

FÍSICO-QUÍMICA DEL AGUA SUPERFICIAL Y SEDIMENTO EN EL RÍO SANTA CRUZ, SONORA, MÉXICO

PHYSICAL-CHEMISTRY OF SURFACE WATER AND SEDIMENT
IN RIVER SANTA CRUZ, SONORA, MEXICO

**Gilberto Solis Garza, Arturo Israel Villalba Atondo, Gerardina Nubes Ortíz ,
José María del Castillo Alarcón y Flor Adriana Meraz Acosta**

Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas. Universidad de
Sonora. Rosales y Niños Héroe S/N. Hermosillo, Sonora 83000, México

RESUMEN

En los últimos años, los cambios en las actividades humanas y la extracción de agua subterránea en exceso han estado influyendo en una disminución de los ecosistemas ribereños del Río Santa Cruz (RSC), Sonora, México, desempeñando un papel importante en la composición y ubicación de los contaminantes en el río. Se realizó un estudio de campo para evaluar los rasgos físicos y químicos de la columna de agua y sedimentos en cinco sitios en dos épocas (lluvia y seca) en el RSC, durante 2009. Los parámetros evaluados fueron: temperatura del agua, pH, conductividad eléctrica y los nutrientes (NO_3 , NO_2 , SO_4 y PO_4) en agua superficial y sedimento, analizados con base en APHA y EPA, esto en apego a las Normas Oficiales Mexicanas (NOM-001-ECOL-1996; NOM-127-SSA1-1994). Los parámetros físico-químicos evaluados, con excepción de los nitritos, fueron menores que lo recomendado en las NOM correspondientes. En la estación seca se observaron las concentraciones más altas de los parámetros evaluados excepto pH. El Poblado Miguel Hidalgo fue el sitio de estudio con mayor concentración en la mayoría de los parámetros analizados. Estos resultados evidencian el deterioro ocasionado al ecosistema debido a la presencia de desechos de ganado, actividad agrícola, sequía recurrente y prolongada, sobreexplotación del acuífero y demanda de mayor agua por la población.

Palabras clave: agua superficial, sedimento, físico-químico, nutrientes

ABSTRACT

In the last years, changes in human activities and the extraction of groundwater in excess have been influencing a decrease in riparian ecosystems of the Rio Santa Cruz (RSC), Sonora, Mexico. These changes may play an important role in the composition and location of pollutants in the river. A field study was performed to evaluate the physical and chemical characteristics of the water column and sediments at five sites in two seasons (rainy and dry) at the Santa Cruz River, Sonora (SCR), México, during 2009. Physical parameters such as: water temperature, pH, electrical conductivity, and nutrients (NO_3 , NO_2 , SO_4 y PO_4) in surface water and sediment samples were analyzed, following recommended methodology from APHA, EPA and MON (Mexican Official Norm: NOM-001-ECOL-1996; NOM-127-SSA1-1994). The physicochemical parameters evaluated, except nitrites, were lower than the recommended OMN levels. Highest concentration values in each parameter evaluated, except pH, were detected in the dry season. Poblado Miguel Hidalgo was the study site with the highest concentration in most of the parameters analyzed. These results show that the deterioration caused to the ecosystem was due to the presence of livestock waste, agricultural activity, recurrent drought, prolonged overexploitation of the aquifer, and increased demand for water by the population, mainly.

Key words: surface water, sediment, physicochemical, nutrient



INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas acuáticos se ven afectados por varios agresores para la salud que de manera significativa agotan la diversidad biológica. La pérdida de la biodiversidad y sus efectos se considera sea mayor para los ecosistemas acuáticos que para los ecosistemas terrestres en el futuro (Sala *et al.*, 2000). Estas afectaciones se manifiestan principalmente en poblaciones de peces y vida silvestre. Una vez que se presenten estos efectos, los humanos experimentarán las mismas presiones. El escurrimiento de agua de lluvia y las actividades humanas son dos maneras que propician el ingreso de nutrientes ocasionando una potencial contaminación del ecosistema. No sólo se afecta la calidad del agua sino también el sedimento considerado como un material sólido suspendido y precipitado en el sustrato.

