

UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS QUÍMICO BIOLÓGICAS

Caracterización de la Calidad del Agua Superficial y Subterránea del Río
San Pedro, Sonora, México



TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el título de

QUÍMICO BIÓLOGO

Especialidad

ANÁLISIS CLÍNICOS

Presenta:

Ana María Pérez Villalba

Hermosillo, Sonora

Diciembre de 2013

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



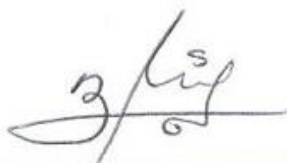
**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

FORMA DE APROBACIÓN

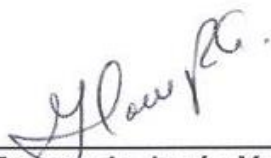
Los miembros del jurado designado para revisar la Tesis Profesional de **Ana María Pérez Villalba**, la han encontrado satisfactoria y recomiendan que sea aceptada como requisito parcial para obtener el título de **Químico Biólogo Especialidad en Análisis Clínicos**.



M.C. Gilberto Solis Garza
Director de Tesis



M.C. Socorro Herrera Carbajal
Secretario



Q.B. María Teresa de Jesús Yocupicio Anaya
Vocal

M.C. Arturo I. Villalba Atondo
Suplente

DEDICO ESTE TRABAJO A LA MEMORIA DE MI PADRE

SALVADOR PÉREZ HERRERA

(4 DE DICIEMBRE 1942 – 4 DE FEBRERO 2013)

Que con su ejemplo de vida me mostró el camino a seguir.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Sonora, por ser parte integral en mi formación académica.

Al Dr. Ward Brady de Arizona State University por su apoyo y colaboración para la realización de este trabajo de tesis que forma parte del proyecto "Riparian Vegetation and Water Quality on the San Pedro River, Sonora, México financiado por Transborder Watershed Research Program.

Al comité de sinodales que sin su apoyo no hubiera sido posible la realización de este trabajo.

A mi madre Martha Villalba Gastelúm por su amor y dedicación, mis hermanos Salvador, Mauricio, Víctor, Francisco, Benjamín, Felipe, Silverio y muy en especial a mi hermano Octavio.

A mi esposo Luis Alberto por todo su apoyo y comprensión, a mis hijos Daniel, Joel y Elisa. Los amo.

CONTENIDO

OBJETIVOS	10
Objetivo General	10
Objetivos Particulares	10
RESUMEN.....	11
INTRODUCCIÓN.....	12
ANTECEDENTES.....	14
ÁREA DE ESTUDIO	16
Localización	16
Fisiografía	17
Geología	17
Climatología	17
Vegetación	17
Hidrología Superficial	18
Uso de la Tierra.....	18
MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
Selección y Localización de las Estaciones de Muestreo	19
Muestreo de Campo.....	20
Colecta de Muestras de Agua Superficial y Subterránea	20
Manejo y Conservación de las Muestras de Agua Superficial y Subterránea.....	20
Transporte de la Muestra.....	20
Parámetros de Campo.....	20
Análisis de Laboratorio.....	23
Análisis de Agua Superficial y Subterránea	23
Metales Pesados Totales.....	24
Control de Calidad Interna	24
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
Control de Calidad.....	26
Limpieza de los Equipos de Muestreo	26
Procedimiento de Calibración y Frecuencia	26
Obtención de Muestras de Control de Calidad Interna	27
Blancos de Campo	27
Blancos de Viaje.....	27

Indicadores de Calidad de Datos.....	27
Precisión.....	27
Exactitud.....	28
Balance de Aniones/Cationes.....	28
Comportamiento Temporal- Espacial de los Parámetros Físicos y Químicos.....	29
Potencial de Hidrógeno.....	29
Oxígeno Disuelto.....	29
Conductividad Eléctrica.....	30
Bicarbonatos.....	34
Cloruros.....	34
Sulfatos.....	35
Sólidos Disueltos Totales.....	39
Nitrógeno Amoniacal.....	39
Nitrógeno de Nitratos.....	40
Nitrógeno de Nitritos.....	44
Fósforo Total.....	44
Comportamiento Espacio-Temporal de los Metales Pesados.....	47
Calcio (Ca).....	47
Cobre (Cu).....	47
Hierro (Fe).....	50
Magnesio (Mg).....	50
Manganeso (Mn).....	51
Potasio (K).....	51
Sodio (Na).....	56
Zinc (Zn).....	56
Calidad del Agua Superficial y Subterránea del Río San Pedro Evaluada con las Normas Oficiales de la calidad del Agua.....	59
Comparación de los Resultados Obtenidos Con Otros Estudios realizados en el Río San Pedro, Sonora.....	61
CONCLUSIONES.....	63
RECOMENDACIONES.....	64
BIBLIOGRAFÍA.....	65
ANEXO A.....	68
ANEXO B.....	85
ANEXO C.....	90

LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
1	Análisis inorgánicos en el agua superficial y subterránea del Río San Pedro, Sonora.	22

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Localización del área de estudio.	16
2	Distribución de las estaciones de muestreo del Río San Pedro, Sonora.	19
3	Comportamiento Temporal del pH del Río San Pedro, Sonora.	31
4	Comportamiento Espacial del pH en las Estaciones de Muestreo del Río San Pedro, Sonora.	31
5	Comportamiento Temporal de Oxígeno Disuelto del Río San Pedro, Sonora.	32
6	Comportamiento Espacial de Oxígeno Disuelto en las Estaciones de Muestreo del Río San Pedro, Sonora.	32
7	Comportamiento Temporal de Conductividad Eléctrica del Río San Pedro, Sonora.	33
8	Comportamiento Espacial de Conductividad eléctrica en las Estaciones de Muestreo del Río San Pedro, Sonora.	33
9	Comportamiento Temporal de Bicarbonatos del Río San Pedro, Sonora.	36
10	Comportamiento Espacial de Bicarbonatos en las Estaciones de Muestreo del Río San Pedro, Sonora.	36
11	Comportamiento Temporal de Cloruros del Río San Pedro, Sonora.	37
12	Comportamiento Espacial de Cloruros en las Estaciones de Muestreo del Río San Pedro, Sonora.	37
13	Comportamiento Temporal de Sulfatos del Río San Pedro, Sonora.	38
14	Comportamiento Espacial de Sulfatos en las Estaciones de Muestreo del Río San Pedro, Sonora.	38
15	Comportamiento Temporal de Sólidos Disueltos Totales del Río San Pedro, Sonora.	41
16	Comportamiento Espacial de Sólidos Disueltos Totales en las Estaciones de Muestreo del Río San Pedro, Sonora.	41
17	Comportamiento Temporal de Nitrógeno Amoniacal del Río San Pedro, Sonora.	42
18	Comportamiento Espacial de Nitrógeno Amoniacal en las Estaciones de Muestreo del Río San Pedro, Sonora.	42
19	Comportamiento Temporal de Nitrógeno de Nitratos del Río San Pedro, Sonora.	43
20	Comportamiento Espacial de Nitrógeno de Nitratos en las Estaciones de Muestreo del Río San Pedro, Sonora.	43
21	Comportamiento Temporal de Nitrógeno de Nitritos del Río San Pedro, Sonora.	45
22	Comportamiento Espacial de Nitrógeno de Nitritos en las Estaciones de Muestreo del Río San Pedro, Sonora.	45

23	Comportamiento Temporal de Fósforo Total del Río San Pedro, Sonora.	46
24	Comportamiento Espacial de Fósforo Total en las Estaciones de Muestreo del Río San Pedro, Sonora.	46
25	Comportamiento Temporal de Calcio del Río San Pedro, Sonora.	48
26	Comportamiento Espacial de Calcio en las Estaciones de Muestreo del Río San Pedro, Sonora.	48
27	Comportamiento Temporal del Cobre del Río San Pedro, Sonora.	49
28	Comportamiento Espacial de Cobre, en las Estaciones de Muestreo del Río San Pedro, Sonora.	49
29	Comportamiento Temporal del Hierro del Río San Pedro, Sonora.	52
30	Comportamiento Espacial del Hierro en las Estaciones de Muestreo del Río San Pedro, Sonora.	52
31	Comportamiento Temporal de Magnesio del Río San Pedro, Sonora.	53
32	Comportamiento Espacial del Magnesio en las Estaciones de Muestreo del Río San Pedro, Sonora.	53
33	Comportamiento Temporal del Manganeso del Río San Pedro, Sonora.	54
34	Comportamiento Espacial del Manganeso en las Estaciones de Muestreo del Río San Pedro, Sonora.	54
35	Comportamiento Temporal de Potasio del Río San Pedro, Sonora.	55
36	Comportamiento Espacial de Potasio en las Estaciones de Muestreo del Río San Pedro, Sonora.	55
37	Comportamiento Temporal de Sodio del Río San Pedro, Sonora.	57
38	Comportamiento Espacial de Sodio en las Estaciones de Muestreo del Río San Pedro, Sonora.	57
39	Comportamiento Temporal de Zinc del Río San Pedro, Sonora.	58
40	Comportamiento Espacial de Zinc en las Estaciones de Muestreo del Río San Pedro, Sonora.	58

OBJETIVOS

Objetivo General

Caracterizar la calidad del agua superficial y subterránea en el cauce del Río San Pedro, Sonora, México.

Objetivos Particulares

- Evaluar la calidad del agua superficial en seis estaciones, durante un año, realizando cuatro muestreos trimestrales, a lo largo del cauce del Río San Pedro, Sonora.
- Evaluar la calidad del agua subterránea en cuatro estaciones, realizando cuatro muestreos trimestrales, durante un año, ubicadas en puntos cercanos al cauce del Río San Pedro, Sonora.
- Determinar los niveles de concentración de metales pesados en forma total de calcio, cadmio, cobre, cromo, hierro, potasio, sodio, níquel, magnesio, manganeso, plomo y zinc, en el agua superficial y subterránea.
- Determinar los parámetros físicoquímicos: potencial de hidrógeno, temperatura, sólidos disueltos totales, conductividad eléctrica, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, oxígeno disuelto, nitrógeno de nitratos, nitrógeno de nitritos, nitrógeno de amonio y fósforo total, en el agua superficial y subterránea.
- Evaluar la calidad del agua superficial y subterránea del Río San Pedro, a través de su comparación con las Normas Oficiales de calidad de agua disponibles en México.
- Comparar los resultados de los parámetros de la calidad de agua analizados en el presente estudio, con los realizados en el área del Río San Pedro.

RESUMEN

Se realizó un estudio de la calidad del agua superficial y subterránea en el Río San Pedro, Sonora, en el periodo de febrero a noviembre de 1999. Se colectaron muestras del agua superficial en seis estaciones y para agua subterránea, en cuatro estaciones a lo largo del Río San Pedro, desde la Ciudad de Cananea hasta los límites con la frontera de los Estados Unidos Americanos (EUA).

Los parámetros analizados al agua superficial y subterránea fueron: potencial de hidrógeno, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, sólidos disueltos totales, bicarbonatos, cloruros, sulfato, nitrógeno de nitratos, nitrógeno de nitritos, nitrógeno amoniacal, fósforo total y metales pesados (cadmio, calcio, cobre, cromo, hierro, potasio, magnesio, manganeso, sodio, níquel, plomo y zinc).

