Impacto natural-antropogénico en el flujo y los niveles piezométricos del acuífero del río Sinaloa

M. Norzagaray-Campos[1*] C. García-Gutiérrez[1], P. Muñoz-Sevilla[2]

[1] CIIDIR Sinaloa, Carretera a Las Glorias, km. 1, Apdo. postal 280, Guasave, Sin.
[2] CIIEMAD. Calle 30 de Junio de 1520, Barrio la Laguna Ticomán, Del. Gustavo A. Madero México. D.F.

Natural-antropogenic impact in the flow and piezometrics level on aquifer sinaloa river

Abstract
In 70´s When arrived to Mexico the ´Green Revolution´ arose the technical and economic adjustments on the field which lifted the costs and arrived problematic social-environmental. In presence of this agricultural event on ´Heart Agricola of México´, the objective in this work was evaluate in groundwater of Sinaloa River the impact caused in the piezometrics levels. Was compiled information of 38 years (1970-2008) of the depth water table in 40 wells and in field was measure the level of the surface of the land and hydraulic Head was calculated. The results shows a flow regional and other intermediate which travel at a speed average of 4,2 x 10^{-3} m hr^{-1} with volumes near at 3, 473,73 Mm^3. Since Head average of 70´s (27,2 masl) there are not a significant recovery; and the aquifer was recovered only 2,1 m. On the coastal zone appeared a drawdown with a evolution in 80´s of -10, in 90´s of -6,8, and from 2000 to 2008 of -4,2 masl.

Key words: groundwater Sinaloa River, water table, hydraulic Head, drawdown.

Resumen
En los 70´s cuando llegó a México la "Revolución Verde" empezaron los ajustes técnicos y económicos necesarios en el campo que elevaron los costos y provocando problemas socio-ambientales. En presencia de ese suceso agrícola en el "Corazón Agrícola de México", el objetivo fue evaluar el impacto en los niveles piezométricos del acuífero del Río Sinaloa. Se recopiló información de 38 años (1970-2008) de la profundidad del nivel freático en 40 pozos. En campo se midió la cota de la superficie del terreno y se les calculó la carga hidráulica. Los resultados muestran un flujo de tipo regional y otro intermedio que viajan a una velocidad promedio de 4.2 x 10-3 m hr^{-1} con volúmenes de hasta 3, 473.73 Mm3. A partir de la carga hidráulica de los 70´s (27.2 msnm) no existió una recuperación significativa y el acuífero se recuperó 2.1 m; además en la zona costera, se presentó un abatimiento con una evolución en los 80´s de -10, en los 90´s de -6.8, y del 2000 al 2008 de -4.2 msnm.

Palabras clave: acuífero del Río Sinaloa, nivel freático, carga hidráulica, diagnóstico, abatimiento.

Introducción

A partir de 1975 en México la explotación de acuíferos se ha incrementado: 32 en 1975, 80 en 1985, 97 en 2001, 102 en 2003 y 104 en 2005, al grado de que para satisfacer las demandas de la labranza actualmente se explota el 15 % de los 653 existentes. Los niveles de impacto en sus propiedades naturales son altos y actualmente se acerca al 60% en los más importantes (GP, 2008). Según datos de la SEMARNAT (2007) y de la CONAGUA (2008), en México la recarga en éstos no es suficiente y es poca el agua disponible para satisfacer las necesidades nacionales. De continuar