Los hábitats ribereños del noroeste de México y el suroeste de los Estados Unidos constituyen una proporción reducida del paisaje general, pero han generado una gran atención debido a su importancia ecológica, económica y social.

Son varios los estudios que se han realizado en el Río Santa Cruz, Sonora, tales como: la calidad del agua y sedimento (metales pesados), análisis microbiológicos, flora y vegetación (Solís *et al.*, 1996, 1999, 2000, 2004). Sin embargo, es importante evaluar las condiciones actuales y analizar los cambios en la calidad del agua y sedimento para determinar los posibles efectos de las actividades humanas sobre su contaminación.

El objetivo general de este estudio fue evaluar las características físicas y químicas del agua superficial y sedimento, en el Río Santa Cruz, Sonora México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El Río Santa Cruz (RSC) inicia en Arizona y fluye con dirección al sur de los Estados Unidos de Norteamérica hacia Sonora, México, donde hace un giro en forma de U para introducirse a Arizona. El acuífero del RSC abastece cerca del 50% del suministro de agua potable a las ciudades de Nogales, Arizona y Nogales, Sonora (Sprouse, 2005).

Este río ha adquirido una gran importancia ecológica toda vez que posee organismos enlistados como especies en peligro de extinción y otras que se encuentran en vías de formar parte de dicha lista.

La precipitación media anual en Nogales, Arizona (estación climatológica más cercana con información disponible) es de 52.1 cm, aportando los meses de julio y agosto el 45.7% del total, mientras en el mes de octubre la precipitación promedio aporta el 6.9%. Por lo que, para el presente estudio el muestreo realizado en el mes de agosto se consideró como estación lluviosa y octubre como estación seca (www.weather.com/NWS). El área de estudio del Río Santa Cruz históricamente ha presentado tramos con flujo efímero y perenne y con un acuífero poco profundo, con capacidad de almacenamiento limitada y con fluctuaciones extremas del nivel freático en épocas de sequía. En sus márgenes las principales actividades económicas son la agricultura y la ganadería. En la Tabla 1 y en la Fig.1, se muestran la localización geográfica de los sitios de estudio donde se realizó la colecta de datos para determinar la calidad de agua. Cabe señalar, que las estaciones de muestreo en este estudio, son algunas de las utilizadas en los estudios anteriores realizados en este río.

Tabla 1 Localización geográfica de las estaciones de muestreo en el Río Santa Cruz, Sonora, México.

Table 1 Geographic location of the sampling stations on the Santa Cruz River, Sonora, México.

	Nombre	Latitud	Longitud
1	Poblado Santa Cruz	31°12'43.6"N	110° 35' 45.3"W
2	El Álamo	31°10'42.2"N	110° 36' 32.7"W
3	Poblado Miguel Hidalgo	31° 08' 01.6" N	110° 39' 54.4"W
4	Paredes	31° 10' 59.3" N	110° 43' 29.3"W
5	Mascareñas	31° 17' 39.3" N	110° 49' 52.7"W