En base a los resultados obtenidos para el agua superficial, se observó que las estaciones 1 (Arroyo Cananea Vieja) y 2 (El Barrilito) excedieron los límites permisibles de la NOM-127-SSA-1994 y de CE-CCA-001/89 para los sulfatos, sólidos disueltos totales, nitrógeno de nitritos, nitrógeno amoniacal, hierro, manganeso y zinc. Así mismo, los nitratos fueron excedidos en la estación El Barrilito y el cobre en la estación Arroyo Cananea Vieja.

En cuanto al análisis de agua subterránea ninguna estación rebasó la Norma Oficial NOM-127-SSA-1994 y Criterios Ecológicos (SEDUE, 1989).

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el estudio y análisis del medio ambiente toma gran importancia, debido a que se genera información valiosa de las condiciones en las que se encuentran los recursos naturales, los cuales se han visto afectados por las diversas actividades del hombre, como la agricultura, ganadería y la minería.

Dentro de los recursos naturales se encuentra el agua que es un compuesto esencial para el desarrollo de la vida en infinidad de actividades. Se considera que para realizar sus principales funciones metabólicas, requiere de aproximadamente 2.5 litros de agua diarios de buena calidad para evitar enfermedades y el subsecuente deterioro del organismo.

La contaminación del agua proviene de diferentes fuentes, como son: las aguas residuales resultantes del uso doméstico conteniendo abundante materia orgánica y detergentes y por las industrias, que vierten sus desechos a las fuentes de abastecimiento de aguas incrementando las concentraciones de contaminantes, como es el caso de la industria minera con metales pesados y por plaguicidas derivados de la actividad agrícola cercana a las corrientes de aguas.

Un río o lago posee la capacidad limitada de autopurificarse, pero cuando esa capacidad se acaba, la corriente se contamina de manera permanente. Los contaminantes que llegan al agua son diversos y pueden alterar las características físicas, químicas y biológicas de los cuerpos de agua, alterando el equilibrio ecológico existente (Gómez-Álvarez, 2001). El agua se considera contaminada cuando se presentan elevadas concentraciones de metales pesados, nitratos, fluoruro, hidrocarburos, detergentes (fosfatos) y pesticidas (Rodríguez Arnaiz, 1994).

Asimismo, las aguas residuales que vienen a contaminar un cuerpo de agua, favorecen la aparición de organismos anaeróbicos y patógenos, así como el crecimiento de poblaciones ajenas al ecosistema. Como ejemplo de lo anterior se tiene el estudio realizado por Varela-Romero (1992), en el área cercana a Cananea y al poblado San Pedro Palominas, en el cauce del Río San Pedro, en donde detectó la presencia de *Procambarus clarki*, asociado como indicador de contaminación.

Por lo que surge la necesidad de realizar una caracterización de la calidad del agua superficial y subterránea del Río San Pedro, Sonora, ya que en esa zona se vierten, no sólo el drenaje doméstico de Cananea Vieja, sino también se liberan aguas ácidas sobre la corriente del Río San Pedro que han sido asociadas a altos niveles de metales pesados como Cobre, Hierro, Manganeso y Zinc. (Yocupicio-Anaya y Gómez Álvarez, 1987). Dicha situación, ha despertado el interés de proteger, conservar y cuidar el entorno ecológico del Río San Pedro, tanto del lado mexicano como norteamericano. Es así como la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA), en mayo de 1997, da a conocer una iniciativa para mejorar y preservar las características ecológicas del Alto Río San Pedro, el cual es considerado un hábitat ribereño para aves migratorias (CCA, 1998). Aunado, a los esfuerzos de Instituciones del gobierno, educativas como la Universidad de Sonora, la Universidad de Arizona, la Universidad del Estado de Arizona y Organizaciones No Gubernamentales, entre otras interesadas en conocer las condiciones de la cuenca hidrológica del estado.

Por lo que, es necesario conocer la situación actual del Río San Pedro, Sonora, mediante la caracterización del agua superficial y subterránea y determinar su posible afectación a través de la comparación con los Criterios Ecológicos y Norma Oficial Mexicana, utilizada para uso humano, ganadero, minero y agrícola.

ANTECEDENTES

Durante el periodo de 1983-1985, se presentaron lluvias abundantes en la región de Cananea y del Río Sonora, lo que ocasionó que el nivel de almacenamiento de los depósitos ácidos conteniendo altas concentraciones de metales pesados, se derramaran, llegando a los Ríos Sonora, Bacanuchi y San Pedro en ambos países, originando problemas con el estado de Arizona, debido a que dichos desechos ácidos llegaron hasta el Río Gila, provocando la muerte de miles de peces (SARH, 1984).

En un estudio realizado por Yocupicio-Anaya y Gómez-Álvarez en 1987 encontraron que la concentración de metales pesados (cobre, hierro, manganeso y zinc), fueron elevados en la zona del Río Sonora y su afluente el Río Bacanuchi.

Gómez Álvarez *et al* (1994) realizaron un análisis del agua y sedimento del Río San Pedro, desde Cananea, Sonora, siguiendo el cauce natural del río hasta la región denominada Los Corrales (en los límites de la frontera con EUA), obteniendo en el agua superficial cercana a la minera, valores altos de conductividad eléctrica, cloruros, sulfatos y metales pesados como cadmio, cobre, hierro, níquel y zinc. Dichos valores excedieron las normas oficiales de calidad del agua, establecidas en México por la SEDUE (1989).

Romero-Acosta (1996), realizó un estudio de la calidad del agua y sedimento del Río San Pedro en el periodo de Noviembre de 1993 a Agosto de 1994, encontrando que el agua superficial de las tres estaciones cercanas a la minera, presentaron valores altos de conductividad eléctrica, sulfatos y metales pesados como: cadmio, cobre, hierro, manganeso, níquel y zinc, cuyos valores excedieron a los establecidos en México (SEDUE, 1989).

Villalba-Atondo *et al* (1998) realizaron un estudio de agua superficial y subterránea del Río San Pedro, encontrando altos niveles de fósforo total en la estación de muestreo Pozo Sauceda, San Pedro Palominas y Los Corrales, así como altos valores de plomo y zinc, en la estación Arroyo Cananea Vieja, que rebasaron los valores establecidos en la NOM-001-Ecol-96-1.

Corona-Escamilla y Gutiérrez-Guerrero (1998), analizaron el agua superficial de la zona El Jaralito-Bacanuchi, Sonora, cuyos resultados mostraron que en las estaciones más cercanas

a la minera, en la zona del Jaralito, presentaron pH ácidos, alta conductividad eléctrica, alta concentración de sulfatos y en cuanto a los metales pesados, el cadmio, cobre, hierro y manganeso, rebasaron los valores oficiales permitidos.

Así como en el Estado de Sonora, surgió la necesidad de estudiar y evaluar dicho río, también el vecino país se ha interesado en estudiarlo, debido a que este río continúa en el estado de Arizona, desembocando finalmente en el Río Gila.

El Arizona Department of Health Services (1981), realizó un estudio por 2 años consecutivos (1977-78 y 1978-79) del Río San Pedro en EUA debido a que los depósitos de desechos ácidos de la minera Mexicana de Cananea hoy Buena Vista del Cobre, se derramaron causando pH ácidos y un alto contenido de metales pesados como cobre, zinc y manganeso.

Asimismo, el Colegio Prescott y el Departamento de la Calidad Ambiental del estado de Arizona (ADEQ), realizaron un estudio de la calidad del Río San Pedro en 1998, encontrando altas concentraciones de metales pesados en sedimentos del río en la parte norteamericana, así como bajos valores de pH, en la zona cercana a Cananea, Sonora (Villalba-Atondo *et al*, 1998).

ÁREA DE ESTUDIO

Localización

La cuenca del Río San Pedro (Figura 1) se encuentra localizada entre los 30° 52' y 31° 20' Latitud Norte y los meridianos 110° 06' y 110° 31' Longitud Oeste partiendo desde la ciudad de Cananea, Sonora, a una altura de 1660 msnm, hacia el Norte hasta cerca del rancho Los Corrales, a una altura aproximada de 1250 msnm (INEGI, 1982).

El Río San Pedro nace en las inmediaciones de la Ciudad de Cananea y recibe diferentes nombres en su trayectoria hacia el vecino país de los Estados Unidos. En sus primeros 10 km. se le conoce como Cananea Vieja, en los siguientes 13 km. se denomina el Barrilito. En la región de la confluencia de los arroyos San Rafael y El Sauz cambia nuevamente de nombre a El Riecito. Desde el último punto indicado hasta la salida de la cuenca en la estación Hidrométrica “Palominas” recibe el nombre de Río San Pedro. La longitud total de este río desde su origen hasta el Rancho Los Corrales, es de 55 km. Figura 1 (Villalba-Atondo *et al*/ 1998).



Figura 1. Localización del área de estudio.

Fisiografía

El cauce de este Río se ubica dentro de la provincia Sierra Madre Occidental y abarca las subprovincias, Llanuras y Médanos del Norte y Sierras y Valles del Norte. Incluye 2 tipos de topoformas. La Sierra Alta que cubre los primeros 10 km de su recorrido hacia el norte y el valle de laderas extendidas que ocupa la mayor extensión territorial. En ambos sistemas de topoformas la altura varía entre 1400 y 1500 msnm.

Geología

La morfología del valle se presenta en lomas suaves y amplias mesetas cortadas por arroyos, que en algunos lugares del valle han provocado una fuerte erosión. En las planicies de los arroyos se encuentran los depósitos arcillosos, gravas y arenas, cuya granulometría varía según su ubicación dentro del valle. Regularmente hacia la parte central del valle que corresponde a la planicie del Río San Pedro, se encuentran los depósitos más finos contrastando con las mesetas que están constituidos por materiales gruesos y que se localizan hacia la porción Este de la planicie del Río San Pedro (INEGI, 1982).

Climatología

La climatología va de templado a semi-seco. Según la clasificación de Köeppen modificada por García (1973), la estación de Cananea en el parte aguas de la cuenca, presenta un clima templado con lluvias en verano a erráticas durante el año y grandes oscilaciones en la temperatura ($C(wo)$ (x') a (e')) que corresponde a lluvias de verano a poco estacionales y grandes fluctuaciones de temperatura. La precipitación media anual es de 44 mm y el 65 % de esta caen en los meses de julio a septiembre. La temperatura media es de 12° a 18°C.

Vegetación

La cercanía de la cuenca a la región fisiográfica Sierra Madre Occidental permite la existencia de diferentes condiciones de clima, gradiente altitudinal, exposición, suelos, principalmente. Lo anterior ha permitido la presencia de diversos tipos de vegetación dentro de la cuenca del Río San Pedro predominando en la parte alta los bosques de encino-pino, bosque de encino con baja

presencia de táscate y bosque de pino. Mientras que en la mayor parte de la cuenca se encuentra el pastizal natural mezclado con vegetación secundaria arbustiva y en la parte baja se encuentra el mezquital y matorrales sobre valles y bajíos afines a climas más áridos. Solis-Garza *et al* (2000) sobre el cauce del Río San Pedro en ocho lotes de muestras identificaron un total de 142 especies de plantas vasculares, siendo las familias más representativas: *Asteraceae Poaceae* y *Leguminosae*. Las especies dominantes más importantes en la estructura del bosque de galería del Río San Pedro son el álamo *Populus fremontii*, el sauce *Salix gooddingii*, mezquite *Prosopis velutina* y batamote *Baccharis salicifolia*.