*Autor de correspondencia
E-mail: mnorzaga@ipn.mx; Tel: 52 (687) 2 96 26 y 25 (fax 2 96 25) ext. 87615

explotándolos a altos ritmos, y no regulárseles el suministro se esperan una serie de problemáticas socio-económicas (Morales, 2005). Este escenario ha alcanzado la costa Noroeste del Pacífico Mexicano, donde los principales acuíferos ya enfrentan los impactos debidos a una explotación excesiva. Algunos ejemplos serían los acuíferos del Sureste de Sonora y del Noroeste de Sinaloa (Canales e Islas, 2005), cuyas regiones en los 70´s consideradas por ideales de la "Revolución Verde" tuvieron un uso excesivo del suelo y actualmente por las prácticas agrícolas y ganaderas así como los desastres naturales presentan alteraciones en su hidrodinámica natural. Entre estas regiones, la que ocupa el acuífero del Río Sinaloa (denominada como el "Corazón Agrícola de México" por ser una fuente importante para la subsistencia alimentaria nacional e internacional; y un pilar de la economía mexicana) enfrenta junto a la herencia del pasado largas sequías, torrenciales intensos y una excesiva explotación (Llanes, 2007). Con el fin de comprometer a este acuífero costero con los planes de la globalización actual se consideró importante conocer el impacto sobre sus niveles piezométricos y determinar la naturaleza de sus flujos subterráneos. Con los resultados se espera brindar conductos para que la sustentabilidad llegue a esta región y se generen los mecanismos para enfrentar con firmeza la nueva dinámica Mundial (Carrillo y Cardona, 1996).

Material y Métodos

Los paisajes del área de estudio se remontan al Precámbrico (2, 300 M.a), a escenarios deformados por fallas, fracturas marinas y depósitos marinos calcáreos afectados por diversas intrusiones durante el Paleozoico (405-600 M.a). Los primeros sedimentos continentales se depositaron durante el Mesozoico (180-230 M. a) y formaron bahías que se posteriormente se rellenaron en el Terciario con materiales fluviales, aluviales y costeros de donde surgió la actual Cuenca del Río Sinaloa. Actualmente la región tiene un clima húmedo-seco (Norzagaray *et al.*, 2006) y una superficie aproximada de 4, 500 km^2 (0.20 % de la superficie nacional) (INEGI-Gobierno del estado de Sinaloa, 1998). Al Norte colinda con la Sierra Madre Occidental, al Oeste con el Golfo de California; y cuenta con 4 afluentes principales: Río Sinaloa, Arroyo de Cabrera, Arroyo de Ocoroni y el Canal del Valle del Fuerte (Figura 1).

Para cumplir con los objetivos del presente diagnóstico, en un período de 38 años (1970-2008) se recopilaron datos de la profundad del nivel freático (Nf) en 40 pozos de la CONAGUA. En campo cada uno se localizó y se posicionó con un GPS portátil GARMIN Olathe de 12 canales, y con un teodolito electrónico APEX modelo ET-5 de desviación estándar 0.05, bajo la técnica de "arrastre", se les midió con respeto al nivel medio del mar (msnm) la cota de la superficie del terreno. Dado que el acuífero del Río Sinaloa mediante un estudio realizado para la SARH en 1978 por la empresa Técnicas Modernas de Ingeniería fue declarado como tipo libre, se consideró que la carga hidráulica ($\overline{H}$) en los 40 pozos debía coincidir con la altura del Nf. Por lo que siguiendo los criterios de Fregenal (2004) ésta se calculó restando a la cota de la superficie del terreno la profundidad del Nf. Esta última fue medida con una sonda de nivel de agua de la marca SOLINST modelo102. Todas las $\overline{H}$ fueron interpoladas mediante un krigeado (Emery, 2007) en el programa de cómputo SURFER 8.0 de donde se obtuvieron los mapas de isopiezas, y perpendicular a las isopiezas se definieron las direcciones del flujo subterráneo (Hiscock, 2005) indicadoras del tránsito de agua subterránea a través del medio poroso y de la presencia de flujos que caracterizaron la recarga del acuífero. Por otra parte las variaciones de las propiedades físicas de este acuífero, reportadas por Norzagaray *et al*. (2004) se interpolaron con las mismas herramientas que se elaboraron estos mapas, y en el programa de cómputo FLOWpath 8.0 se calculó la velocidad promedio del flujo subterráneo (Fetter, 2001). Los resultados se apilaron sobre una traza urbana que se elaboró en Arc View 3.2 a través de la carta G12-9 "Los Mochis" del Instituto Nacional de Estadística y Geografía de INEGI.