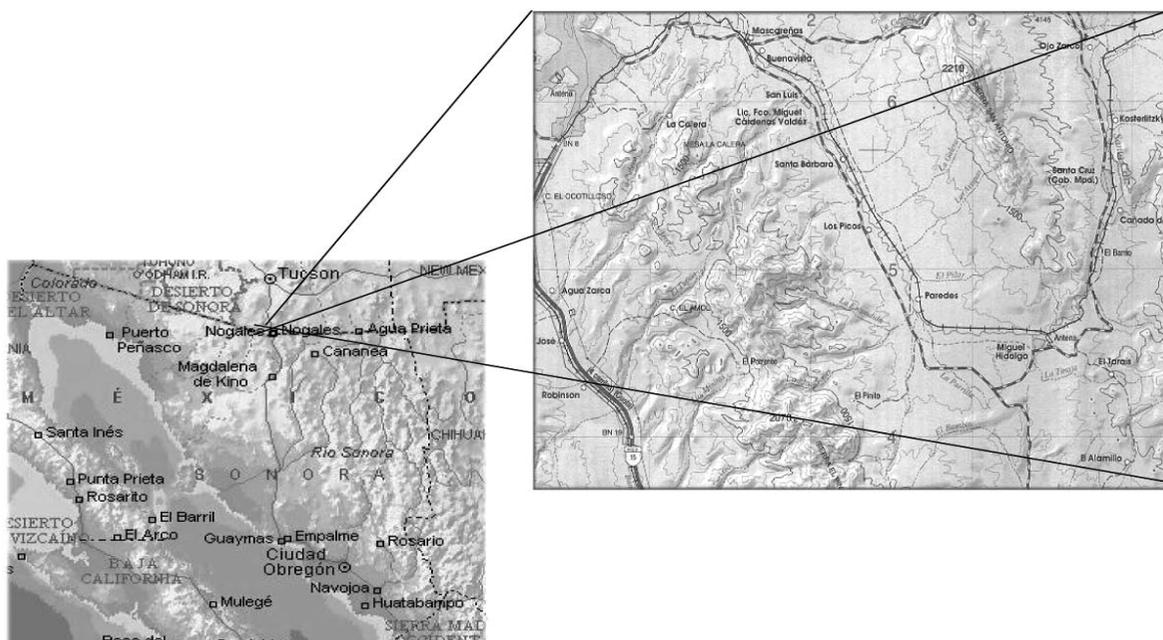


Figura 1 Localización geográfica del área de estudio y distribución de las estaciones de muestreo en el Río Santa Cruz, Sonora, México.

Figure 1 Geographic location of study area and distribution of sampling stations on the Rio Santa Cruz, Sonora México.

La temperatura del agua, pH y conductividad eléctrica fueron evaluados en el sitio, utilizando un medidor multiparámetros portátil (Hach.dr, 5000). Los nutrientes determinados tanto en agua superficial como en sedimento fueron NO_3 , NO_2 , SO_4 y PO_4 siendo colectadas las muestras en los mismos sitios del canal principal y analizadas en el laboratorio del Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora.

Los procedimientos para la colecta de las muestras y los métodos de garantía de calidad siguieron las recomendaciones establecidas por la NOM-230-SSA1-2002, así como por las indicaciones de la APHA, (1995) y EPA, (1992).

La calidad del agua se caracterizó atendiendo lo establecido en las normas y criterios de calidad de agua vigentes en México, como son los Criterios Ecológicos de Calidad de Agua (SEDUE, 1989), NOM-001-ECOL-1996 y NOM-127-SSA1-1994. Las muestras fueron analizadas siguiendo los métodos de prueba

señalados en las normas mexicanas específicas para cada parámetro analizado (Tabla 2).

Tabla 2 Parámetros físico-químicos y Normas Oficiales utilizadas en el presente estudio.

Table 2 Physical-chemical parameters analyzed and Mexican Official Methods utilized in this study.

Parámetros	Métodos
(pH)	NMX-AA-008- SCFI-2000
Temperatura del agua (°C)	NMX-AA- 007-SCFI-2000
Conductividad Eléctrica (μmhos)	NMX-AA-096-SCFI-2000
NO_2 (mg/L)	NMX-AA-099- SCFI-2006
NO_3 (mg/L)	NMX-AA-079-SCFI -2001
SO_4 (mg/L)	NMX-AA-074-SCFI -2006
PO_4 (mg/L)	NMX-AA-029-SCFI -2001

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de los parámetros físicos y químicos realizados durante las épocas; lluvia y seca, se presentan en la Tabla 3 y 4, respectivamente. En el área de Mascareñas no se observó flujo superficial de agua durante los muestreos realizados, probablemente debido al incremento de extracción de agua subterránea para satisfacer las necesidades de la ciudad de Nogales, Sonora. Durante los muestreos, se

observó en la estación Paredes el caudal más bajo del río en comparación con las otras estaciones.