Hidrología Superficial

De la frontera hacia el sur, la mayor parte de la región cercana al cauce presenta un coeficiente de escurrimiento superficial del 0 al 5% hasta el km 29. La porción denominada El Barrilito, hasta el nacimiento del río, presenta un escurrimiento superficial de 5 al 10% (INEGI 1985).

Los tributarios principales, son arroyos como Aguaje El Tejano, El Pedregón, La Coja, San Rafael, El Barrilito, El Sauz, El Chirrión y El Piojo.

Uso de la Tierra

La ganadería es la que ocupa el primer lugar en el uso de tierra, seguido por la agricultura y la minería. La ganadería es de tipo tradicional y muy deficiente, caracterizada por su baja producción y el abatimiento de los recursos. El sobre pastoreo ha ocasionado la erosión del suelo y el surgimiento de maleza, lo que hace necesario la aplicación de programas de recuperación y manejo de pastizales y así mejorar los resultados derivados de esta actividad (Meléndez-Torres, 1993).

MATERIALES Y MÉTODOS

Selección y Localización de las Estaciones de Muestreo

Las estaciones de muestreo donde se colectaron las muestras de agua se localizan desde el Arroyo Cananea Vieja cercano a la Ciudad de Cananea, hasta el punto conocido como Los Corrales en la frontera con Arizona (Figura 2).

La distribución de las estaciones, se realizó considerando posibles fuentes de contaminantes como descargas de la industria minera y urbana, así como, de actividades agrícolas y ganaderas de dicha región. Por lo anterior las estaciones de muestreo se localizaron en puntos representativos del cauce del río, con la finalidad de analizar todas las posibles fuentes de contaminación.

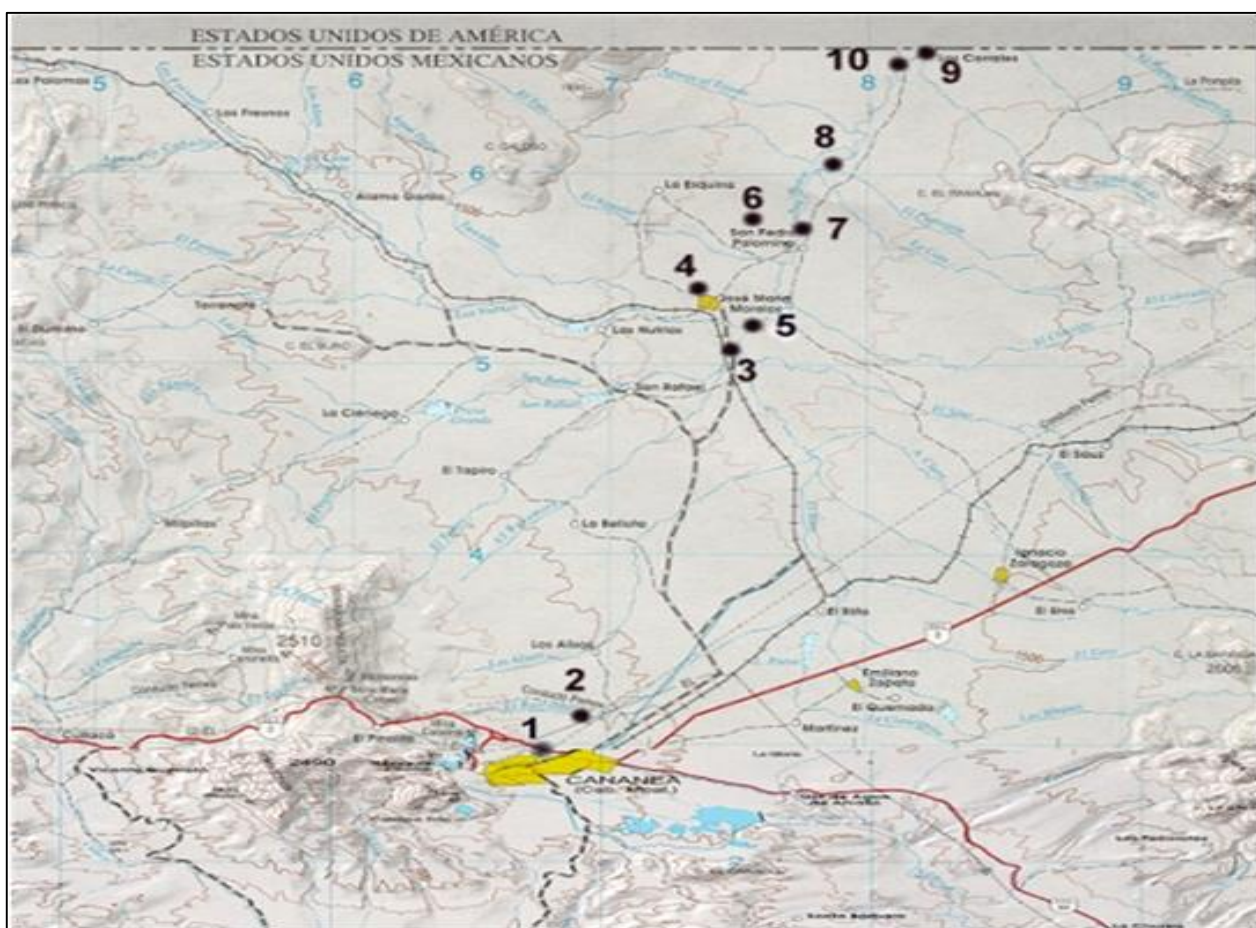


Figura 2. Distribución de las estaciones de muestreo del Río San Pedro, Sonora.

Muestreo de Campo

Colecta de Muestras de Agua Superficial y Subterránea

Las muestras de agua superficial se colectaron en la parte media de la columna de agua, en recipientes de plástico de 1 L (previamente lavados con HCl 1:3 durante 3 días y enjuagados con agua deionizada), los cuales fueron purgados con agua del río, antes de tomar la muestra de agua requerida para su análisis. Dicho muestreo se realizó de acuerdo al Manual de Campo para el muestreo de la Calidad del Agua, el cual está editado en inglés/español, por el Departamento de Calidad Ambiental en Arizona (ADEQ) y por el Centro de Investigaciones de los Recursos Hidráulicos (AWRRC siglas en inglés).

Las muestras de agua subterránea se colectaron de los pozos cercanos al cauce del río y en funcionamiento para lograr una muestra representativa, y el proceso de toma de muestra fue el mismo aplicado a las muestras de agua superficial.

Manejo y Conservación de las Muestras de Agua Superficial y Subterránea

En cada uno de los puntos de muestreo se tomaron 3 ½ L de agua, de los cuales 2 L fueron utilizados para los parámetros físicoquímicos, 1 L para nutrientes, el cual se conservó con H₂SO₄ concentrado hasta un pH menor a 2. Finalmente se tomó ½ L para el análisis de metales pesados y se conservó con HNO₃ concentrado hasta un pH menor a 2.

Transporte de la Muestra

Las muestras fueron conservadas en hieleras portátiles a 4° C, hasta su traslado al laboratorio, para el análisis de los parámetros de interés (Tabla 1).

Parámetros de Campo

Los parámetros que se determinaron en campo, durante la colecta de muestras, fueron los siguientes:

Potencial de Hidrógeno (pH). El potencial de Hidrógeno se determinó a través de un potenciómetro (marca Cole Parmer, Modelo 1484-44) el cual fue calibrado de acuerdo a las especificaciones del fabricante.

Temperatura. La medición de la temperatura se realizó con un termómetro de la marca Brannan con intervalos de escala de -20 a 110° C.

Conductividad Eléctrica (C.E.). La conductividad eléctrica se midió con un conductímetro (marca Myron L Digital, Modelo DCH4), el cual fue calibrado de acuerdo a las instrucciones del manual del fabricante, en cada punto de muestreo.

Oxígeno Disuelto (O.D.). Para medir el oxígeno disuelto se utilizó un oxímetro YSI Modelo 51B, calibrado de acuerdo a las indicaciones del fabricante.

Tabla 1. Análisis inorgánicos en el agua superficial y subterránea del Rio San Pedro, Sonora.
(EPA-600/4-79-020, 1983).

PARÁMETRO	MÉTODO	LÍMITE DE DETECCIÓN (mg/L)
A) Físicos		
Temperatura	170.1	
Conductividad Eléctrica (CE)	120.1	
Potencial Hidrógeno (pH)	150.1	
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	160.1	10
B) Químicos		
Bicarbonatos (HCO ₃)	(ASTM D513-71, Met C)	
Oxígeno Disuelto (OD)	360.2	
Cloruros (Cl ⁻)	325.3	2
Sulfatos (SO ₄ ⁼)	375.3	5
METALES TOTALES (*)		
Cadmio (Cd)	213.1	0.005
Calcio (Ca)	215.1	0.01
Cobre (Cu)	220.1	0.02
Cromo Total (Cr Total)	218.1	0.05
Hierro (Fe)	236.1	0.03
Manganeso (Mn)	243.1	0.01
Magnesio (Mg)	242.1	0.001
Níquel (Ni)	249.1	0.04
Plomo (Pb)	239.1	0.10
Potasio (K)	258.1	0.01
Sodio (Na)	273.1	0.002
Zinc (Zn)	289.1	0.05
C) Nutrientes		
N-NH ₃	350.2	0.01
N-NO ₃	352.1	0.10
N-NO ₂	354.1	0.01
P Total	365.3	0.01

(*) Método 3010. Utilizado para la digestión de las muestras, recomendado por TEST Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/chemical Methods (SW-846) (1992). Métodos aprobados por EPA (1992).

Análisis de Laboratorio

Análisis de Agua Superficial y Subterránea

Bicarbonatos. Este parámetro se determinó por titulación con solución valorada de H_2SO_4 , a los puntos sucesivos de equivalencia del HCO_3^- , haciendo uso del método potenciométrico, tomando en cuenta el volumen gastado del ácido a partir de un pH de 8.3 a 4.5.

Cloruros. Se utilizó el Método Argentométrico, titulando con solución valorada de AgNO_3 , una muestra neutra o ligeramente alcalina, utilizando como indicador K_2CrO_4 , el cual forma un precipitado rojizo de cromato de plata inmediatamente después de la precipitación cuantitativa del cloruro.

Sulfatos. Este método consiste en precipitar el ión Sulfato en medio ácido con BaCl_2 , formando cristales de BaSO_4 , cuya concentración se determinó por medio de un espectrofotómetro, por comparación de la lectura de absorbancia contra una curva patrón.

Sólidos disueltos totales. Este método consiste en filtrar un volumen conocido de la muestra de agua, a través de papel filtro Whatman GF/C de 47 mm de diámetro, previamente secado y pesado. El filtro se secó a 105°C durante una hora. La diferencia de peso es la concentración de Sólidos Suspendidos Totales. El agua que se filtró se evaporó a 180°C en una cápsula previamente puesta a peso constante. Una vez calculada la diferencia de peso obtenemos los sólidos disueltos totales.

Nitrógeno amoniacal. El nitrógeno amoniacal se destiló en medio alcalino (pH de 9.5) y absorbido en solución de ácido bórico y se determinó por el método de Nesslerización, el cual hace uso de la preparación de una curva patrón.

Nitrógeno de nitratos. El método colorimétrico utilizado fue el del sulfato de brucina. El método se basa en la reacción del ión NO_3^- con el sulfato de brucina, en medio ácido (H_2SO_4 13 N), a una temperatura de reacción de 100°C .