Resultados

Los mapas piezométricos A, B, C y D de la figura 2 muestran la evolución de los niveles piezométricos y la parte E ilustra las líneas de flujo. En esta figura se denota la presencia de dos flujos, el primero

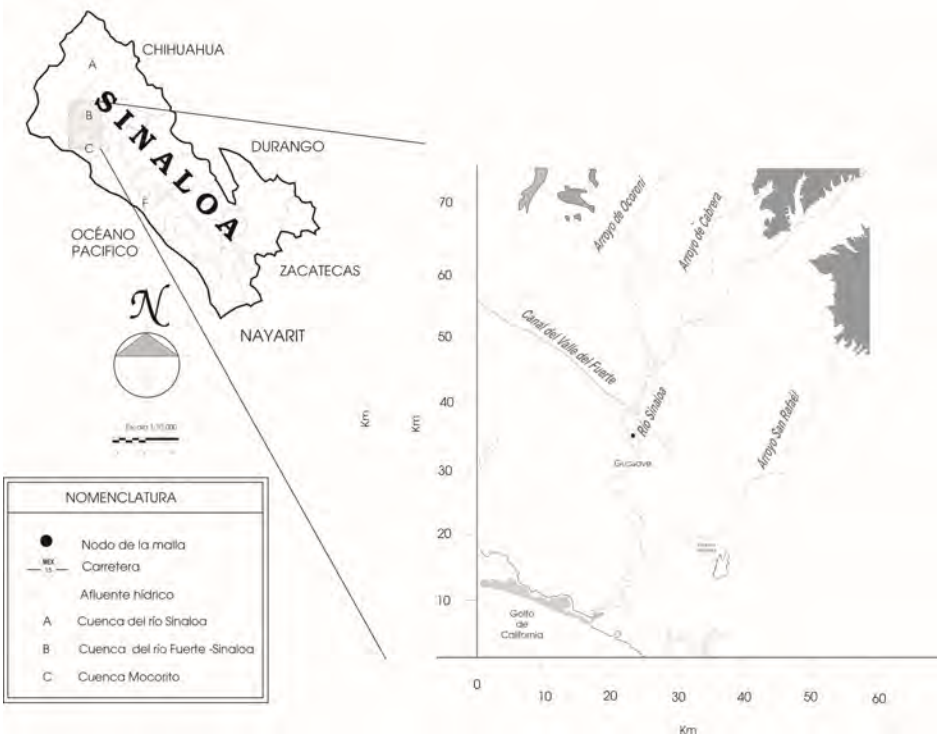


Figura 1. Localización del acuífero del Río Sinaloa.

proviene del Noroeste y en los 38 años las $\overline{H}$ por donde entra al acuífero se mantuvieron constantes entre los 36 y 44 msnm con una cobertura promedio de 495 km^2. Algunas de sus aguas se vertieron al Arroyo de Cabrera y otras al de Ocoroni, pero en la costa se conjuntaron para ser dirigirlas rumbo al Golfo de California. El segundo circuló desde el Sudoeste y durante el presente diagnóstico manifestó la siguiente evolución de $\overline{H}$: de 1970 a 1989 de 32 a 42 msnm y de 1990 al 2008 de 36 a 44; con una cobertura promedio de 324 km^2. Algunas de sus aguas la dirigió al Río Sinaloa y otras al Arroyo de San Rafael, y al igual se conjuntaron en la costa para dirigirlas a su destino final, el Golfo de California (Figura 2, parte D). Ambos flujos tuvieron una velocidad promedio de 4.2 x 10^{-3} m h^{-1} y acumularon un volumen de agua de hasta 3, 473.73 Mm^3. Entre 1970 y 2008 la hidrodinámica del acuífero se caracterizó por una $\overline{H}$ de 25.5 msnm (con un mínimo de -9.95 msnm registrado en los 80´s y un máximo de 51.8 en los 70´s), de la cual el registro de $\overline{H}$ en los 70´s fue de 27.2 msnm (Figura 2, parte A) y la de los 80´s de 23.8 msnm (mínimo de -9.95, máximo de 47.98 msnm); menor en un 12.5 % a la de los 70´s (Figura 2, parte B).