Calidad del agua

Los valores del potencial de hidrógeno (pH) variaron desde 7,4 hasta 8,6 en cada uno de los sitios de estudio en las dos estaciones bajo estudio. Los resultados indican niveles de pH ligeramente alcalinos en el Poblado Santa Cruz en época de lluvia con 8,6 contra 7,4 en la estación seca. Los demás sitios

Tabla 3 Resultados de los parámetros físico-químicos en agua superficial realizados durante la época de lluvia (Agosto).

Table 3 Physical-chemical parameters in surface water during the rainy season (August).

	Temp. H ₂ O	Temp. Amb.	pH	C.E.	SO ₄	PO ₄	N-NO ₃	N-NO ₂
Nombre	°C	°C		µmhos/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
1 Poblado Santa Cruz	18,4	16,1	8,6	402	36	0,31	0,4	30
2 El Álamo	18,8	19,4	7,8	362	36	0,03	0,3	18
3 Poblado Miguel Hidalgo	19,0	20,6	7,3	367	40	0,03	2,3	12
4 Paredes	21,6	26,7	7,5	406	50	0,05	0,7	10
5 Mascareñas	No se observó agua superficial durante el muestreo							
NOM-127-SSA1-1994			6,5-8,5		400		10	0,5
S.E.D.U.E. (CE-CCA-001/89)			5 - 9		500		5	0,05
NOM-001-ECOL-1996						10		

Tabla 4 Parámetros físico-químicos en agua superficial realizados durante la época seca (Octubre).

Table 4 Physical-chemical parameters in surface water during the dry season (October).

	Temp. H ₂ O	Temp. Amb.	pH	C.E.	SO ₄	PO ₄	N-NO ₃	N-NO ₂
Nombre	°C	°C		µmhos/cm	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
1 Poblado Santa Cruz	5,1	12,1	7,4	436	40	1,71	0,7	20
2 El Álamo	3,3	11,7	7,6	470	59	0,99	0,5	17
3 Poblado Miguel Hidalgo	9,2	11,8	7,9	451	60	0,90	0,9	32
4 Paredes	13,0	17,0	7,8	494	51	1,46	0,7	21
5 Mascareñas	No se observó agua superficial durante el muestreo							
NOM-127-SSA1-1994			6,5-8,5		400		10	0,5
S.E.D.U.E. (CE-CCA-001/89)			5 - 9		500		5	0,05
NOM-001-ECOL-1996						10		

de estudio presentaron un nivel óptimo de pH, no rebasando los Criterios Ecológicos de Calidad de Agua (SEDUE, 1989).

La conductividad eléctrica (CE) presentó valores desde 362 hasta 406 $\mu\text{mhos/cm}$ con media de 384 $\mu\text{mhos/cm}$ en época de lluvias; para la estación seca se obtuvieron valores de 436 a 494 $\mu\text{mhos/cm}$, con media de 462 $\mu\text{mhos/cm}$. La estación Paredes presentó los valores más altos de CE en ambos muestreos, sin embargo aun se pueden considerar como convenientes (406 y 494 $\mu\text{mhos/cm}$). Los valores obtenidos se pueden definir como normales debido a que niveles del orden de 1000 $\mu\text{mhos/cm}$, podrían provocar efectos adversos para la vida vegetal y acuática (Stocker y Seager, 1981).

El nitrato (como nitrógeno) es vital para el crecimiento, la reproducción y la supervivencia de los organismos. Niveles mayores a 5 mg/L superan los límites recomendados (SEDUE, 1989) afectando la vida acuática. En este estudio el rango de concentración de nitrato fluctuó de 0,3 a 2,3 mg/L con un promedio de 0,9 mg/L en la estación de lluvias, y de 0,5 a 0,9 mg/L con una media de 0,7 mg/L en la estación seca. Los niveles de nitrato en el agua fluctuaron según la temporada del año, debido a que en la estación seca los nitratos son depositados en el suelo y en el inicio de la época lluviosa son transportados. Debido a lo anterior, los niveles más altos de nitrato también se observaron después de fuertes lluvias. En los poblados Santa Cruz, El Álamo y Miguel Hidalgo, se observó una gran cantidad de algas y malezas acuáticas en las aguas superficiales que pudieran estar interviniendo en los resultados observados. Los valores obtenidos de nitrato como nitrógeno no superaron lo recomendado (5,0 mg/L) (SEDUE, 1989) en todos los sitios de estudio.