Nitrógeno de nitritos. Se utilizó el método colorimétrico de la sulfanilamida, el cual se basa en que los iones NO_2^- reaccionan en medio ácido (pH de 2.0 a 2.5), por diazotización con la sulfanilamida para formar una sal de diazonio, que acoplada con el dihidrocloruro de N-(1 naftil) etilendiamina, forma un colorante azoico de color rojo púrpura, que se mide espectrofotométricamente a 540 nm.

Fósforo total. Primeramente se realizó una digestión con persulfato de potasio, con el fin de liberar el fósforo unido al material orgánico e inorgánico. Posteriormente se utilizó el método colorimétrico del ácido ascórbico, el cual transforma los compuestos fosforados a ortofosfatos, que reaccionan con molibdato y tartrato de potasio de antimonio en medio ácido y forma ácido fosfomolibdico, que es reducido a color azul intenso de molibdeno por el ácido ascórbico.

Metales Pesados Totales

La determinación de metales totales se realizó por la digestión de la muestra de agua, con HNO_3 concentrado de alto grado de pureza y para verificar la efectividad de la digestión de muestras de agua, se hizo uso de muestras fortificadas con concentraciones conocidas de metales.

El equipo utilizado en la lectura de metales fue un espectrofotómetro de Absorción Atómica Perkin-Elmer Modelo 3100.

Control de Calidad Interna

La obtención de muestras de control de calidad, requirió de la colección de muestras adicionales, las que tuvieron el mismo tratamiento que las muestras de agua, de acuerdo al Manual de Campo para muestreo de la Calidad del Agua (ADEQ). A continuación se describen las muestras adicionales:

Muestras Duplicadas. Se usan para verificar la precisión de la colecta de campo o el análisis en el laboratorio. Se colectan los duplicados a razón de un 10% del número total de muestras.

Blancos de Viaje. Son botellas de plástico llenas con agua deionizada, las cuales se prepararon en el laboratorio, y que viajaron con el resto de las muestra del sitio de muestreo y

hasta el laboratorio. Se usaron con el fin de determinar la presencia de contaminantes durante el proceso de transportación de la muestra.

Blancos de Campo. Son recipientes de 1 L que fueron llenados en el sitio de muestreo, en donde se etiquetaron y transportaron con el resto de las muestras. Estos blancos de campo sirven para determinar si existió contaminación durante la colecta de las muestras.

Precisión. Es una medida de la similitud entre múltiples análisis de una determinada muestra, evaluándose mediante el análisis de réplicas repetidas de una muestra o estándar (CNA, 1993). El valor fijado para la precisión es de menor o igual al 35% para proyectos ambientales binacionales, en análisis de agua superficial y subterránea.

Exactitud. Es una medida que dice que tan cercano está el valor obtenido de un valor real establecido, ya que mientras más semejante sea el valor obtenido al establecido, mayor es la exactitud. Y se determina mediante el uso de estándares de concentración conocida (baja, media y alta), el rango establecido es de 70 a 130% (CNA, 1993) (EPA, ADEQ y CNA, 1998).

Balance de aniones/cationes. Este método es utilizado para comprobar si los análisis realizados son exactos. Dicho método consiste en la suma de aniones y cationes expresados como miliequivalentes por L y que pueden balancearse ya que todas las aguas son eléctricamente neutras. El valor iónico establecido no debe rebasar el 10% de diferencia entre el balance de aniones/cationes, en las muestras de agua superficial y subterránea (EPA, ADEQ y CNA, 1998).

Análisis estadístico. Con la finalidad de detectar diferencias significativas entre los valores promedio trimestrales y espaciales se utilizó el Análisis de Varianza No Paramétrica de Kruskall- Wallis, con pruebas a posteriori. Se utilizó un análisis estadístico no paramétrico, ya que los valores obtenidos no presentaron homogeneidad y normalidad en las varianzas de acuerdo a la prueba de Barlett. (Conover 1971; Zar 1994).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Control de Calidad

Los procedimientos para la colecta de muestras de agua superficial y subterránea, incluyendo el análisis y el control de calidad utilizados en el presente estudio, fueron los señalados en el Manual de Métodos de Análisis (CNA, 1993), así como el Manual de Campo para el Monitoreo de la Calidad del Agua (EPA, 1995) y Sample For Preservation of Water and Wastewater (EPA, 1983).

Limpieza de los Equipos de Muestreo

Se consideraron los procedimientos de limpieza establecidos en el Manual de Aseguramiento de Calidad de Agua (CNA, 1993) y Manual de Campo para el Muestreo de Calidad de Agua (ADEQ, 1995).

Procedimiento de Calibración y Frecuencia

Parámetros de campo. Los equipos de campo, tal como el potenciómetro, conductímetro y oxímetro, fueron calibrados en cada estación de muestreo, según las indicaciones del manual del fabricante. No se observaron discrepancias en las lecturas del equipo.

Parámetros Analíticos. El equipo analítico de laboratorio (Espectrofotómetro UV-Visible) utilizado en el análisis de N-Nitratos, N- Nitritos, N- Amoniacal, Sulfatos, Fósforo Total, fue calibrado de acuerdo al manual del fabricante, utilizando reactivos de alto grado de pureza analítica, elaborándose, de manera previa al análisis de la muestra, una curva de calibración, utilizando como mínimo 6 puntos dentro de la curva y obteniendo un coeficiente de regresión de 0.995 –0.999. (Tablas 1, 2, 3 y 4 del Anexo A). El límite de control de estándares conocidos, para verificar la validez de la curva de calibración, fue aceptable para los tres niveles de concentración establecidos (Baja, Media y Alta).

Adicionalmente se evaluó la recuperación de muestras fortificadas para cada uno de los parámetros analíticos antes mencionados, utilizando el mismo método analítico aplicado a las muestras de agua superficial y subterránea, obteniendo una recuperación aceptable dentro del rango establecido (70–130%) (Tablas 1, 2, 3 y 4 del Anexo A).

Obtención de Muestras de Control de Calidad Interna

Blancos de Campo

La Tabla 5 del Anexo A presenta los valores de concentración de los parámetros analizados, observando valores no detectables (ND) en la mayor parte de los parámetros, lo que muestra un bajo índice de contaminación durante la colecta y envío de las muestras al laboratorio.

Blancos de Viaje

Al igual que los blancos de campo, los blancos de viaje presentaron valores no detectables (Tabla 5 del Anexo A), lo cual indica que no hubo contaminación de las muestras de agua desde su colecta, manejo y envío.

Indicadores de Calidad de Datos

Precisión

En la Tabla 6 del Anexo A, se observan los valores de los parámetros analizados en muestras duplicadas de agua superficial y subterránea. Las muestras fueron colectadas en una cantidad del 10%.

Para la estación 9 (Pozo los Corrales), el 95.65% de los datos de DPR (Diferencia Porcentual Relativa), estuvo dentro del 35% de diferencia. En tanto que para la estación 10 (Arroyo Los Corrales), el 98.61% del DPR estuvo dentro del rango establecido del 35 %.

Los valores de DPR obtenidos son buenos, lo que indica que la precisión del muestreo y el análisis de los parámetros físicoquímicos fueron realizados correctamente.

Exactitud

Durante la presente investigación se estuvieron evaluando continuamente los métodos analíticos utilizados para evaluar los parámetros de metales pesados.

En las Tablas 7, 8 y 9 del Anexo A, se muestran los 2 niveles de concentración utilizados (5 y 10 ppm), y se puede observar los resultados que estuvieron dentro del rango del 70–130%, recomendado por el EPA, para cada uno de los metales.

El mismo proceso de exactitud fue aplicado para los parámetros físicoquímicos, (Tablas 1, 2, 3 y 4 del Anexo A, donde se observa los tres niveles de concentración de muestras fortificadas con estándares de alta pureza (Baja, Media y Alta), de parámetros como N-Nitritos, N-Nitratos, N-Amoniacal, Fósforo Total, Sulfatos, Cloruros, observando una recuperación aceptable dentro del rango de 70–130%.

Balance de Aniones/Cationes

En las Tablas 10, 11, 12 y 13 del Anexo A se puede apreciar los resultados obtenidos en el balance de Aniones/Cationes, y el 92.86% de los balances está dentro del 10% de diferencia, a excepción del Pozo Saucedá (Estación 3) que no estaba funcionando y del Arroyo Cananea Vieja (Muestreos I y III), los cuales presentan una diferencia mayor al 10%, por ser aguas residuales.

Comportamiento Temporal- Espacial de los Parámetros Físicos y Químicos

Los resultados de los parámetros físicoquímicos, temporal y espacial, obtenidos en las estaciones de muestreo se presentan en las Tablas 1, 2, 3 y 4 del anexo B.

Potencial de Hidrógeno

El comportamiento temporal de la media mensual de pH, entre los 4 muestreos, no presentó diferencias significativas ($p > 0.05$), con valores de 7.75 ± 0.64 y de 8.25 ± 0.50 (Figura 3, Tabla 14 del Anexo A).

Respecto al comportamiento espacial, se observó un comportamiento heterogéneo ($p < 0.05$), es decir, se encontraron diferencias significativas entre las estaciones, variando desde 7.20 ± 0.30 en el punto 1 (Arroyo Cananea Vieja), hasta 8.52 ± 0.19 en el punto 2 (El Barrilito) (Figura 4, Tabla 15 del Anexo A).

La prueba a posteriori mostró que la estación 1 (Arroyo Cananea Vieja) es la estación que presentó la mayor diferencia respecto a las demás estaciones, a excepción de las estaciones San Pedro Palominas (pozo) y de Ejido Morelos (Pozo).

La estación Arroyo Cananea Vieja, presentó los valores más bajos de pH durante los cuatro muestreos y esto puede deberse a la cercanía con la mina y a las descargas de aguas residuales que ahí se vierten.

Oxígeno Disuelto

El comportamiento de este parámetro en el promedio mensual, fue homogéneo ($p > 0.05$), variando de 6.79 ± 0.97 mg/L en el mes de Agosto y de 9.0 ± 2.68 mg/L en el mes de Mayo. (Figura 5, Tabla 14 del Anexo A).

Se sabe que la temperatura afecta la solubilidad del oxígeno disuelto y es en el mes de agosto cuando se presentó el promedio temporal más bajo (6.79 ± 0.97) debido a las altas temperaturas.

Con respecto al espacio se observó un comportamiento homogéneo ($p > 0.05$), entre las estaciones de muestreo. La variación de Oxígeno Disuelto fue de 5.57 ± 1.79 mg/L para la estación Arroyo Cananea Vieja y de 9.15 ± 1.76 mg/L en la estación El Barrilito (Figura 6, Tabla 15 del Anexo A).

Conductividad Eléctrica

El análisis del comportamiento temporal fue homogéneo ($p > 0.05$), obteniendo valores de 543.33 ± 255.0 $\mu\text{mhos/cm}$ y de 603.22 ± 247.42 $\mu\text{mhos/cm}$ (Figura 7, Tabla 14 del Anexo A).

El comportamiento espacial de la Conductividad Eléctrica fue heterogénea ($p < 0.05$), lo cual indica diferencias significativas entre las estaciones de muestreo. El valor promedio máximo fue de 1075.25 ± 167.33 $\mu\text{mhos/cm}$ encontrado en la estación Arroyo Cananea Vieja, mientras que el valor más bajo se halló en la estación Pozo Saucedo, con un valor de 372.5 ± 45.96 $\mu\text{mhos/cm}$ (Figura 8, Tabla 15 del Anexo A).

