ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS SCRIPTA

AÑO 2 NÚMERO 2 JULIO-DICIEMBRE, 2016

**The Hydrogeological Conditions in the San José
del Cabo Basin, Baja California Sur, Mexico**

**Las Condiciones Hidrogeológicas en
la Cuenca San José del Cabo,
Baja California Sur, México**

Jobst Wurl^{1*} y Miguel Ángel Imaz Lamadrid ²

Abstract

An analysis of the hydrogeological conditions in the San Jose del Cabo Basin and their interactions with the San Jose del Cabo Estuary is discussed. The estuary consists of fresh-brackish water whose natural influx depends on the runoff from the upper part of the San Jose del Cabo Basin flowing into the San Jose creek down to the estuary and a salt water flux from the sea. The aquifer system and the San Jose del Cabo estuary are affected by different anthropogenic modifications. According to official data, the aquifer of San Jose del Cabo has been over-exploited since 1985 because the volume of permitted water extractions and the ecological discharge that supplies the Estero de San Jose, exceed the calculated mean recharge volume. To reduce the effects of over-extraction, such as seawater intrusion, the wastewater treatment station of San Jose discharges treated water into the Estero San José. Although it pollutes the estuary, it represents an additional source of water for a water body and the associated vegetation. The sandbar is also an important component in the hydrological dynamics of San Jose del Cabo estuary since its break caused by natural or human activity allows water exchange with the sea (outflow of freshwater and inflow of seawater). From 2007 to 2014 a progress of saltwater intrusion was observed, based on results from electrical resistivity sections.

Key words: Fresh water and salt water interface; over-extraction; aquifer; contamination; electrical resistivity.

¹ Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz Baja California Sur, México

² Petróleos Mexicanos (Pemex), Villahermosa, Tabasco, México

*Autor Correspondencia: E-mail: jwurl@uabcs.mx

Resumen

Se presenta un análisis de las condiciones hidrogeológicas en la cuenca San José del Cabo y su interacción con el Estero de San José. El estero consta de un cuerpo de agua dulce-salobre cuya fuente natural de alimentación son los escurrimientos generados en la parta alta de la cuenca y que fluyen en el cauce del arroyo San José hasta la zona del estero y un flujo de agua salada proveniente del mar. El sistema acuífero y el estero están afectados por diferentes modificaciones antropogénicas; de acuerdo a fuentes oficiales el acuífero de San José del Cabo se encuentra desde 1985 en condiciones de sobre-explotación, debido a que el volumen de agua concesionado para la extracción y el gasto ecológico que abastece al estero, sobrepasan la recarga. Para reducir los efectos de la sobre-extracción como la intrusión de aguas del mar, la Estación de Tratamiento de Aguas Residuales de San José descarga aguas grises hacia el Estero de San José, lo cual contamina el agua, pero también representa una fuente de agua para el cuerpo de agua y la vegetación asociada del estero. La barra arenosa también es un componente importante en la dinámica hidrológica del Estero de San José, ya que su ruptura por causas naturales o humanas permite el intercambio de agua con el mar (salida de agua dulce y entrada de agua de mar). Entre 2007 y 2014 se observó un avance de la intrusión de agua de mar en el acuífero de San José del Cabo, basándose en resultados de secciones de resistividad eléctrica.

Palabras clave: Interfase agua dulce - agua salada; sobre-explotación; acuífero; contaminación; resistividad eléctrica.

Introducción

La Región del Cabo, en el sur de la península de Baja California, es una zona de gran importancia natural y económica. Durante la última década se ha convertido en la región de mayor tasa de crecimiento urbano, debido al desarrollo de actividades turísticas. Uno de los rasgos naturales más distintivos de la región es el Estero de San José, el cual se localiza en la desembocadura de la cuenca San José del Cabo. La cuenca con una superficie de 1,278 km² tiene la mayor importancia con respecto a la extracción de agua subterránea en esta región. El Estero de San José se localiza en la desembocadura de la cuenca San José del Cabo y representa a uno de los pocos cuerpos