La concentración de nitritos (como nitrógeno) en todos los sitios de estudio y temporadas evaluados en el agua superficial superó los límites máximos permisibles establecidos en México, que son de 5,5 mg/L. En las dos épocas de estudio los niveles superan

el máximo permisible según la NOM 127-SSA1-1994, con valores desde 10 hasta 30 mg/L, con media de 19,7 mg/L, en la temporada de lluvias, y desde 17 hasta 32 mg/L, con media de 22,5 mg/L en la estación seca. Una de las principales fuentes de contaminación por nitrato alrededor y sobre el cauce del Río Santa Cruz, pudiera ser, la deposición fecal de los animales.

El mayor impacto de los nitratos y nitritos en cuerpos de agua dulce es el de la fertilización que conduce a la eutrofización. Los niveles excesivos de nitrógeno pueden causar una sobreproducción de algas y plancton, que se descomponen y consumen oxígeno. El consumo y el agotamiento eventual de oxígeno pueden conducir a la asfixia de otros organismos.

Otro parámetro evaluado fueron los sulfatos, obteniéndose resultados menores a los máximos permisibles según NOM-127-SSA1-1994. Las concentraciones variaron desde 36 hasta 50 mg/L, con media de 40,5 mg/L, en temporada de lluvias, y 40 hasta 60 mg/L, con media de 52,5 mg/L en la estación seca. Considerando que los fosfatos estimulan el crecimiento de algas y plantas acuáticas que sirven de alimento para los peces, y pueden causar un aumento de la población de peces beneficiando la biodiversidad acuática, también fue evaluado. La concentración máxima de fosfatos en los sitios de estudio fue de 0,31 mg/L durante la época de lluvia y de 1,71 mg/L en la seca. En general, las muestras de poblado de Santa Cruz y Paredes presentan las concentraciones mayores de fosfato. El contenido de fosfato correspondiente a las estaciones de lluvia y seca variaron entre 0,03 y 0,31 mg/L y de 0,90 a 1,71 mg/L, respectivamente. A nivel local, los fertilizantes utilizados en la agricultura y las heces de ganado, son la principal fuente de aporte de fosfatos. Por lo anterior, de los resultados obtenidos en muestras de agua superficial en el Río Santa Cruz, el pH, nitratos y nitritos fueron los parámetros que superaron en algunos sitios de estudio los niveles máximos permisibles establecidos por S.E.D.U.E., (1989) y la NOM-127-SSAI-1994.



Nutrientes

Los resultados de las concentraciones de nutrientes encontrados en los sedimentos del Río Santa Cruz, Sonora, en cinco sitios de estudio y dos temporadas del año (de lluvia y de sequía) se presentan en resumen en la Tabla 5.

La concentración promedio de nitratos (como nitrógeno) durante el estudio fue de 4,6 mg/L con 5,7 mg/L en la época de lluvias y 3,5 mg/L en la seca en el cauce del RSC. Paredes y Mascareñas fueron los sitios de estudio que presentaron las mayores concentraciones con 8,5 y 6,3 mg/L, respectivamente. En estos dos sitios de estudio se observó que el área adyacente al río y susceptible de ser inundada es más ancha en comparación con los otros sitios de estudio (5 m contra 40 m). Probablemente esto influye en la presencia de agua superficial durante el muestreo. Esto sugiere que el nitrato se acumula en los suelos del semi desierto debido a la falta de agua que reduce al mínimo su lixiviación.