El análisis a posteriori de la conductividad eléctrica, muestra que la estación 1, Arroyo Cananea Vieja, es igual a la Estación 2, El Barrilito, pero ambas diferentes al resto de las estaciones de estudio.

Aunque los Criterios Ecológicos de Calidad de Agua no contemplan un valor límite permisible, es importante señalar que las altas concentraciones de sales inorgánicas disueltas afectan la calidad del agua y las estaciones 1 y 2 presentan los valores más altos de conductividad eléctrica, lo cual puede deberse a la cercanía con la mina y por las descargas de aguas residuales y cuyos valores decrecen conforme se aleja de la Ciudad de Cananea.

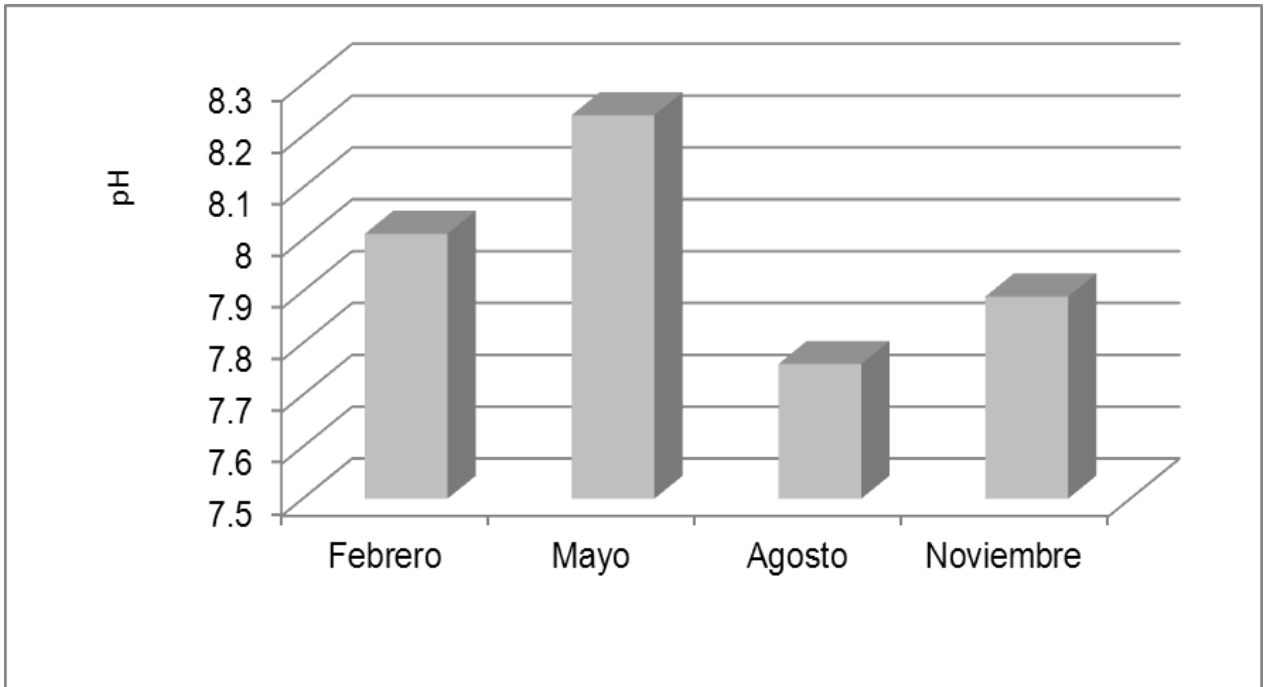


Figura 3. Comportamiento Temporal de pH del Río San Pedro, Sonora.

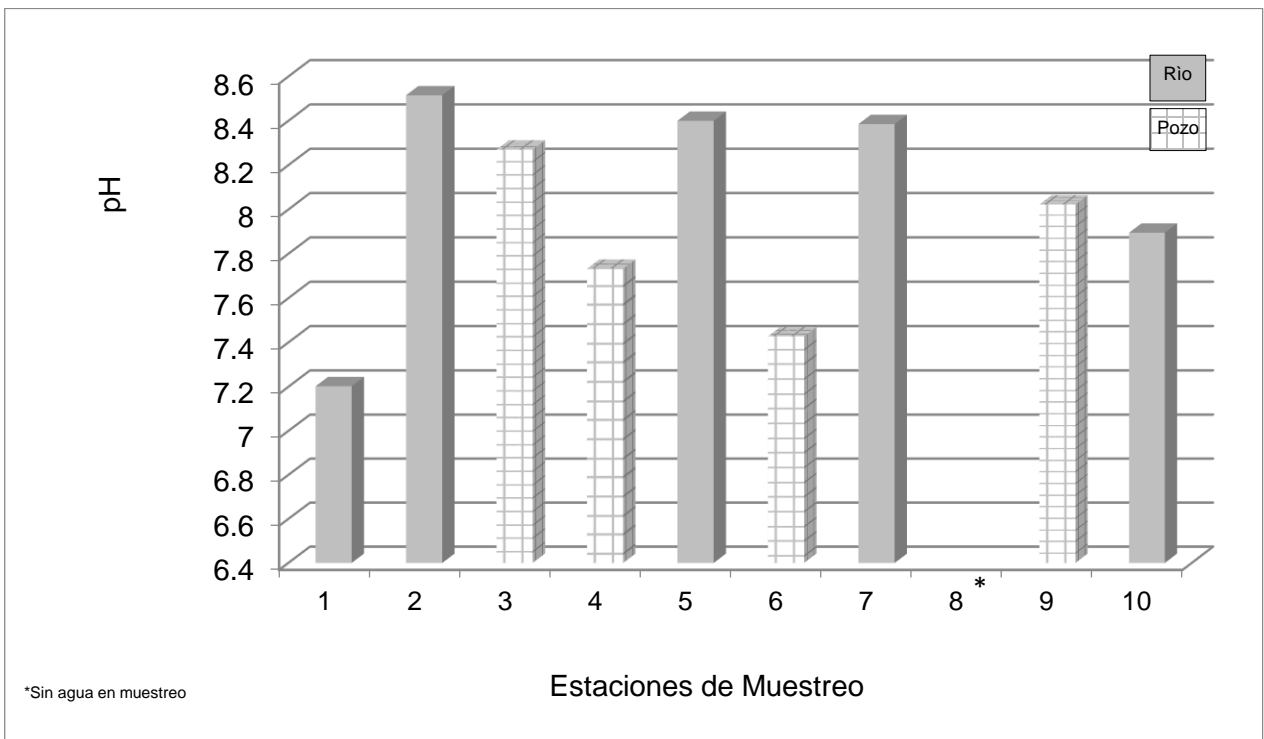


Figura 4. Comportamiento Espacial de pH en las Estaciones de Muestreo del Río San Pedro, Sonora.

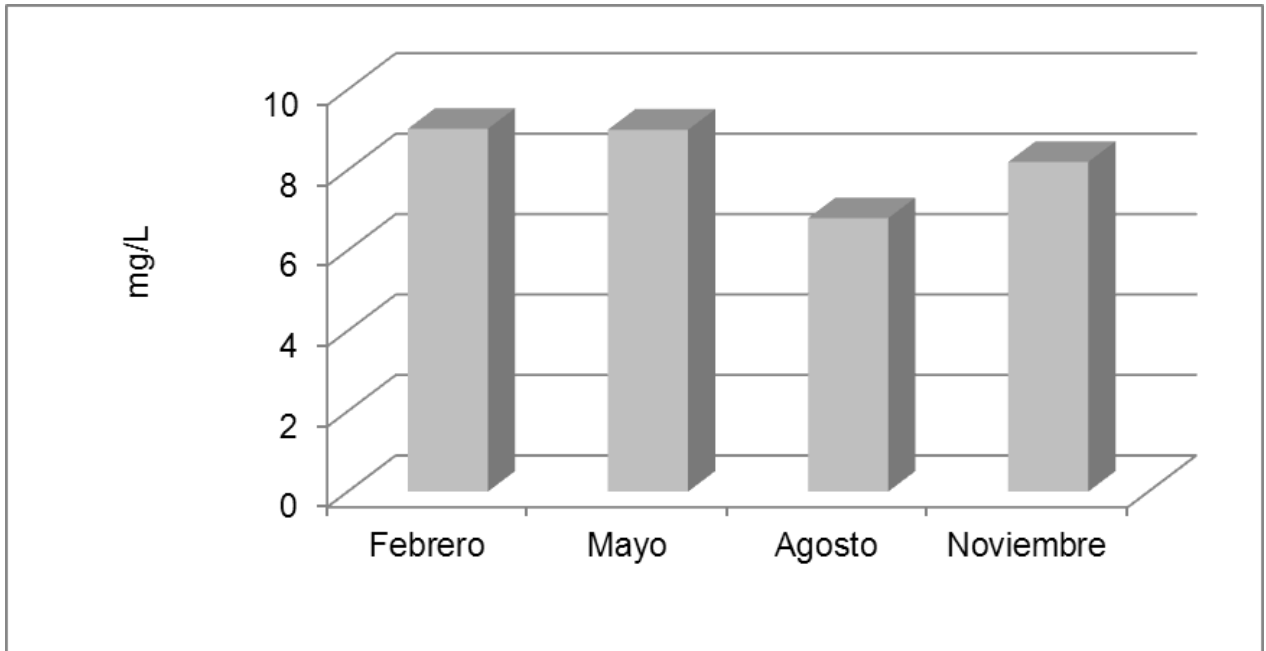


Figura 5. Comportamiento Temporal del Oxígeno Disuelto del Río San Pedro, Sonora.

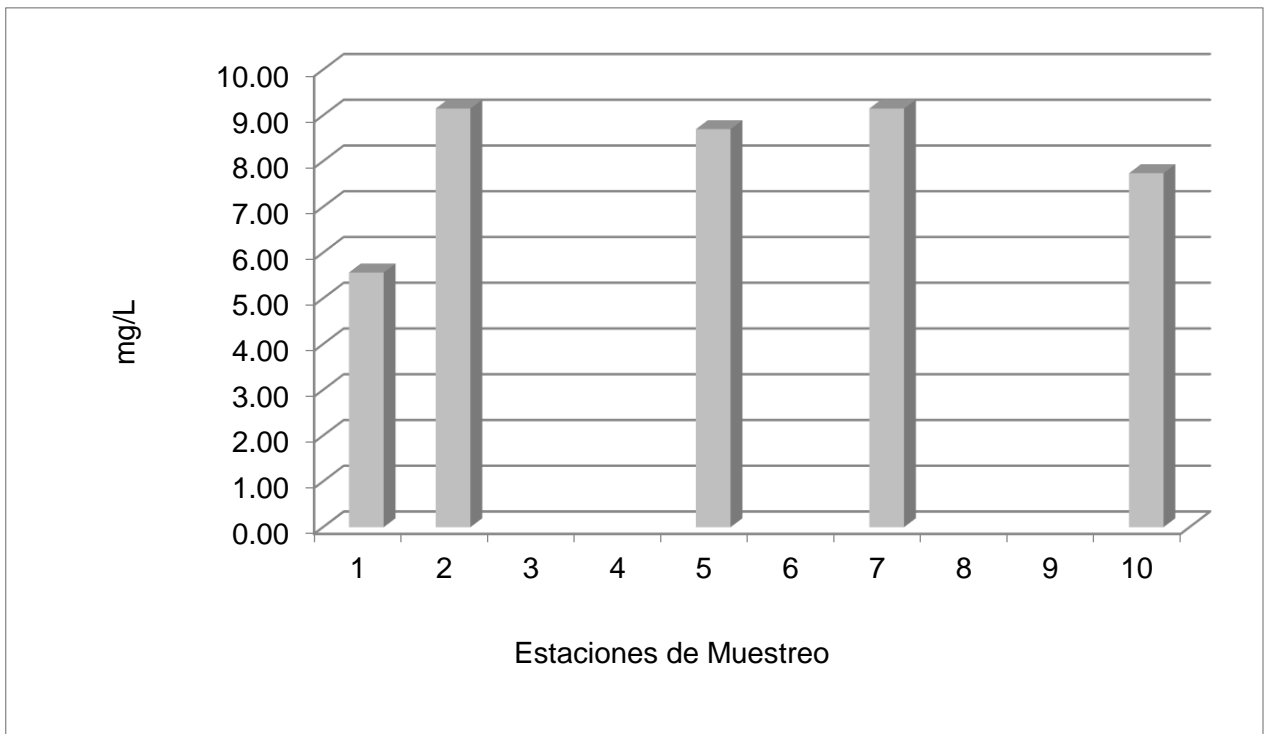


Figura 6. Comportamiento Espacial del Oxígeno Disuelto en las Estaciones de Muestreo del Río San Pedro, Sonora.

