante para tener una buena calidad de vida (IMIP, 2009). Desde el punto de vista social una mayor cantidad de áreas verdes y espacios públicos permite la realización de diversas actividades recreativas que mejorarían la calidad de vida (Reyes y Figueroa, 2010).

Ruth Rosas (2008), en su Propuesta de Plan de Manejo para la Playa Municipal de Ensenada sugiere que La Lagunita posee un alto valor paisajístico, ambiental y recreativo debido a su ubicación, dimensiones, acceso y atributos

naturales. Diferentes organizaciones académicas utilizan la zona para efectuar visitas recreativas, prácticas educativas, investigación científica y difusión de valores ambientales. Además científicos y académicos locales realizan prácticas de campo y diferentes estudios biológicos y ecológicos (Cervantes et al., 2008; Ruíz-Campos et al., 2005; Escofet y Espejel, 1991; Espejel y Escofet, 1990), debido a la riqueza ecológica de este espacio.

Valor económico

La valoración económica de un recurso puede definirse como el intento de asignar valores cuantitativos a los bienes y servicios proporcionados por el recurso en cuestión, independientemente de si existen o no precios de mercado que ayuden a hacerlo (Barbier et al., 1997). De acuerdo con Roche (1995), todo ecosistema posee un valor en sí, un valor en el sentido ecológico, relacionado con su funcionalidad químico, física y biológica propia. Sin embargo, las razones que hacen que los humedales sean legalmente declarados como áreas protegidas, tienen que ver con el valor que la sociedad les asigna y que necesariamente se refiere a la utilidad y a la importancia que tienen para las personas que directa o indirectamente se benefician de dichos ecosistemas.

Actualmente, los humedales costeros son reconocidos como ecosistemas altamente productivos, pues proporcionan diversos bienes y servicios ecosistémicos que brindan a la sociedad grandes beneficios como: la regulación de caudales, almacenamiento de agua, recarga de mantos acuíferos, estabilización de suelos, protección contra tormentas y huracanes, estabilización de la línea de costa. Además, permiten el desarrollo de gran número de especies animales y plantas, lo que contribuye a la estabilización del clima, y a la purificación de la atmósfera y del agua (Barbier et al., 1997; Lambert, 2003, Cortés et al., 2009; Scodari, 1990).

Además el valor paisajístico de estos lugares es un importante atractivo para el desarrollo turístico. Para que los investigadores valoren los usos de los humedales y quienes tomen decisiones sobre ellos los tomen en cuenta al elaborar políticas que afecten a los humedales, se necesita un marco para diferenciar y clasificar sus valores.

El valor económico total (VET) se define como el monto total de recursos que los particulares están dispuestos a pagar para aumentar la cantidad de servicios provenientes del humedal. Está formada por los valores de uso y los valores de no uso:

$$VET = VU + VNU \quad (1)$$

Los valores de uso (VU) suponen alguna interacción del hombre con el recurso y están relacionados con los valores de uso directo (VUD) y los valores de uso indirecto (VUI) que los usuarios otorgan a los recursos para satisfacer sus necesidades.

Los valores de no uso (VNU) están constituidos por valores de opción (VO), también llamados valores de uso futuro y se refieren a la posibilidad

de utilizar los recursos. Los valores de existencia (VE) están relacionados con la valoración positiva que las personas asignan al humedal por el simple hecho de que exista, aun cuando no utilicen el recurso ni piensen hacerlo en el futuro. De acuerdo con lo anterior, la ecuación 1 puede ser reescrita como:

$$VET = VUD + VUI + VO + VE \quad (2)$$

La Tabla 4 contiene ejemplos de aplicación del marco de valoración económica total a algunos humedales. La importancia de la aplicación de estos valores es de mantener las funciones naturales del ecosistema de la manera más pura posible, para que adquiera un valor económico y genere beneficios (Lambert, 2003).

Las playas de la Bahía de Todos Santos se encuentran en un corredor de aves migratorias (Figura 14). Esto hace que los humedales como La Lagunita y el Estero de Punta Banda sean áreas de descanso y reproducción. Esta zona tiene gran potencial para el ecoturismo, enfocado principalmente a la observación de aves.