La concentración de nitritos (como nitrógeno) en el sedimento fue muy alta en comparación con las concentraciones de nitratos. Sin embargo, la concentración media de nitritos fue excepcionalmente alta durante la época de lluvias, 43,2 mg/L contra 19,4 mg/L en la época seca. Las concentraciones oscilaron entre 12 mg/L y 70 mg/L. Al igual que la concentración

en nitratos, Mascareñas y Paredes presentaron la mayor concentración media de 46,5 mg/L y 44,5 mg/L, respectivamente.

Los sulfatos en el sedimento durante la época de lluvias, variaron desde 9,0 hasta 25,0 mg/L y desde 4,0 hasta 33 mg/L, respectivamente. La concentración media en la temporada de lluvias fue 19,4 mg/L contra 17,6 mg/L en la estación seca. Mascareñas y Paredes fueron los sitios de estudio con mayores concentraciones de sulfatos con una media de 26,0 y 28,5 mg/L, respectivamente.

Otro compuesto evaluado fueron los fosfatos en el sedimento, se detectó su presencia en un rango desde 0,55 hasta 1,01 mg/L, durante la época de lluvias y desde 0,65 hasta 2,94 mg/L en la seca. Esta concentración de fosfatos en el sedimento se podría considerar como moderada. Paredes y Mascareñas presentaron los niveles máximos con una media de 1,9 y 1,6 mg/L, respectivamente.

Los nutrientes nitritos, nitratos y sulfatos presentaron las concentraciones más altas durante la época de lluvia que en la temporada seca. Los sitios de muestreo Paredes y Mascareñas mostraron los niveles medios más altos en todos los nutrientes analizados en este estudio.

Tabla 5 Resultados de los nutrientes cuantificados en el sedimento superficial, durante dos épocas del año 2009.

Table 5 Quantification of nutrients in the surface sediment, during two seasons in 2009.

Nombre	N-NO ₂ (mg/L)		N-NO ₃ (mg/L)		Sulfatos (mg/L)		Fosfatos (mg/L)	
	Ago.	Oct.	Ago.	Oct.	Ago.	Oct.	Ago.	Oct.
1 Poblado Santa Cruz (*)	36	17	5,2	1,6	22	4	0,88	0,75
2 El Álamo	12	15	4,4	2,5	9	5	0,55	0,65
3 Poblado Miguel Hidalgo	39	12	6,0	1,9	22	14	0,65	0,78
4 Paredes	59	34	6,7	8,5	19	33	0,89	2,94
5 Mascareñas (*)	70	19	6,3	2,9	25	32	1,01	2,17

(*) = Muestras duplicadas

CONCLUSIONES

La presencia de ganado vacuno en el lecho del río se considera como el principal causante de los altos niveles de nutrientes observados. La pérdida y alteración del ecosistema está ocasionado por el aumento de minas de extracción de arena y grava en el cauce del río. El Poblado Miguel Hidalgo fue el sitio de estudio con mayor concentración en la mayoría de los parámetros analizados, principalmente nitratos y nitritos. A excepción de los nitritos, se considera que la calidad del agua y sedimento en el Río Santa Cruz, Sonora, es buena. En relación al sedimento los nutrientes nitritos, nitratos y sulfatos presentaron las concentraciones más altas durante la época de lluvia respecto a la temporada seca, principalmente en los sitios de Paredes y Mascareñas.