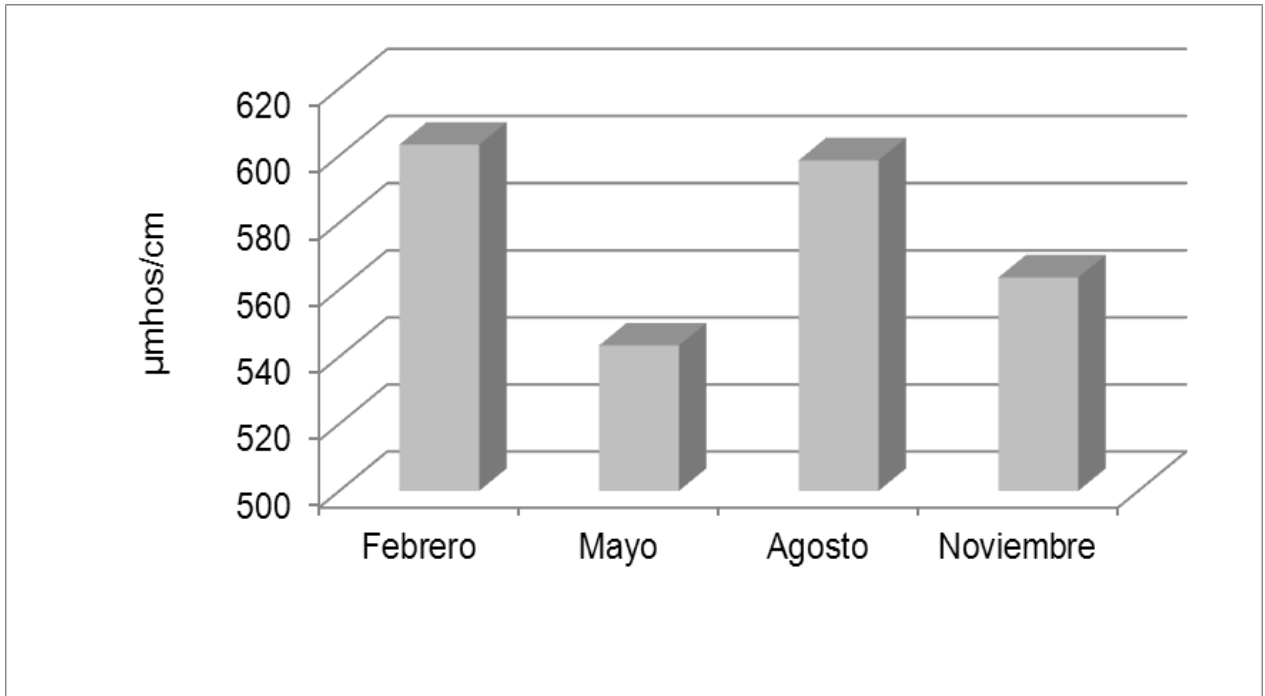


Figura 7. Comportamiento Temporal de Conductividad Eléctrica, del Río San Pedro, Sonora.

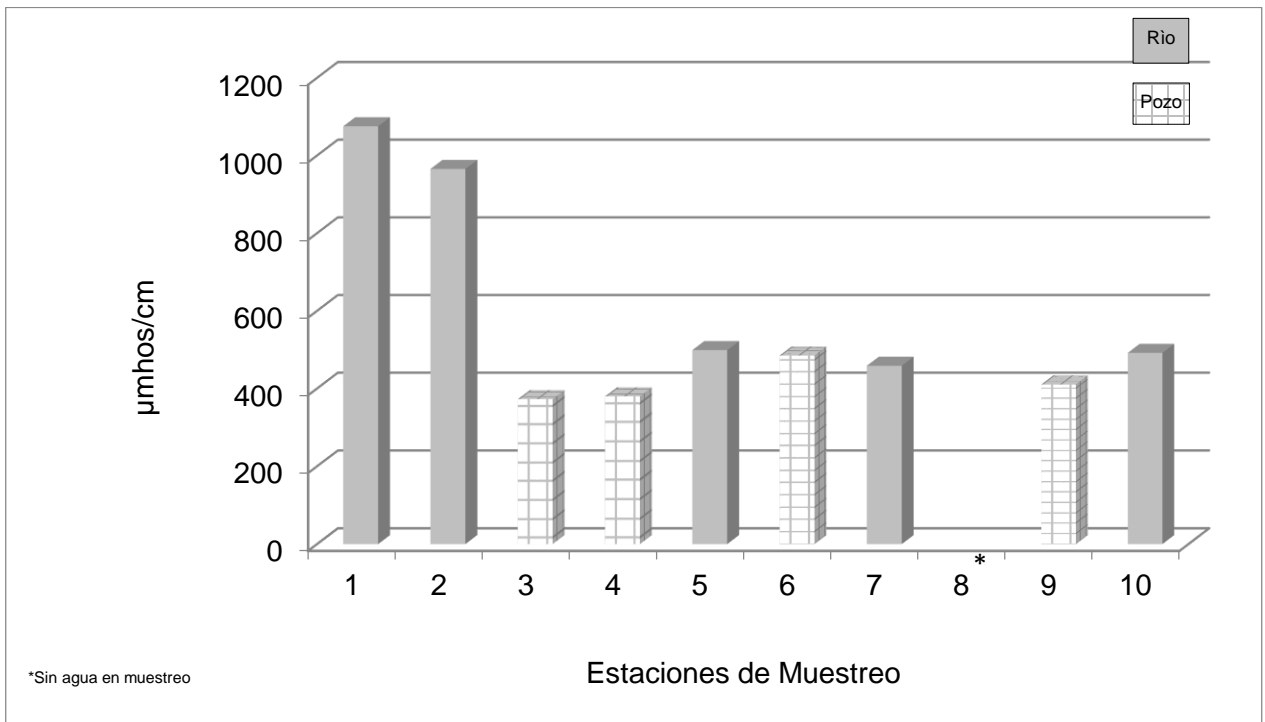


Figura 8. Comportamiento Espacial de Conductividad Eléctrica en las Estaciones de Muestreo del Río San Pedro, Sonora.

Bicarbonatos

El comportamiento de este parámetro respecto al tiempo fue homogéneo ($p > 0.05$), teniendo valores que varían de 175.35 ± 70.36 mg/L durante el mes de agosto y de 227.64 ± 50.33 mg/L en el mes de febrero. (Figura 9, Tabla 14 del Anexo A).

El comportamiento espacial de este parámetro fue heterogéneo ($p < 0.05$), presentando diferencias significativas y cuyos datos varían de 257.86 ± 2.60 mg/L a 146.77 ± 6.33 mg/L, para las estaciones Arroyo Los Corrales y Pozo Saucedá respectivamente. (Figura 10, Tabla 15 del Anexo A).

El análisis a posteriori mostró que la estación 1 y 2 (Arroyo Cananea Vieja y El Barrilito) son iguales entre sí y diferentes al resto.

Los bicarbonatos fueron menor en la estación 1 (Arroyo Cananea Vieja) debido a que su pH es también de los más bajos, ya que los carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos son neutralizados en presencia de ácidos (Gómez-Álvarez, 2001).

Cloruros

Para este parámetro, el comportamiento temporal fue homogéneo ($p > 0.05$), no hubo diferencias significativas durante el periodo de muestreo. El promedio mensual más bajo fue en febrero (11.20 ± 9.48 mg/L) y el más alto se registró en el mes de mayo (15.43 ± 10.11 mg/L). (Figura 11, Tabla 14 del Anexo A). Esto debido a que en mayo las temperaturas son mayores y se concentran las sales dando valores más altos.

En lo que corresponde al comportamiento espacial, fue heterogéneo ($p < 0.05$), el valor más bajo se presentó en la estación Arroyo Los Corrales, con un valor de 7.23 ± 2.30 mg/L, mientras que el valor más alto se registró en la estación denominada El Barrilito con 29.6 ± 4.84 mg/L (Figura 12, Tabla 15 del Anexo A).

Este comportamiento es normal debido a que las fuentes de contaminación para el Río San Pedro están cercanas a la Ciudad de Cananea y a medida que se aleja de la ciudad van

disminuyendo. Lo anterior, debido a que las descargas de las aguas residuales mediante las heces humanas y orina, aportan cloruros, por lo que, dichas aguas sin tratar contribuyen a incrementar la presencia de cloruros en el cauce del Río San Pedro.

Sulfatos

El comportamiento del promedio mensual de sulfatos fue homogéneo ($p > 0.05$) y los valores de promedio mensual fueron de 177.92 ± 282.57 mg/L durante el mes de agosto y de $94.51 + 115.09$ mg/L en el mes de noviembre. (Figura 13, Tabla 14 del Anexo A).

En cuanto al comportamiento espacial, la prueba de Kruskal-Wallis, mostró que existen diferencias significativas ($p < 0.05$). El valor promedio más alto se presentó en la estación Arroyo Cananea Vieja, con 441.36 ± 230.72 mg/L, en tanto que el valor mínimo correspondió al Pozo Ejido Morelos con un valor de 11.58 ± 0.77 mg/L (Figura 14, Tabla 15 del Anexo A).

El análisis a posteriori aplicado al comportamiento temporal, define que los muestreos realizados en febrero, agosto y noviembre, son iguales, pero diferentes al mes de mayo.

El análisis a posteriori, muestra que la estación Arroyo Cananea Vieja y El Barrilito, son iguales entre sí, pero diferentes a todas las demás estaciones.

El origen elevado de sulfato se debe principalmente a la explotación minera que se desarrolla en las áreas cercanas al inicio del Río San Pedro. La explotación minera en la región de Cananea, Sonora, son de yacimientos de origen sulfuroso, por lo que uno de los contaminantes son los sulfatos, hierro, cobre y ácido sulfúrico (Gómez-Álvarez *et al*, 1990).