Tabla 4. Valoración económica y clasificación total de humedales.

Valor de uso directo	Valor de uso indirecto	Valor de opción/ cuasi-opción	Valor de existencia
• Pesca • Agricultura • Leña • Recreación • Transporte • Explotación de fauna y flora silvestres • Turba/energía	• Retención de nutrientes • Control de inundaciones • Protección contra tormentas • Recarga de acuíferos • Apoyo a otros ecosistemas • Estabilización del microclima • Estabilización de la línea de costa • Etc.	• Posibles usos futuros (directos e indirectos) • Valor de la información en el futuro	• Biodiversidad • Cultura, patrimonio • Valores de legado

Fuente: adaptado de Barbier (1989, 1993, 1994) y Scodari (1990).

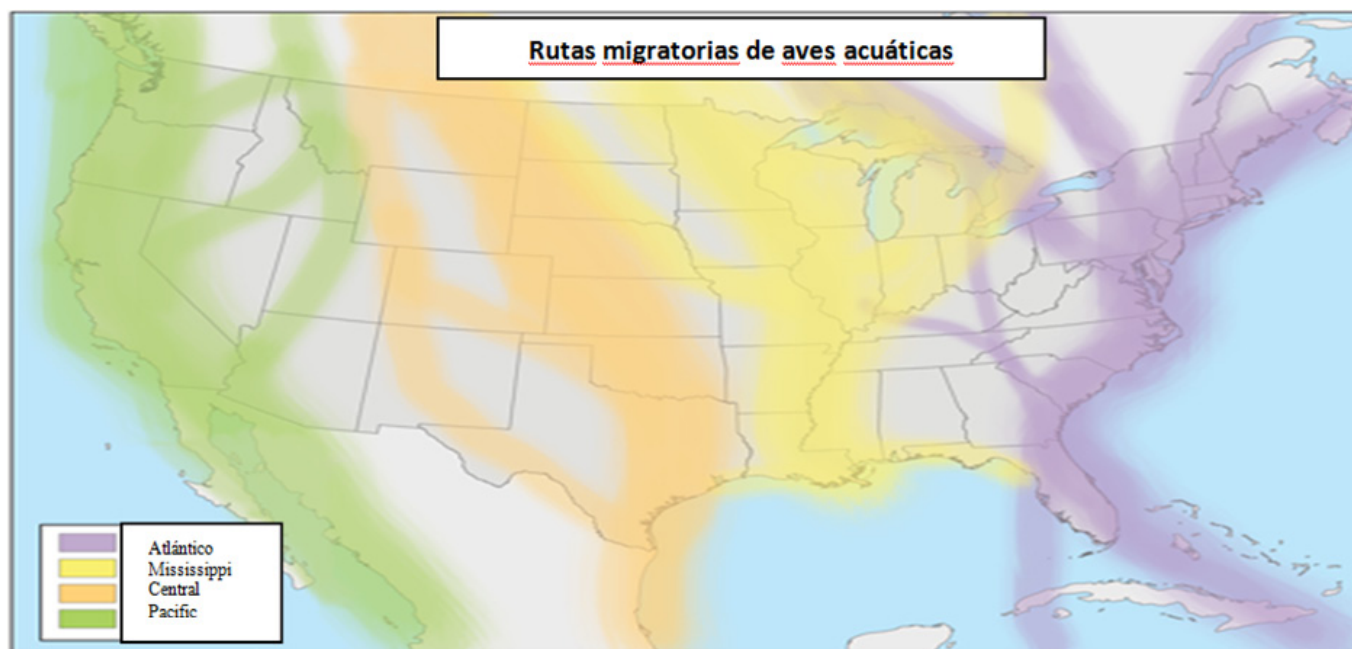


Figura 13. Mapa de las rutas migratorias de aves acuáticas . Wikipedia Norte América. Consultado en agosto de 2013.