REFERENCIAS

- APHA. 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater, 19th. Ed. Washington, DCUSA, Part 1000-10000.
- EPA. 1992. Environmental Protection Agency. Text Methods for Evaluation of Solid Physical/Chemical Methods 8SW-846), 3rd Edition. 2002. National Recommended Water and Wasterwater.
- NMX-AA-007-SCFI-2000. Análisis de Agua-Determinación de la Temperatura en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas-Método de Prueba. (Cancela a la NMX-AA-007-1980).
- NMX-AA-008-SCFI-2000. Análisis de Agua-Determinación del pH-Método de Prueba. (Cancela a la NMX-AA-008-1980).
- NMX-AA-096-SCFI-2000. Análisis de Agua-Determinación de la Conductividad Eléctrica-Método de Prueba. (Cancela ala NMX-AA-093-1984).
- NMX-AA-029-SCFI-2001. Análisis de aguas - determinación de fósforo total en aguas naturales, potables y residuales tratadas - método de prueba.
- NMX-AA-079-SCFI-2001. Análisis de aguas - determinación de nitratos en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - método de prueba.
- NMX-AA-074-SCFI-2006. Análisis de aguas - determinación del ión sulfato en aguas naturales, potables y residuales - método de prueba.
- NMX-AA-099-SCFI-2006. Análisis de aguas - determinación de nitrógeno de nitritos en aguas naturales, potables, residuales y residuales - método de prueba.
- NOM-001-ECOL-1996. Norma que establece los límites máximos de contaminantes en las descargas de agua residuales, aguas y bienes nacionales. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.
- NOM-127-SSA1-1994. Salud Ambiental, agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamiento a que debe someterse el agua para su potabilización.
- NOM-230-SSA1-2002. Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Requisitos sanitarios que se deben cumplir en los sistemas de abastecimiento públicos y privados durante el manejo del agua. Procedimientos sanitarios para el muestreo.
- Sala, O.E., Chapin III F.S., Armesto J.J., Berlow E., BloomPeld J., Dirzo R., Huber-Sanwald E., Huenneke L.F., Jackson R.B., Kinzig A., Leemans R., Lodge D.M., Mooney H.A., Oesterheld M., Poff N.L. Sykes M.T., Walker B.H., Walker M., and Wall D.H. (2000). Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100, *Science*, 287, 1770-1774.
- S.E.D.U.E. 1989. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. Criterios Ecológicos de Calidad de Agua CE-CCA-001/89. Diario Oficial de la Federación, 2 de diciembre de 1989. Tomo CDXXX. No. 9. México, D.F.
- Solís-Garza, G., Gómez-Álvarez, A., Villalba-Atondo, A., Nubes-Ortiz, G. y Romero, A. 1996. Efecto de la Calidad del Agua sobre los Ecosistemas Riparios en el Río Santa Cruz, Sonora, México. Informe Académico Final. Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad de Sonora. Convenio de Cooperación Científica con la Universidad de Arizona para la Colaboración de Investigadores. Fomes 1995-1996.
- Solís-Garza, G., Gómez-Álvarez, A., Villalba-Atondo, A. y Romero, A. 1999. Estudio de la Calidad de Agua y Sedimento en el Río Santa Cruz y Arroyo Los Nogales, Sonora, México. Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnologías Universidad de Sonora. Informe Académico Final. Hermosillo, Sonora, México.
- Solis-Garza, G., Gómez-Álvarez, A., López-Estudillo, R., Villalba-Atondo, A., Bringas-Alvarado, L. y Pérez-Villalba, A. 2000. Riparian Vegetation and Water Quality on the San Pedro River, Sonora, Mexico. Reporte Técnico Final. Universidad de Sonora and Arizona State University. Funded by: "Transborder Watershed Research Program" The Southwest Center for Environmental Research and Policy (SCERP).
- Solis-Garza, G., Murrieta, J., López, R., Medina, A.L., Nubes, G., Villalba, A., Herrera, S., del Castillo, J., González, A. y Jenkins, P. 2004. Educación comunitaria: flora y calidad del agua en el Río Santa Cruz, Sonora, México. Informe Final. Universidad de Sonora (DICTUS), Sonoran Institute y Consorcio para la Colaboración de la Educación Superior en América del Norte, University of Arizona-Tucson (CONAHEC).
- Sprouse, T. 2005. Water Issues On The Arizona – Mexico Border The Santa Cruz, San Pedro and Colorado Rivers. Water Resources Research Center College Of Agriculture And Life Sciences The University Of Arizona
- Stocker, H.S. y Seager, L.S. 1981. Química Ambiental Contaminación del Aire y del Agua. Editorial Blume, Barcelona-SP.