En los 90´s la $\overline{H}$ fue de 25 msnm (mínimos de -6.82 y máximo de 49.11 msnm); menor en un 9 % a la de los 70´s y mayor en un 5 % a la de los 80´s (Figura 2, parte C). Del 2000 al 2008 el registro de $\overline{H}$ fue de 25.9 msnm (con un mínimo de -4.2 y un máximo de 50.4 msnm), la cual fue menor en un 4.7 % a la $\overline{H}$ de los 70´s, mayor en un 8.8 % a la de los 80´s y 3.6 % mayor a la de los 90´s (Figura 2, parte D). Por otra parte en la zona costera se formó un cono de abatimiento que manifestó la siguiente evolución: en los 80´s de -10 msnm, en los 90´s de -6.8 msnm, y del 2000 al 2008 de -4.2 msnm (Tabla 1). Además en esta misma zona, junto con la dinámica costera en suelos destinados a la agricultura y la ganadería, entre las $\overline{H}$ de 12 a 28 msnm se desarrolló una zona de transición que para el 2008 conformó un abatimiento con una cobertura aproximada de 1, 350 km^2 correspondiente al 30 % de la superficie total del "Corazón Agrícola de México".

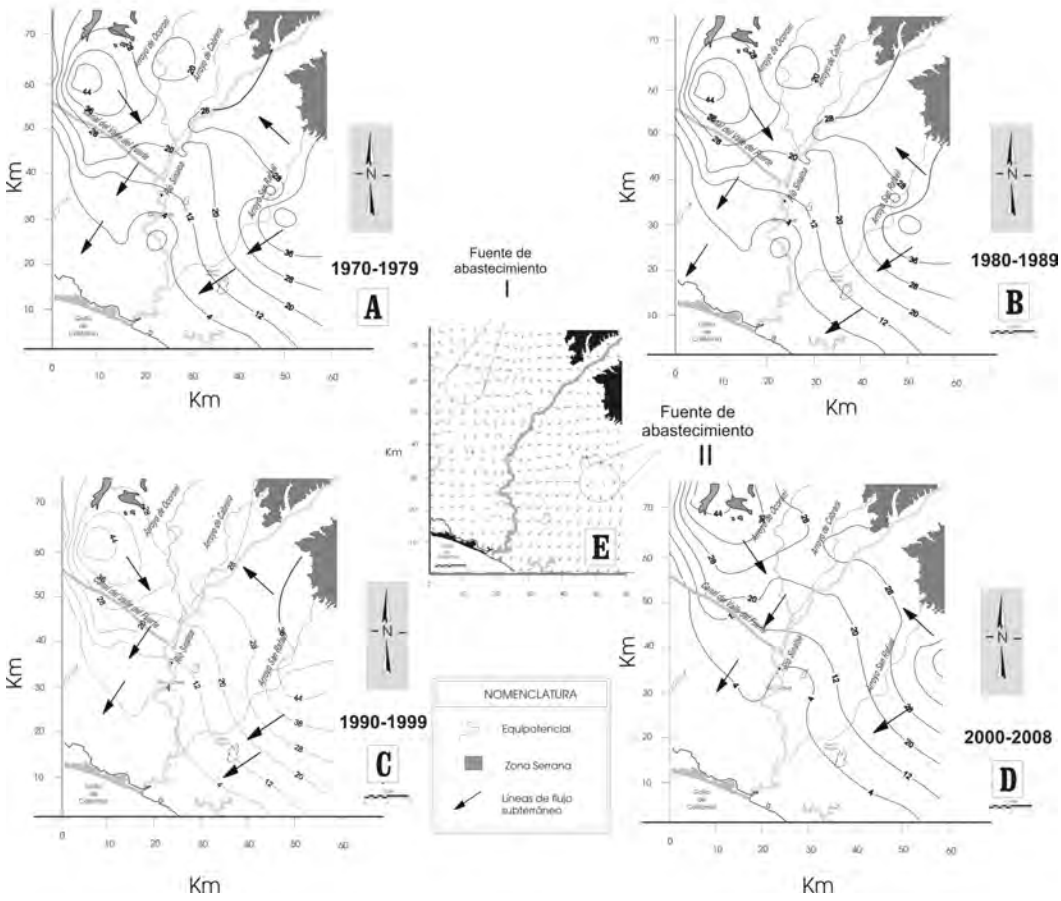


Figura 2. Mapas piezométricos y la dirección promedio del flujo subterráneo del acuífero del Río Sinaloa para el período comprendido de 1970 al 2008.

Discusiones

El flujo del Noroeste entra al acuífero como corriente regional, y según Toutcha y Soto (2005) es la de mayor aporte a la región y el flujo del Sudoeste lo hace como una corriente de tipo intermedio (Tóth, 2000). Las condiciones estáticas donde surge el flujo regional y las variaciones 10 m en 20 años (1970-1989) y de 8 m en 18 años (1990-2008) donde emerge el intermedio es el reflejo de que en el flujo regional no ha alterado la hidrodinámica natural y que el intermedio manifiesta una recuperación. El motivo de la estabilidad del regional puede ser que éste se sitúa donde no hay sistemas de riegos tecnificados y abunda la agricultura de temporal; por lo que nunca fueron aceptados ni por los ideales de la "Revolución Verde" ni por las reformas agrícolas que continuamente ocurren en el país; a diferencia del flujo intermedio; el cual si se localiza en zonas agrícolas y ganaderas aceptadas por ésta Revolución y estas reformas (Velázquez *et al.