de agua dulce costeros en el sur del Estado. De acuerdo a CONANP (2013) el Estero de San José constituye uno de los más grandes ambientes epi-continetales de la Península de Baja California. La importancia de este estero radica en que es uno de los pocos cuerpos de agua dulce costeros en el sur del Estado y que al formar parte de la cuenca San José del Cabo está sujeto a explotación de sus aguas superficiales y subterráneas, principalmente para uso turístico y urbano (Valdez-Aragón, 2006). De acuerdo al Boletín Oficial del Gobierno del Estado de Baja California Sur (1994, 2004), un área del estero con una superficie actual de 473ha fue declarada Reserva Ecológica Estatal. En este trabajo se presenta un análisis de las condiciones hidrogeológicas de la cuenca y del acuífero de San José del Cabo, con enfoque a su interacción con el Estero de San José. Especialmente de interés se discute sobre las afectaciones naturales y antropogénicas que sufrió el estero en años pasados.

Materiales y métodos

Se analizó las características físicas e hidrogeológicas de la Cuenca San José del Cabo. Se definió la cuenca hidrológica y su red de drenaje, basándose en el modelo de elevación del terreno de INEGI (Figura 1). Además se reinterpreto las unidades del mapa geológico de la cuenca San José del Cabo (Figura 2) con respecto a su comportamiento hidráulico, definiendo cinco unidades principales en un mapa hidrogeológico (Figura 3). El análisis de las condiciones y cambios en el Estero de San José se basa en imágenes de Google Earth, entre 2006 y 2013 (Figura 4). La interacción entre el acuífero y el estero fue analizada e interpretada en un esquema hipotético hidrogeológico (Figura 5). Además se reconoció la posición de la interfase agua dulce - agua salada por medio de mediciones de la resistividad eléctrica en 2014 y basadas en una reinterpretación de mediciones del años 2007 (Figura 6).

Resultados

Características físicas e hidrogeológicas de la Cuenca San José del Cabo

Esta cuenca se ubica entre dos cadenas montañosas; en el oeste la Sierra La Laguna y al este la Sierra La Trinidad. La Sierra La Laguna es una cadena montañosa alargada en dirección norte-sur con elevaciones desde 800 hasta 2,080 msnm (Padilla *et al.*, 1988), la cual forma el parteaguas entre los escurrimientos hacia el Océano Pacífico y el Golfo de California. Al norte se encuentra limitada

por la cuenca Santiago y al sur por el Océano Pacífico (Figura 1). El flujo del agua subterránea es fundamentalmente a través del relleno de los cauces de los tributarios del Arroyo San José y continua por este arroyo hasta el mar (Puy Alquiza, 1995). La población de mayor importancia, destino de la mayor parte de los aprovechamientos superficiales y subterráneos de la cuenca es la ciudad de San José del Cabo con 69,788 habitantes (INEGI, 2010).

Figura 1. Ubicación de la cuenca San José del Cabo, red de drenaje y principales poblaciones.

En la cuenca dominan climas cálido-seco hacia el norte, y templado-seco en las partes altas de la Sierra de La Laguna (Wurl y Valdéz-Aragón, 2012). Los días más fríos se presentan en enero y la temperatura media anual es de 24°C con un rango de 7 a 40°C (CONAGUA, 2009). El régimen de lluvias es veraniego, siendo septiembre el mes con mayor precipitación pluvial debido principalmente a la aproximación de tormentas tropicales. Según Wurl y Martínez (2006), casi 50% de la precipitación total anual en el área, proviene directamente de los huracanes, aunque en raras ocasiones se presentan fuertes lluvias monzónicas. De acuerdo a CONAGUA (2009), la precipitación media anual es de 404 mm y la evapotranspiración potencial media de 1,573 mm.