La observación de aves es una actividad de turismo sustentable, que puede proporcionarle a la ciudad de Ensenada ingresos económicos pues tiene numerosos adeptos. Como casos exitosos, Estados Unidos, Costa Rica, Madagascar y Kenia reciben importantes ingresos anuales gracias a esa actividad. En Estados Unidos es muy popular y Ensenada se podría proyectar como un sitio atractivo para los aficionados de ese país y, en conjunto con el sendero interpretativo en el estero de Punta Banda, la bahía de San Quintín y bahía de los Ángeles, al sur del municipio, diversificaría el atractivo turístico del municipio de Ensenada (Rosas, 2008).

Conclusiones

La Lagunita de El Ciprés es uno de los últimos cuerpos de agua que existen en la ciudad de Ensenada y en los últimos 25 años se han presentado múltiples iniciativas y propuestas para el uso de este espacio. Sin embargo, la ausencia de un acuerdo entre las partes involucradas, así como la desinformación, han generado una

gran polémica y han hecho que el futuro de este espacio sea incierto.

De acuerdo a cada aspecto tocado en esta revisión se llegaron a las siguientes conclusiones: La Lagunita es una marisma de agua dulce en la planicie costera de Todos Santos. Es el último de varios cuerpos de agua con similares características que se encontraban en esta planicie y que fueron rellenados durante el crecimiento y desarrollo de la ciudad de Ensenada. Está ubicada sobre arenas y limos del Cuaternario (menos de 1.6 millones de años).

La región recibe una precipitación total promedio de 266.5 mm durante el invierno. La cuenca hidrográfica que alimenta a La Lagunita, posee un cauce principal único con un rango de elevación de 57 a 2 msnm y 2.75 km de longitud, con un área de captación de escorrentía superficial de 4 km², aproximadamente. Tiene una pendiente llana media de 1.92% y un tiempo de concentración y viaje de escorrentía de 30 minutos. Debido a que depende únicamente del escaso aporte

pluvial, el cauce debe permanecer libre, no encausado artificialmente y debe desembocar en este humedal para evitar su reducción y/o desecamiento.

Su conservación garantizaría la diversidad biológica, fuente de agua y productividad primaria de muchas especies vegetales y animales. También permitiría mantener las funciones hidrológicas y biológicas del lugar, además de ofrecer protección contra tormentas y mitigación de crecidas, estabilización de la costa y control de la erosión, recarga de acuíferos, depuración de aguas, retención de nutrientes, retención de sedimentos y retención de contaminantes.

La Lagunita tiene diferentes usos recreativos, educativos y académicos que compiten con la perspectiva de los dueños de los predios colindantes pues la zona es un atractivo para algunos inversionistas, principalmente inmobiliarios. Una amenaza permanente es su uso como tiradero de escombros y basura, así como zona para prácticas de arranques de vehículos motorizados.

Mantener el humedal de la manera más natural posible agrega valor económico y genera beneficios a los habitantes de la ciudad al proponer actividades ecoturísticas, como el avistamiento de aves.

Agradecimientos

A la Dra. Claudia Leyva Aguilera de la Facultad de Ciencias de la UABC, por el apoyo e información proporcionada acerca de la Lagunita El Ciprés. Al Dr. Rogelio Vázquez de la División de Ciencias de la Tierra del CICESE, por su apoyo en dar información acerca de la problemática de agua que sufre nuestra ciudad, Ensenada, B.C. Agradecemos los comentarios efectuados por un revisor anónimo.

Referencias

- Anaya, Violeta, Ayala, Fernando, Huaico, Ana, Mielles, Alejandro, Ortega, Ana María, Puma, Adriana, Ruíz, Erika y Velásquez, Alejandra. (2009). Propuesta de áreas naturales urbanas en el centro de la población de Ensenada. Tesina. Maestría. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, B. C., México.
- Aranda Manteca, F. J. (1983). Estudio de minerales pesados como trazadores de la corriente litoral en la Bahía de Todos los Santos, B. C. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, B. C., México.
- Barbier, E.B. (1989). The Economic Value of Ecosystems: 1 - Tropical Wetlands. LEEC Gatekeeper Series 89-02. London Environmental Economics Centre.
- Barbier, E.B. (1993). Valuing Tropical Wetland Benefits: Economic Methodologies and Applications. Geographical Journal. Part 1, 59: 22-32.
- Barbier, E.B. (1994). Valuing Environmental Functions: Tropical Wetlands. Land Economics. 70 (2): 155-73.
- Barbier, E. B., Acreman, M. C. y Knowler, D. (1997). Valoración económica de los humedales – Guía para decisores y planificadores. Oficina de la Convención de Ramsar, Gland, Suiza.
- Campos-Aranda, D. (1992). Procesos del Ciclo Hidrológico. 2da reimpresión. UASLP-Facultad de Ingeniería, México.