*, 2002). Los flujos en tránsito por el medio poroso se discutieron asociándolos a eventos naturales y antropogénicos ocurridos entre 1970 y 2008, y no se tomaron en cuenta los posibles impactos ocurridos en los 40´s producto de la mecanización de la agricultura del campo Noroeste del Pacífico Mexicano (Arias, 2005) e inician a partir de los 70´s cuando los ajustes técnicos y económicos de la "Revolución Verde" reflejaron un promedio en la $\overline{H}$ de 27.2 msnm. Esta hidrodinámica tendiente al agotamiento del acuífero en las zonas agrícolas y ganaderas se

Tabla 1. Variaciones/década de la carga hidráulica (msnm) del acuífero del Río Sinaloa.

Numero de pozo	Carga hidráulica (msnm)				Numero de pozo	Carga hidráulica (msnm)			
	1970-79	1980-89	1990-99	2000-08		1970-79	1980-89	1990-99	2000-08
1	14.9	13.2	13.7	14.1	21	29.8	26.9	27.8	28.5
2	15.8	14.6	15.0	15.2	22	31.0	27.4	28.5	29.4
3	14.9	12.6	13.3	13.9	23	18.4	15.9	17.1	18.1
4	19.0	17.9	18.2	18.5	24	24.1	22.4	22.9	23.3
5	21.2	18.5	19.3	19.9	25	47.4	46.2	46.6	46.9
6	25.9	20.6	22.2	23.5	26	46.3	44.3	44.9	45.3
7	37.1	36.0	36.3	36.6	27	49.4	46.9	47.6	48.3
8	32.5	30.1	31.2	32.1	28	37.8	33.0	36.3	38.9
9	22.7	21.0	21.5	21.9	29	23.1	15.1	20.4	24.8
10	21.0	17.0	18.2	19.1	30	38.0	33.5	34.9	36.0
11	35.7	32.7	33.6	34.3	31	37.1	34.0	35.9	37.4
12	29.5	22.8	24.8	26.4	32	51.8	48.0	49.1	50.0
13	32.0	28.0	29.2	30.1	33	9.1	6.1	7.0	7.7
14	33.6	31.7	32.3	32.7	34	9.1	6.2	7.1	7.8
15	32.6	29.8	30.7	31.3	35	0.6	-10.0	-6.8	-4.2
16	29.6	25.9	27.0	27.9	36	8.1	5.6	6.3	6.9
17	21.3	18.4	19.3	20.0	37	13.5	11.6	12.2	12.6
18	11.1	4.9	6.7	8.2	38	13.1	11.0	11.6	12.1
19	20.0	16.6	17.6	18.4	39	40.5	38.6	39.1	39.6
20	30.9	27.4	28.5	19.3	40	29.9	26.2	27.3	28.2