En general en la Región del Cabo no existen corrientes superficiales permanentes, los caudales se presentan solo después de lluvias. En este contexto el principal cauce en la cuenca es el arroyo San José el cual corre de norte a sur, recibiendo por su margen occidental escurrimientos de los arroyos Miraflores, Caduaño, La Palma, San Miguelito, San Lázaro, Santa Anita y el Saltito (CONAGUA, 2009). Hacia el oriente, el arroyo de San José recibe aportes de microcuencas provenientes de la Sierra La Trinidad. El orden Strahler de los arroyos que salen de la Sierra La Laguna llega hasta 6, mientras que los arroyos de la Sierra La Trinidad sólo alcanzan el orden 5. El arroyo San José alcanza un orden 7.

La cuenca San José del Cabo tiene una estructura de medio graben y su relleno sedimentario alcanza un espesor aproximado de 1.6 km en el centro de la cuenca (Arreguín-Rodríguez, 2010). En ambos lados de la cuenca se encuentran rocas del basamento del Cretácico, que corresponden a las Sierra La Laguna (al oeste) y La Trinidad (al este). El basamento está conformado por un ensamble ígneo compuesto de granito, granodiorita y un complejo metamórfico. El relleno de la cuenca se encuentra caracterizado por unidades sedimentarias conformadas por las Formaciones Calera, Trinidad, Refugio, Los Barriles y El Chorro cuyas edades van del Mioceno Medio hasta el Pleistoceno (Martínez-Gutiérrez y Sethi, 1997) así como rocas volcánicas del Mioceno Temprano. Hacia el occidente, la Falla San José del Cabo, representa el contacto entre el basamento Cretácico y los estratos sedimentarios. Los depósitos más jóvenes en la cuenca son los aluviones y terrazas pleistocénicas ubicados en los cauces principales y márgenes de los arroyos (Figura 2)

El aluvión es la unidad de mayor relevancia para la infiltración y recarga del acuífero (CONAGUA, 2009; Wurl y Valdéz-Aragón, 2012) ya que en ésta se infiltra no sólo el agua que cae directamente en el área sino también la proveniente de los escurrimientos de las zonas altas de la cuenca. En cambio, los Basaltos, Granitos, Granodioritas y Calcosilicatos representan acuíferos fracturados de media a baja productividad y soportan la mayor cantidad de escurrimientos superficiales que posteriormente se infiltran en mayor cantidad en el aluvión (Figura 3). Los datos sobre balance hídrico en la cuenca indican que existe una recarga de aproximadamente 5% del total de la precipitación, alrededor de 17% en escurrimientos y más del 75% de la precipitación se pierde por evapotranspiración (Wurl *et al.*, 2007). Desde la perspectiva geohidrológica, la región del Aluvión es la zona de mayor relevancia para la recarga del acuífero de San José. La conductividad del Aluvión, tanto en la superficie como a mayor profundidad es alta, lo que

significa una infiltración relativamente alta; se trata de un acuífero libre con un gran potencial de almacenamiento de agua.

Figura 2. Mapa geológico de la cuenca San José del Cabo.

El Estero de San José, localizado en la desembocadura de la cuenca San José del Cabo, consta de un cuerpo de agua dulce-salobre cuya fuente natural de alimentación son los escurrimientos generados en la parta alta de la cuenca San José del Cabo y que fluyen en el cauce del arroyo San José hasta la zona del estero y un flujo subterráneo de agua salada proveniente del mar. La frontera entre la zona lagunar y el Océano Pacífico es una barra arenosa, de 2200 m de largo. El estero recibe agua del arroyo como flujo superficial y del acuífero.

El sistema acuífero en combinación con el Estero San José están afectados por diferentes modificaciones antropogénicas: El acuífero de San José del Cabo se encuentra desde 1985 en condiciones de sobre-explotación (CONAGUA, 2009); el volumen de agua concesionado para la extracción (actualmente 27.7 millones de m³ al año) y un gasto ecológico que abastece el Estero de San José (de 10.8 millones de m³ al año), sobrepasan la recarga por 2.6 millones de m³ al año

(CONAGUA, 2015). Mediciones de la resistividad eléctrica en 2014 y además la reinterpretación de mediciones del año 2007, realizadas en los puntos A, B, C (Figura 6), indican un levantamiento de la inter-fase agua dulce - agua salada, definida por una resistividad eléctrica de 10 Ohm*m entre 2007 y 2014 (Figura 7).