- Cervantes, O., Espejel, I., Arellano, E. and Delhumeau, S. (2008). User's perception as a tool to improve urban beach planning and management. *Environmental Management*, 42 (2), 249-264.
- Cortés Calva, Patricia, Galina Tessaro, Patricia y Berceda, Aurora. (2009). Importancia de los humedales Ramsar en México. Ciencia, Tecnología e Innovación para el Desarrollo. La Paz, B. C. S. Recuperado de: <file:///C:/Documents%20and%20Settings/Amelia/My%20Documents/Downloads/PCTI%2037%20Importancia%20de%20los%20humedales%20Ramsar%20en%20Mexico.pdf>
- Erickson, R. A., Hamilton, R. A., González-Guzmán, S. y Ruiz-Campos, G. (2002). Primeros registros de anidación del pato friso (*Anas strepera*) en México. *Anales del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoológica* 73(1): 67-71.
- Escofet, A. y Espejel, I. (1991). La belleza de lo pequeño II. *ConCiencia* 6. Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de Baja California, México.
- Espejel, I. y Escofet, A. (1990). La belleza de lo pequeño I. *ConCiencia* 5. Facultad de Ciencias, UABC.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (INEGI). (1995). Estudio hidrológico del estado de Baja California, México. INEGI.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (INEGI). (2012). Documento Técnico Descriptivo de la Red Hidrográfica, escala 1:50'000, ed. 2.0. Recuperado de: http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/PDF/Doc.pdf (abril 2013).
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. (INEGI). (2013). Software en línea: Simulador de Flujos de Agua de Cuencas Hidrográficas. Recuperado de: http://antares.inegi.org.mx/analisis/red_hidro/SIATL/. Consultado en abril del 2013.
- Instituto Municipal de Investigación y Planeación de Ensenada, B.C. (IMIP). (2009). Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Ensenada 2030. En: Periódico Oficial del Estado de Baja California. Recuperado de: <http://www.bajacalifornia.gob.mx/portal/gobierno/legislacion/periodico/2009/SECC-II-13-03-2009.pdf>
- Instituto Municipal de Investigación y Planeación de Ensenada, Asociación Civil. (IMIP); Pro Esteros, A.C.; Haciendo lo Necesario, A. C.; Centro Mexicano de Estudios para la Conservación, A. C.; Pro Playitas, A. C.; Lorax Consultores S. A. de C. V.; Dirección de Ecología del XX Ayuntamiento de Ensenada; Arte y Medio Ambiente en Armonía, Ensenada Artist Association, A. C.; Héctor Benet Contreras. (2013). Estudio previo justificativo para la creación del área natural protegida: Parque Estatal "La Lagunita", Ensenada, B.C. Recuperado de: <http://www.spabc.gob.mx/noticias/view/id/114/dep/0> (abril 2013).
- Jones, C. (1995). Land use management plan: Lagunita El Ciprés, Ensenada, Baja California Norte, México. Tesis de maestría en Ciencias, University of Arizona, Tucson.
- Lambert, A. (2003). Valoración económica de los humedales: un componente importante de las estrategias de gestión de los humedales a nivel de las cuencas fluviales. Recuperado de: http://www.ramsar.org/cda/es/ramsar-news-archives-2003-economic-valuation-of/main/ramsar/1-26-45-86%5E16205_4000_2_. Consultado en

abril 2013.

NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental -Especies nativas de México deflora y fauna silvestres -Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio- Lista de especies en riesgo. Recuperado de: <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/DO2454.pdf>

Poder Ejecutivo del Estado de Baja California. (2009). Programa de Desarrollo Urbano del Centro de Población de Ensenada, B. C. Periódico Oficial del Estado de Baja California, No. 13.

PRO ESTEROS (2001). <http://proesteros.cicese.mx/proyecto1.html>. Consultado en abril 2013.

Ramsar Convention Secretariat. (2006). The RAMSAR Convention manual: a guide to the Convention on Wetlands (RAMSAR, Iran, 1971), 4th edition, Gland (Suiza)

Reyes, S. y Figueroa, I.M. (2010). Distribución, superficie y accesibilidad de las áreas verdes en Santiago de Chile. EURE, 36(109), 89-110.

Roche, H. (1995). Humedales: un enfoque económico. Programa de Conservación de la Biodiversidad y Desarrollo Sustentable en los Humedales del Este (PROBIDES). Recuperado de: <http://www.probides.org.uy/publica/dt/DT05.pdf>. Consultado en abril 2013.

Rosas, R. (2008). Propuesta de plan de manejo para la playa municipal de Ensenada, Baja California, México. Tesina. Especialidad de Gestión Ambiental. Universidad Autónoma de Baja California.

Ruiz-Campos, G., Palacios, E., Castillo-Guerrero, J. A., González-Guzmán, S., Batche-González, E. H. y Pronatura, A. C. (2005). Composición espacial y temporal de la avifauna de humedales pequeños costeros y hábitat adyacentes en el noroeste de Baja California, México. Ciencias Marinas, 31(3), 553-576.

Scodari, P.F. (1990). Wetlands Protection: the Role of Economics. Environmental Law Institute, Washington, D.C.

Vidal, C., Romero, H. (2010). Efectos ambientales de la urbanización de las cuencas de los ríos Bío-bío y Andalién sobre los riesgos de inundación y anegamiento de la ciudad de Concepción. En: L. Pérez, R. Hidalgo. (Editores). Concepción metropolitana (AMC). Planes, procesos y proyectos. Santiago de Chile, Editorial Universidad de Concepción.

Referencias Relacionadas

CONANP, SEMARNAT (2013). Humedales de México Sitios Ramsar. Recuperado de: <http://ramsar.conanp.gob.mx/sitios.php> . Consultado en abril del 2013.

Ley de Aguas Nacionales. (1992). Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 1º de diciembre de 1992. Última reforma publicada DOF 07-06-2013. Recuperada de: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16.pdf>

Monzoria-Luna, L. H., Danemann, G.D. (2008). Humedales. En: G. D. Danemann, E. Ezcurra, editores. Bahía de los Ángeles: recursos naturales y comunidad, Línea base 2007. (p. 243-290). México. SEMARNAT. Recuperado de: http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id_pub=546

Pérez, L., Hidalgo, R. (2010). Concepción metropolitana (AMC). Planes, procesos y proyectos. Santiago de Chile, Editorial Universidad de Concepción.

Periódico Oficial del Estado de Baja California, (2013). Aviso de Designación como Área Natural Protegida de Competencia Estatal de la zona conocida como La Lagunita ubicada en el municipio de Ensenada, Baja California. Tomo CXX, No14. Mexicali, B. C., 15 de Marzo de 2002. pp 9-10.

Vázquez González, César. (2012). Diagnóstico y perspectivas para el manejo de los humedales costeros en el sistema lagunar de Alvarado, Veracruz, México. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias. México

Recepción del manuscrito: 14 de mayo de 2013.

Recepción del manuscrito corregido: 23 de septiembre de 2013.

Aceptación: 1 de octubre de 2013.

Políticas editoriales

GEOS es el boletín informativo de la Unión Geofísica Mexicana, contiene artículos de investigación originales así como artículos de divulgación y notas cortas sobre aspectos relevantes para la difusión de la actividad científica, tecnológica y docente en las Ciencias de la Tierra, así como noticias de interés para los miembros de la UGM; se publican tres números en el año en forma impresa como electrónica.