asoció a una explotación excesiva, a la escasez de lluvias, a la presencia de tormentas tropicales con grandes precipitaciones que no infiltraron al acuífero y a las altas temperaturas que provocaron las más grandes sequías jamás registradas en la historia del acuífero. Por lo que la $\overline{H}$ de 23.8 msnm de los 80´s la cual fue menor en un 12.5 % a la de los 70´s, se asoció a las sequías de principios de los 80´s, cuando el suministro hídrico se incrementó a través de una explotación del agua subterránea en la que muchos de los pozos quedaron agotados y amenazó con dejar sin agua potable y sin alimentos a las poblaciones más importantes (Bitrán, 2001). Dada la necesidad y carencia del recurso hídrico se desarrolló una mortandad de animales y pérdidas de un número considerable de áreas cultivadas. A pesar de las gestiones del gobierno para contrarrestar los daños a través de la "gestión de la tecnología de riego" que contemplaba el abandonó parcial del bombeo (Casas y Luna, 1997), esta $\overline{H}$ de los 80´s no se vio favorecida ni por esta gestión ni por la presencia de huracanes con precipitaciones entre 200 y 300 mm con vientos de hasta 170 km h^{-1} que azotaron en la región (Bitrán, 2001). En los 90´s, de nuevo las tormentas tropicales arribaron con precipitaciones de 197 a 250 mm, algunas se convirtieron en huracanes con velocidades promedio de hasta 30 km h^{-1} con velocidades máximas de 130 km h^{-1} con rachas de 160 km h^{-1} (Tadeo, 1996), y fueron las causantes de cuantiosas pérdidas en infraestructura pesquera y vidas humanas se refiere (Magaña *et al.*, 1997), pero también de contribuir en los distritos de riego 063 y 065 a registrar una $\overline{H}$ de 25 msnm; la cual en los 90´s por primera vez en 30 años registrada una recuperación de 1.2 m. Del 2000 al 2008 los fenómenos naturales otra vez se presentaron (Bitrán, 2003) contribuyendo positivamente al registro de $\overline{H}$ con 25.9 msnm, cuyo registro después de 8 años fue la causante de la segunda recuperación de 0.9 m del acuífero. Por lo que bajo este análisis, las variaciones de $\overline{H}$ (tabla 1) desde los 70´s estuvieron influenciadas por varios factores de tipo natural y antropogénicos, entre otros, que han evitado la recuperación del acuífero.

Conclusiones

A pesar de la serie de acontecimientos beneficios ocurridos desde los 90´s que deberían contribuir a la recuperación del acuífero, ésta no se reflejó en el promedio de $\overline{H}$. Esta situación se atribuyó a que la composición granulométrica del suelo, en su mayoría arcillas alteradas por la agricultura; ocasionaron que la tierra perdiese su capacidad de