Figura 3. Mapa hidrogeológico de la cuenca San José del Cabo.

Discusión

El Estero está afectado por fenómenos hidrometeorológicos de gran impacto (huracanes), e incendios (entre otros), y siendo parte de la cuenca San José del Cabo depende del aporte de aguas superficiales y subterráneas. La barra arenosa es un componente importante en la dinámica hidrológica del Estero, ya que su ruptura por causas naturales o humanas permite el intercambio de agua con el mar (salida de agua dulce y entrada de agua de mar) (Figura 4).

La intrusión salina es un proceso natural que ocurre en acuíferos costeros cuando el agua de mar se infiltra, y bajo condiciones naturales mantiene un equilibrio controlado por el flujo y la

presión del agua dulce, las mareas y la porosidad de las rocas. Entre el agua dulce y agua del mar se establece una interfase de mezcla entre ambos. Bajo condiciones de sobreexplotación del acuífero costero, como en el caso del acuífero de San José del Cabo, la interfase agua dulce - agua salada avanza tierra adentro.

Figura 4. Arriba. Se observa la zona lagunar cerca de su capacidad máxima con la barra arenosa adelgazada. Derecha. Se observa una pérdida considerable del agua lagunar debido al rompimiento de la barra arenosa. Derecha inferior. La zona lagunar presenta un nivel moderado hídrico y la barra arenosa se ve intacta.

Para reducir los efectos de la sobre-extracción, la Estación de Tratamiento de Aguas Residuales de San José descarga aguas grises hacia el Estero de San José, lo cual contamina el agua, pero también representa una fuente de agua dulce para el cuerpo de agua y la vegetación asociada al Estero. El aporte excesivo de nutrientes hacia el cuerpo lagunar ha ocasionado que sus aguas se encuentren eutrofizadas, lo cual favorece durante los meses de más calor el crecimiento excesivo de plantas acuáticas flotantes y el crecimiento desmedido del tular, lo cual disminuye la superficie del espejo de agua (PRONATUR, 2010).

Figura 5. Esquema en el que se muestra la localización inferida del alto del basamento el cual probablemente favorece la acumulación de agua dulce en la zona lagunar del Estero de San José.

Figura 6. Vista actual del Estero de San José (13/08/2016) y la ubicación de los Sondeos geo-eléctricos (registrados en 2007 y 2014).

Conclusiones

El sistema acuífero y el Estero de San José están afectados debido a la ocurrencia de fenómenos meteorológicos de gran impacto (especialmente avenidas provocadas por huracanes) y modificaciones artificiales (como pérdidas de suelos y la modificación del cauce natural de los arroyos). La construcción de la marina Puerto Los Cabos en 2006, debido a su cercanía al estero y el relleno de la parte norte del estero modificaron sus características hidráulicas. La Estación de Tratamiento de Aguas Residuales de San José descarga aguas negras y grises hacia el Estero de San José. Entre 2007 y 2014 se observó una reducción del espesor de la capa somera de agua dulce en el Estero. Se recomienda observar la variación interanual de la interfase por medio de secciones geo-eléctricas y medición de la conductividad eléctrica en pozos de observación.

Figura 7. Posición de la inter-fase entre aguas dulces y aguas saladas en 2007 (azul) y 2014 (naranja).

Agradecimientos

Los Autores agradecemos al Lic. Gerardo Hernández el diseño gráfico editorial y a la Ms.C. Diana Dorantes la revisión del Idioma Inglés del Abstract.

Literatura citada

Arreguín-Rodríguez, G. d. J. 2010. *Evolución estratigráfica en el margen occidental de la cuenca San José del Cabo, arroyo San Dionisio, Baja California Sur*. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur. México. 67 pp.

- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2009. *Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea del acuífero (0319) San José del Cabo*. Gerencia de Aguas Subterráneas, Subgerencia de Evaluación y Ordenamiento de Acuíferos. 28 pp.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2015. *Actualización de la disponibilidad media anual de agua subterránea del acuífero (0319) San José del Cabo*. Gerencia de Aguas Subterráneas, Subgerencia de Evaluación y Ordenamiento de Acuíferos. 31 pp.
- CONANP (Comisión Nacional de Areas Naturales Protegidas). 2013. Ficha informativa del sitio RAMSAR Sistema Ripario de la Cuenca y Estero de San José del Cabo. Consultado: 03-12-2013. En: http://ramsar.conanp.gob.mx/docs/sitios/FIR_RAMSAR/Baja_California_Sur/Estero%20San%20Jos%C3%A9%20del%20Cabo/Mexico%20Sistema%20Ripario%20de%20la%20Cuenca%20y%20Esteros%20San%20Jos%C3%A9%20del%20Cabo%20RIS%20S%202008.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2010. Censo de Población y Vivienda 2010. Consultado: 04-02-2013. En: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/iter/default.aspx?ev=5>
- Martínez-Gutiérrez G. y S.P. Sethi. 1997. *Miocene-Pleistocene sediments within the San José del Cabo Basin, Baja California Sur, México*. Geological Society of America 318: 145-166.
- Padilla, A.G., S. Pedrín Avilés y E. Díaz Rivera. 1988. *Historia geológica y paleoecología*. Pp. 27-36. En: Arriaga, L. y A. Ortega (Eds.). *La Sierra La Laguna de Baja California Sur*. Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur. La Paz, México. 191 pp.
- PRONATURA Noroeste, A.C. (compiladores). 2010. *Plan de Conservación del Estero de San José del Cabo, B.C.S., México*. La Paz, Baja California Sur, México. 54 pp.
- Puy Alquiza M.I. 1995. *Relación Recurso Agua, Población y Corredor Turístico de San José Del Cabo, B.C.S., México*. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR). México. 225 pp.
- Valdez Aragón, A.R. 2006. *Diagnóstico, Servicios Ambientales y Valoración Económica del Agua en el Corredor Turístico-Urbano de Los Cabos, B.C.S.* Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Baja California Sur. México 146 pp.
- Wurl, J. y G. Martínez Gutiérrez. 2006. *El efecto de ciclones tropicales sobre el clima en la cuenca de Santiago, B.C.S., México*. Ponencia presentada en el III Simposio Internacional en Ingeniería y Ciencias para la Sustentabilidad Ambiental y Semana del Ambiente 2006, 5-6 de junio, México, D.F.

- Wurl, J. P. Hernández, J. Gaytán, J. Martínez, M. Imaz. 2007. En. Breceda, A.; Maya Y.; Castoreña L.; Martínez G.; Wurl J.; Miranda R. y Valdez, A. "Manejo Integral de la Cuenca Hidrológica Forestal de San José del Cabo, B.C.S." Informe Técnico CONAFOR-CONACYT (CO1-5671). 69 pp.
- Wurl J. y A.R. Valdéz-Aragón. 2012. *Las condiciones hidrogeológicas en el municipio de Los Cabos*. pp. 23-37. En: Gangster, G., O. Arizpe, A. Ivanova (Eds.). Los Cabos: Prospectiva de un Paraíso Natural y Turístico. San Diego State University Press. Estados Unidos de América. 533 pp.

Cita

- Wurl J. y M. Á. Imaz Lamadrid. 2016. Las Condiciones Hidrogeológicas en la Cuenca San José del Cabo, Baja California Sur, México. *Áreas Naturales Protegidas Scripta*, 2016. Vol. 2 (2): 91-102. <https://doi.org/10.18242/anpscripta.2016.02.02.02.0005>

Sometido: 15 de agosto de 2016

Revisado: 07 de noviembre de 2016

Aceptado: 29 de noviembre de 2016

Editor asociado: Dr. Alejandro Maeda Martínez

Idioma Inglés Abstract: Ms.C. Diana Dorantes

Diseño gráfico editorial: Lic. Gerardo Hernández