Los artículos de investigación publicados en **GEOS** deben ser **originales** y son **arbitrados** por al menos dos expertos del tema; mientras que los trabajos de divulgación son arbitrados por un especialista del tema. Los editores se reservan el derecho de decidir sobre la publicación de notas o reportes.

Son particularmente bienvenidas todas aquellas contribuciones que coadyuven a la difusión y a la enseñanza de las Ciencias de la Tierra.

Una vez concluido el proceso de arbitraje, el manuscrito será devuelto al primer autor con los comentarios de los árbitros y del editor. El manuscrito corregido en forma final será editado por el Editor Técnico de **GEOS** para su publicación impresa y electrónica. El autor principal tendrá oportunidad de revisar la versión final de su trabajo antes de publicarlo en WEB de la UGM (www.ugm.org.mx).

Cualquier cambio a la política editorial de GEOS se publicará en el primer número de cada volumen.

Instrucciones para los autores

Publicar en GEOS es gratuito, todos los manuscritos deberán enviarse en forma electrónica a cualquiera de los editores principales:

Luis Alberto Delgado Argote (CICESE)
ldelgado@cicese.mx

Liga Pérez Cruz (UNAM)
perezcruz@geofisica.unam.mx

Preparación de texto:

Podemos procesar manuscritos en formato WORD, texto ASCII o LaTeX. Se recomienda que los manuscritos no excedan 12 páginas en el formato de la revista (una página contiene aproximadamente 900 palabras).

La publicación de figuras a color en la versión impresa de GEOS no es posible por ahora, sin embargo la versión electrónica puede contener ilustraciones a todo color, se recomienda a los autores preparar sus figuras pensando en ambas ediciones.

Secciones:

Preparación de figuras e ilustraciones:

Las ilustraciones y figuras se pueden enviar en cualquiera de los siguientes formatos: **TIF, EPS, PS, DXF, DWG, PDF, JPG o WMF**; y deben enviarse en archivos individuales y separados del texto.

Con excepción de las notas, todas las contribuciones deberán incluir: título, resumen (en español y en inglés), introducción, una sección de métodos, una sección de resultados, una sección de discusión y/o conclusiones y una sección de referencias bibliográficas.

Resumen:

El no deberá exceder 350 palabras. Al prepararlo haga énfasis en los objetivos de la investigación, los resultados más importantes y las conclusiones alcanzadas. En el resumen no deben aparecer citas bibliográficas.

Introducción:

La introducción deberá destacar la relevancia del problema e incluir una revisión adecuada de publicaciones antecedentes sobre el tema. El objetivo de la introducción es enmarcar el problema dentro del estado general del conocimiento en el área que le corresponde, destacar la contribución del trabajo y motivar la lectura del artículo completo.

Metodología:

La metodología empleada en el trabajo deberá ser descrita con suficientes detalle para que otros miembros de la comunidad puedan comprenderla, pero al mismo tiempo, debe ser sencilla para que un lector inexperto pueda comprender las ideas fundamentales. Los desarrollos demasiado detallados, pero necesarios, deben diferirse a una sección apéndice.

Resultados:

Usualmente, los resultados de la aplicación de cualquier metodología pueden presentarse en forma de tablas o figuras. Evite redundancias mediante una adecuada selección de sus resultados. Los pies de figura deberán ser lo suficientemente explicativos para resaltar la importancia de lo que se ilustra sin necesidad de acudir al texto.

Discusiones y conclusiones:

En esta sección se deben discutir las implicaciones de los resultados, su concordancia o divergencia con hipótesis anteriores, construir nuevas hipótesis

derivadas de ellos, discutir sus aplicaciones prácticas y posibles limitaciones.

Referencias

Se debe incluir la lista de referencia de las fuentes utilizadas en el artículo.

Las referencias deberán estar agrupadas en orden alfabético por apellido del primer autor. Sugerimos utilizar el estilo de citación recomendado por Harvard University. Presentamos algunos ejemplos para facilitar la citación.