absorción de lluvia; y no se permitieron al 100 % los procesos de la infiltración por lo que los resultados piezométricos dan respuesta al porque la serie de inundaciones de la región. Algunos ejemplos serían las de septiembre de 1996 y 1998; causantes de pérdidas muy costosas en términos económicos de impactos se refiere. El lento transporte de las corrientes subterráneas es una de las limitantes que en el acuífero que no permite la descontaminación natural y ayuda a que los riesgos se favorezcan; los cuales en presencia de las continúas inundaciones que arrastran flujos de lodo y distintos componentes químicos y biológicos ajenos al acuífero podrían complicarse. No obstante de que ambos flujos durante muchos años han protegido al acuífero del fenómeno de intrusión salina, dada su cercanía al mar, para prevenir ésta y proteger al acuífero, se deben respetar los programas que regulan las extracciones para frenar los posibles avances este fenómeno. La evolución del cono de abatimiento no deja de ser un indicio de la afectación actual del acuífero. Por otra parte si se evalúan los costos beneficios de la "Revolución Verde", independientemente de que trajo consigo la proliferación y el aumento de la incidencia de diversos tipos de royas (patógenos causantes de enfermedades en trigo), por el impacto que ocasionó en el acuífero y por elevar desproporcionadamente los costos e insumos (Jennings, 1974), se puede decir que en la región desencadenó una problemática socio-ambiental actualmente relacionada con la explotación del agua, la contaminación de valle, el abatimiento en la disponibilidad de agua de buena calidad para la sociedad, el encarecimiento de insumos y la presencia en distintos sectores sociales de la pobreza. Estas entre otras causas fueron algunos de los factores que opacaron el éxito a finales de los 70's de la 'Revolución Verde'. Las causas raíces más comunes de esta problemática en el acuífero del Río Sinaloa, podrían clasificarse en cinco categorías: demográficas, económicas, legales, de gobierno y de conocimiento. Por su parte las consecuencias de esos mismos acontecimientos serían diferentes en los distintos los sectores económicos, y el aminorarlas para evitar de nuevo un escenario similar al del pasado, depende de buenas prácticas agrícolas, del manejo adecuado de las aguas, de una integración en el manejo de los recursos hídricos y de la necesidad de reforzar el proceso participativo de los consejos de cuenca. La herencia ahora en presencia de la interacción de múltiples factores actuales importados por los distintos fracasos socio-ambientales, deben enfrentarse para contrarrestar las bajas productividades y la limitante hídrica actual. Cabe destacar los esfuerzos actuales que en los últimos años el gobierno realiza para promover procesos de investigación aplicada, de capacitación, demostraciones de campo y la vinculación tecnológica; a través de promotores y coordinadores de la transferencia tecnológica que brindan al campo financiamientos y nuevos proyectos agrícolas, no obstante los altos volúmenes de agua previamente extraídos del subsuelo, sin poner en riesgo los recursos naturales del "Corazón Agrícola de México" las alta producción de granos, de maíz, sorgo y frijol; que son el sustento alimenticio del pueblo mexicano.

Bibliografía

Arias, P.E. 2005. Plan de acción para el uso eficiente de agua dulce en el Golfo de California. Reporte técnico final. World Wildlife Fund-México (WWFM) (Eds), México.

Bitrán, D. 2001. "Características del impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en México en el periodo 1980-99". En: Serie. Impacto socioeconómico de los desastres en México. No.1. Secretaría de Gobernación-Centro Nacional de Prevención de Desastres (SEGOB-CENAPRED), México.

Bitrán, D. 2003. "Impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2002". En: Serie. Impacto socioeconómico de los desastres en México. No. 4. Secretaría de Gobernación-Centro Nacional de Prevención de Desastres (SEGOB-CENAPRED), México.

Canales, G.A. e Islas A. L. 2005. Disponibilidad sostenible de aguas subterráneas a partir del control de las descargas de un acuífero. Revista Latinoamericana de Recursos Naturales, 1:41-48.

Carrillo, R.J. y Cardona A.M. 1996. Importance of the vertical component of groundwater flow: a hydrochemical approach in the valley of San Luis Potosí, México. Journal of Hydrology, 185: 23-44.