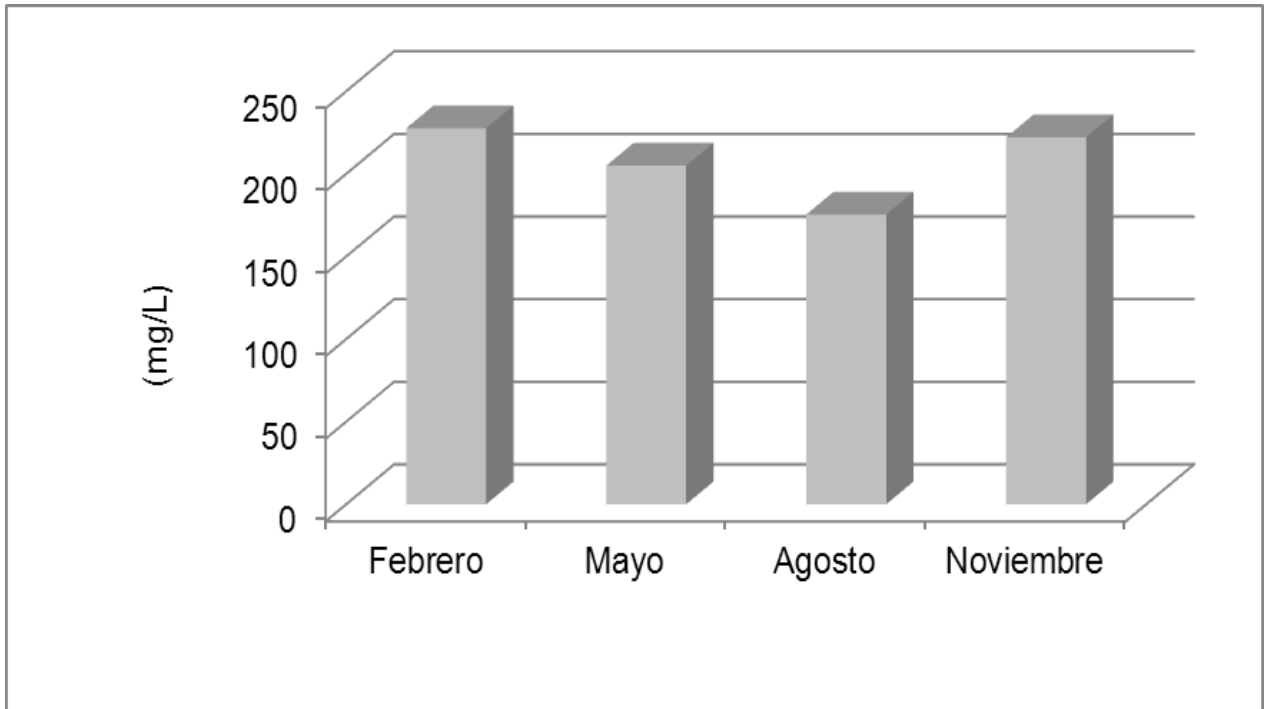


Figura 9. Comportamiento Temporal de Bicarbonatos del Río San Pedro, Sonora.

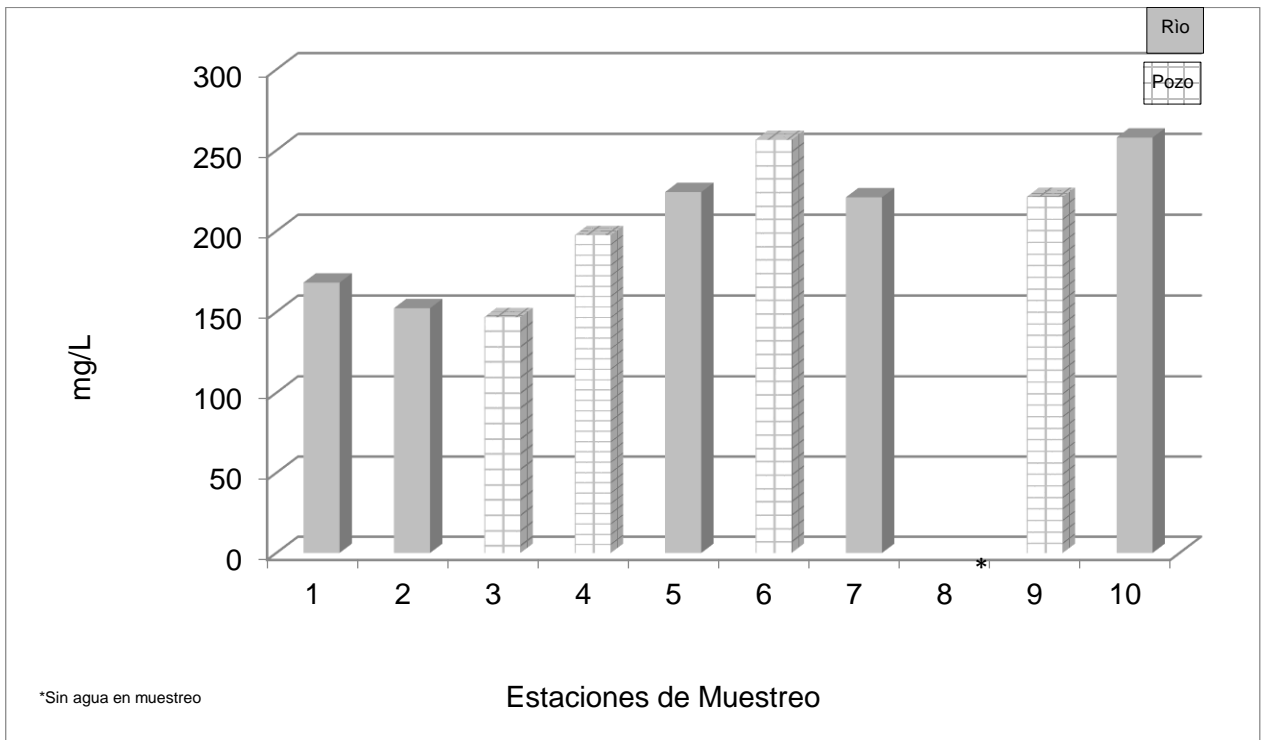


Figura 10. Comportamiento Espacial de Bicarbonatos en las Estaciones de Muestreo del Río San Pedro, Sonora.

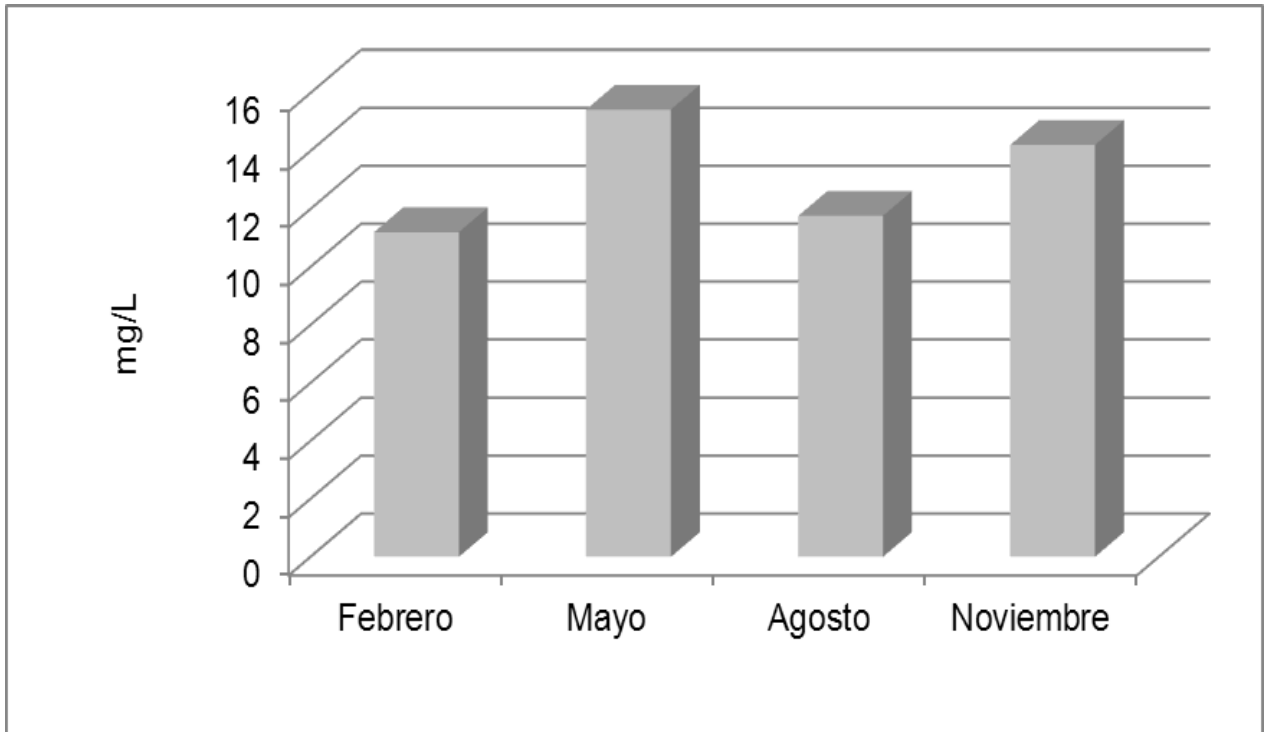


Figura 11. Comportamiento Temporal de Cloruros del Río San Pedro, Sonora.

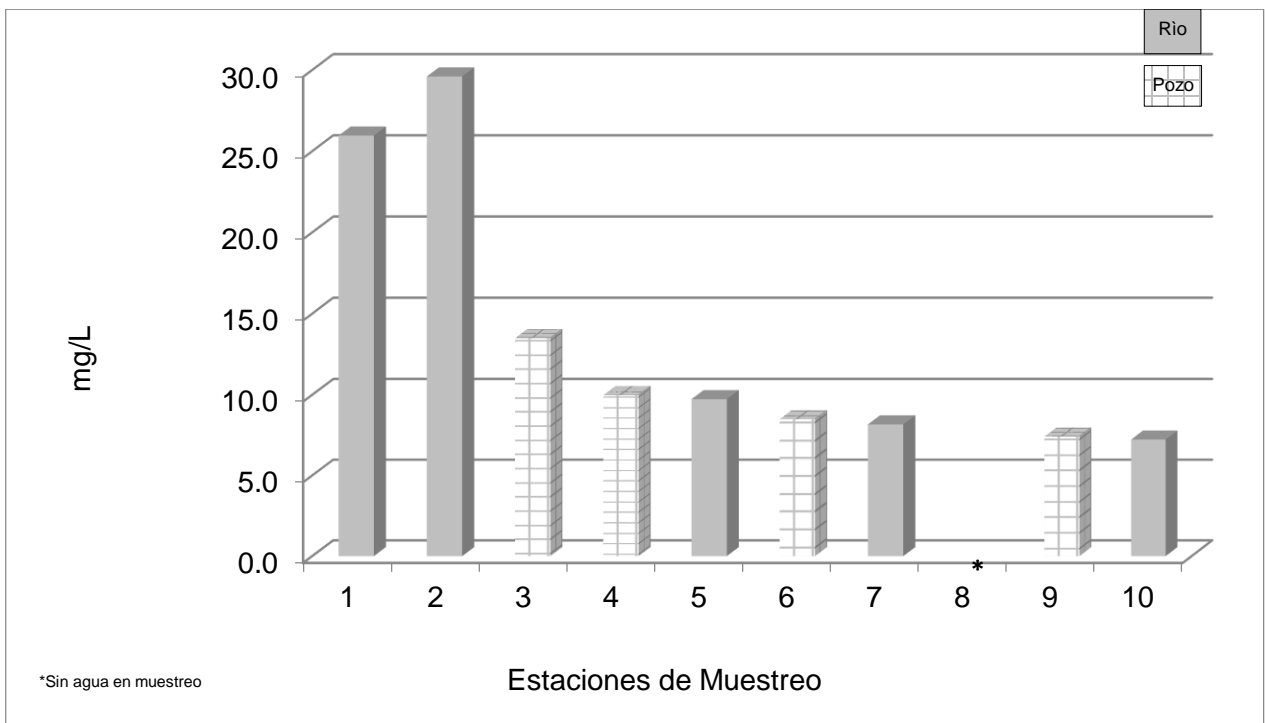


Figura 12. Comportamiento Espacial de Cloruros en las Estaciones de Muestreo del Río San Pedro, Sonora.