Si la citas textuales tienen 40 palabras o menos, utilice comillas al principio y al final de la misma y mencione el apellido del autor, el año y la página de donde proviene la cita. Si tiene más palabras, utilice párrafo con diferente sangría. Si un autor es citado más de una vez el mismo año, utilice el sufijo: a, b, etc. para distinguir el trabajo.

Aquellos manuscritos que no estén en publicados (aceptados o en prensa) no deberán incluirse en la referencias. Los artículos de divulgación podrán agregar una sección de referencias recomendadas.

Formato para citas:

Para cada autor o co-autor, escriba con mayúscula únicamente la primera letra del apellido y después las iniciales, agregue el año entre paréntesis. Utilice letras mayúsculas sólo en la primera letra del título y para nombres propios.

Cuando haga la referencia de un artículo de publicación periódica, incluya el nombre completo de la revista, volumen y páginas. Por ejemplo:

Alvarez-Borrego, S. (1996). Satellite derived photosynthetic pigment surveys: A review of marine phytoplankton biomass and productivity, *Geofísica Internacional*, v. 35(1), 51-61.

Ripa, P., y Velázquez, G., (1993), Modelo unidimensional de la marea en el Golfo de California, *Geofísica Internacional*, v. 32(1), 41-56.

Sánchez-Sesma, F. J., and Luzón, F., (1995), Seismic response of three-dimensional alluvial valeys for incident P, S, and Rayleigh waves, *Bulletin of the Seismological Society of America*, v. 85(1), 269-284.

Cuando haga referencia de un libro completo, incluya los siguientes datos.

Winkler, H.G.F. (1967). *Petrogenesis of metamorphic rocks*. 2nd ed. New York, 237 p.

Cuando haga la referencia de una parte de un documento o capítulo de libro, incluya los siguientes datos.

Lomnitz, C., (1995), Diez años después: una reinterpretación de la catástrofe de 1985. En: F. Medina-Martínez, L. A. Delgado-Argote y G. Suárez-Reynoso, editores, *la Sismología en México: 10 años después del temblor de Michoacán del 19 de Septiembre de 1985 (M=8.1)*, (p. 61-67). Unión Geofísica Mexicana, Monografía No. 2.

Cuando haga la referencia de una tesis, debe hacer mención al grado. Ejemplo:

Gutiérrez Carmona, D.M. (2014). Estudio magnetotelúrico de la Falla Agua Blanca, Baja California, México. Tesis de maestría. Centro de Investigación y Educación Superior de Ensenada, Baja California. México.

Cuando haga la referencia de recursos electrónicos, incluya los datos completos y la dirección electrónica. Ejemplo:

Ripa, P. y Velázquez, G. (1993). Modelo unidimensional de la marea en el Golfo de California, *Geofísica Internacional*, 32 (1), 41-56. Recuperado de: [http://](http://www.raugm.org.mx/publicaciones/GeofisicaInternacional/GI%201993%20V.32/GI%201993%20V.32%20N.1%20p.%2041.pdf)

www.raugm.org.mx/publicaciones/GeofisicaInternacional/GI%201993%20V.32/GI%201993%20V.32%20N.1%20p.%2041.pdf

Instituto Nacional de Estadísticas y Geografía (México). <https://www.google.com.mx/webhp?sourceid=chrome-instant&ion=1&espv=2&ie=UTF-8#q=inegi>

Presentaciones gráficas (gráficas, diagramas, mapas, dibujos, figuras, ilustraciones en general, fotografías, etc.)

Cuando las presentaciones gráficas son tomadas de otro autor o página web, debe mencionarse la fuente de donde fue tomada.

Ejemplos:
Tomado de Google Hearth (2014).
Modificado de Pérez (2014) p. 234.