Casas, G.R. y Luna M. 1997. Gobierno, academia y empresas en México: hacia una nueva configuración de relaciones. UNAM-Plaza y Valdés (Eds), México.

CONAGUA. 2008. "Base de datos climatológicos". Culiacán Sinaloa, México.

Emery, X. 2007. "Conditioning simulations of Gaussian random fields by ordinary kriging. Mathematical Geology, 39: 607-623.

Fetter, C.W. 2001. Applied Hydrogeology (4 th). Prentice-Hall Incorporation (Eds), New Jersey, p 598.

Fregenal, M. 2004. Diccionario de ciencias de la tierra. Madrid. Universidad Complutense.

GP. 2008. Cámara de Diputados del Honorable Congreso de la Unión, LX Legislatura Versión estenográfica de la sesión ordinaria del jueves 21 de febrero de 2008. México D.F. (En: http://cronica.diputados.gob.mx/Estenografia/LX/2do/2P/Ord/feb/20080221.html)

Hiscock, H. 2005. Hydrogeology. Principles and Practice. Blackwell Publishing (Eds), Oxford, p 389.

INEGI-Gobierno del estado de Sinaloa. 1998. Anuario Estadístico del Estado de Sinaloa. Aguascalientes, México.

Jennings, P.R. 1974. Rice breeding and world food production. Science, 186:1085-1088.

Llanes, C.O. 2007. Evaluación espacio-temporal de la pérdida de suelo: indicadores de erosión hídrica y eólica para el valle de Guasave, Sinaloa. Tesis de Maestría. CIIDIR-IPN-Sinaloa. Guasave, Sinaloa, México.

Magaña, V., Conde C., Sánchez O. y Gay C. 1997. Assessment of current and future regional climate scenarios for Mexico. Climate Research, 9: 107-114

Morales, E.C. 2005. Pobreza, desertificación y degradación de los recursos naturales. En: Morales, C. y S. Parada, (Eds), Pobreza y desertificación de Tierras. Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Santiago de Chile, pp. 25-46.

Norzagaray, C.M., Capurro F.L., Muñoz S.P., Maya D.Y. y Santamaría M.A. 2006. El clima y el índice de humedad del suelo: zona costera del valle de Guasave, Sinaloa, México. Revista Naturaleza y Desarrollo, 2:12-22.

Norzagaray, C.M., Herrera B.J. y Ladrón G.T. 2004. Variación espacial de la conductividad hidráulica para suelos del acuífero costero de Guasave, Sinaloa. Revista Tláloc-Asociación Mexicana de Hidráulica, 30:11-16.

SARH. 1978. Evaluación de acuíferos en la zona Fuerte-Sinaloa, del estado de Sinaloa. Informe Técnico. Empresa Técnicas Modernas de Ingeniería (ETMI) para la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), Culiacán Sinaloa, México.

SEMARNAT. 2007. Efectos de las variaciones climáticas y las actividades humanas en la degradación de tierras en México. Informe técnico, México. (En: http://www.conafor.gob.mx/pdfs/Efectos_de_variacion_climatica_y_del_hombre_en_la_degradacion_de_tierras.pdf).

Tadeo, L.L. 1996. Huracán Ismael y sus efectos sobre el estado de Sonora y Sinaloa. Revista Prevención CENAPRED, 13:10-12.

Tóth, J. 2000. Las aguas subterráneas como agente geológico, causas procesos y manifestaciones. Boletín Geológico y Minero, 111: 9-26.

Toutcha, L.S. y Soto R. 2005. La Flora de las Barrancas de Cobre Chihuahua, México. Ecología Aplicada, 4:17-23.

Velázquez, A., Mas, J. F., Díaz, J. R., Mayorga, R., Alcántara, P. C., Castro, R., Fernández, T., Bocco, G., Ezcurra, E. y Palacio, J. L. 2002. Patrones y tasas de cambio de uso del suelo en México. Gaceta Ecológica INE- SEMARNAP, 62:21-37.