Unidades

Con algunas excepciones, todas las unidades físicas deberán expresarse en el Sistema Internacional de unidades (SI). Las siguientes excepciones son aceptables:

densidad en g/cm³
presión en bar

Expresiones matemáticas

Escriba sus ecuaciones en la forma más simple posible, utilizando signos de puntuación. Utilice itálicas para todos los símbolos, exceptuando las letras griegas. Vectores y matrices se escribirán con negrillas. Numere en forma consecutiva y entre paréntesis todas las ecuaciones que aparezcan en el texto.

$$\mathbf{u}_h(x, z, t) = (U_j^x(t)\phi_j(x, z), U_j^z(t)\phi_j(x, z))^T \quad (1)$$

Recordamos a todos los miembros de la Unión Geofísica Mexicana, A.C.
que la cuota es de \$400.00 para investigadores
y \$300.00 para estudiantes.

página internet: www.ugm.org.mx

Con un cordial saludo

Luis A. Delgado Argote y Ligia Pérez Cruz
Editores

Costo anual de anuncios en GEOS

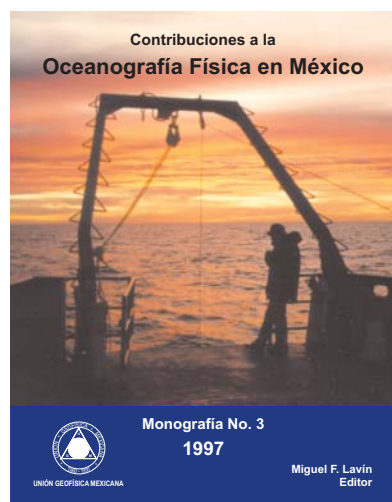
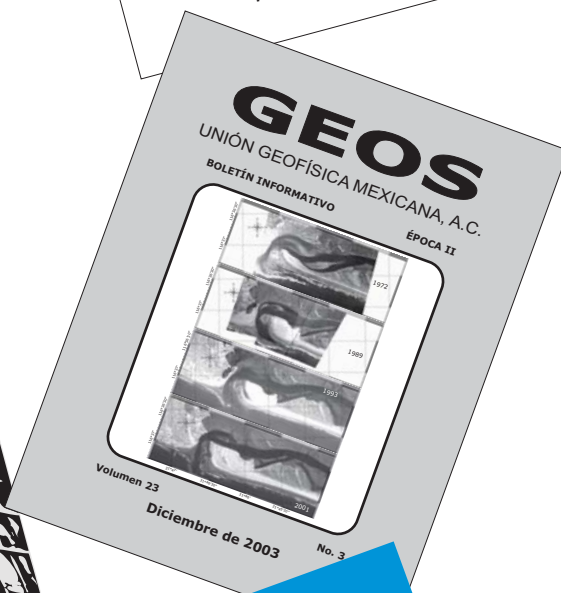
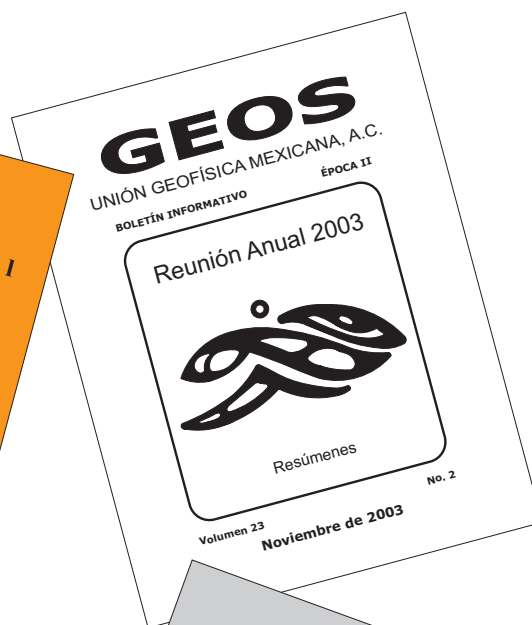
Instituciones:	Comerciales y Gubernamentales	Académicas
Página completa	\$4,000.00	\$2,000.00
Media página	\$2,000.00	\$1,000.00

GEOS

Información con:

Ivonne Pedrín Morales
División de Ciencias de la Tierra
Tel: 01(646)174-5050
Ext: 26004
Correo electrónico: ipedrin@cicese.mx





Tus trabajos de investigación y divulgación tienen cabida en estos foros de la Unión Geofísica Mexicana, A.C.