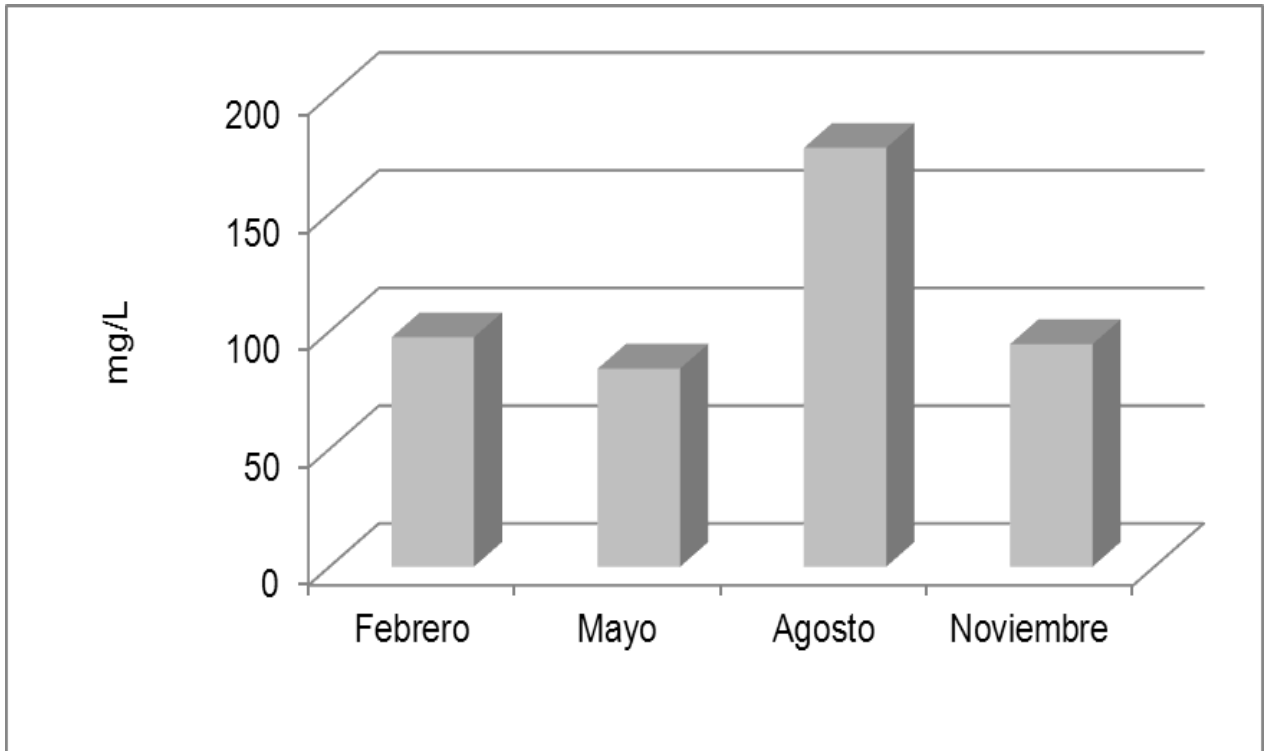


Figura 13. Comportamiento Temporal de Sulfatos del Río San Pedro, Sonora.



Figura 14. Comportamiento Espacial de Sulfatos en las Estaciones de Muestreo del Río San Pedro, Sonora.

Sólidos Disueltos Totales

Las concentraciones de SDT, durante los meses de muestreo, fueron homogéneas ($p > 0.05$), encontrando para el mes de mayo un valor mínimo de 319.44 ± 192.12 mg/L y un valor promedio máximo de 439.0 ± 319.44 mg/L, para el mes de febrero (Figura 15, Tabla 14 del Anexo A).

En lo referente al comportamiento espacial, el análisis estadístico muestra que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las estaciones de muestreo. La variación fue de 236.5 ± 30.25 mg/L para Pozo Ejido Morelos y de 797.75 ± 195.88 mg/L para el punto Arroyo Cananea Vieja. (Figura 16, Tabla 15 del Anexo A).

La estación Arroyo Cananea Vieja rebasó también el límite establecido para sólidos disueltos totales (NOM-127-SSA-1994 y CE-CCA-001/89), los cuales pueden ser aportados por las aguas residuales que son ricas en materia orgánica y sales inorgánicas disueltas. Los principales iones que constituyen los sólidos disueltos totales son carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, nitratos, sodio, potasio, calcio, magnesio y trazas de hierro y manganeso (Gómez-Álvarez, 2001).

El análisis a posteriori espacial, muestra claramente que las estaciones 1 y 2 son iguales y diferentes al resto de las estaciones en estudio.

Nitrógeno Amoniacal

El comportamiento temporal, según el análisis estadístico, mostró ser heterogéneo ($p > 0.05$). El rango de concentración de este parámetro fue de 0.56 ± 1.02 mg/L (agosto) y de 1.08 ± 2.99 (en el mes de mayo) (Figura 17, Tabla 14 del Anexo A).

El análisis a posteriori temporal indica que los meses de febrero y noviembre fueron iguales.

Respecto al comportamiento espacial fue también heterogéneo ($p < 0.05$) con valores promedios de 5.36 ± 2.65 mg/L en el Arroyo Cananea Vieja y de 0.07 ± 0.05 mg/L, para el Pozo Ejido Morelos (Figura 18, Tabla 15 del Anexo A).

El análisis a posteriori espacial mostró que la estación 1 y 2 (Arroyo Cananea Vieja y El Barrilito), son iguales pero distintas al resto de las estaciones.

Se tiene que dichas estaciones están por arriba de los límites establecidos en la NOM-127-SSA-1994 y los límites máximos permisibles para fuente de abastecimiento de agua potable (SEDUE, 1989) en nitrógeno amoniacal, lo cual puede deberse a que son estaciones fuertemente impactadas por las descargas de aguas residuales provenientes de la Ciudad de Cananea, ya que no son tratadas antes de descargarlas al Río San Pedro, por lo que pueden contener elevados niveles de nitrógeno en todas sus formas.

Nitrógeno de Nitratos

El comportamiento promedio mensual de $N-NO_3$, fue homogéneo ($p > 0.05$), sin diferencias significativas entre cada uno de los muestreos. El más alto valor promedio se registró en el mes de noviembre y el más bajo en agosto con 1.58 ± 1.99 mg/L y 0.95 ± 1.15 mg/L respectivamente (Figura 19, Tabla 14 del Anexo A).

En cuanto al promedio espacial, el comportamiento fue heterogéneo ($p < 0.05$), con valores de 3.89 ± 1.67 mg/L y de 0.09 ± 0.03 mg/L, para la estación 3 (La Saucedá, Pozo) y 7 (San Pedro Palominas Río) respectivamente (Figura 20, Tabla 15 del Anexo A).

El análisis a posteriori muestra diferencias significativas, entre la estación Arroyo Cananea Vieja y el resto de las estaciones.

La estación El Barrilito sobrepasa el límite establecido para nitrógeno de nitratos, en la norma CE-CCA-001/89. Este parámetro se atribuye a las descargas residuales existentes en esa zona. Las descargas ricas en nitrógeno pueden causar problemas de eutroficación y nitrificación con la consecuente concentración de nitratos (Gómez-Álvarez, 2001).

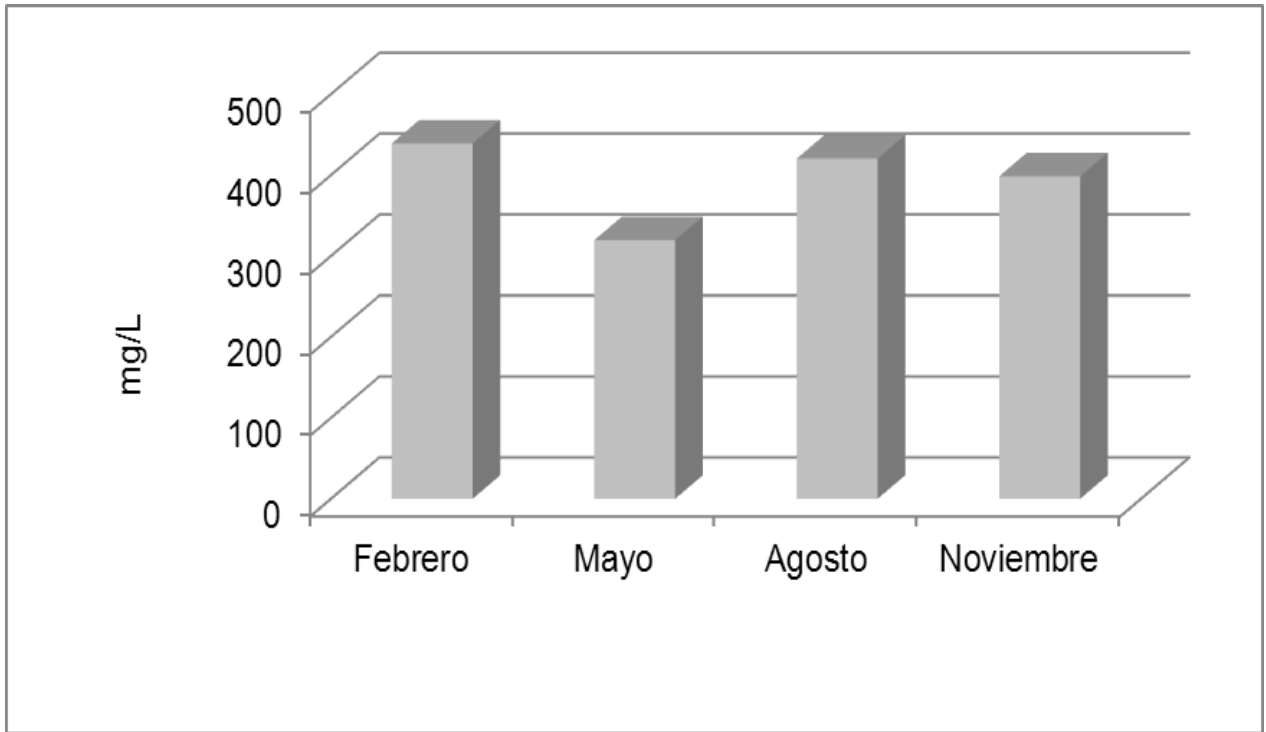


Figura 15. Comportamiento Temporal de Sólidos Disueltos Totales del Río San Pedro, Sonora.

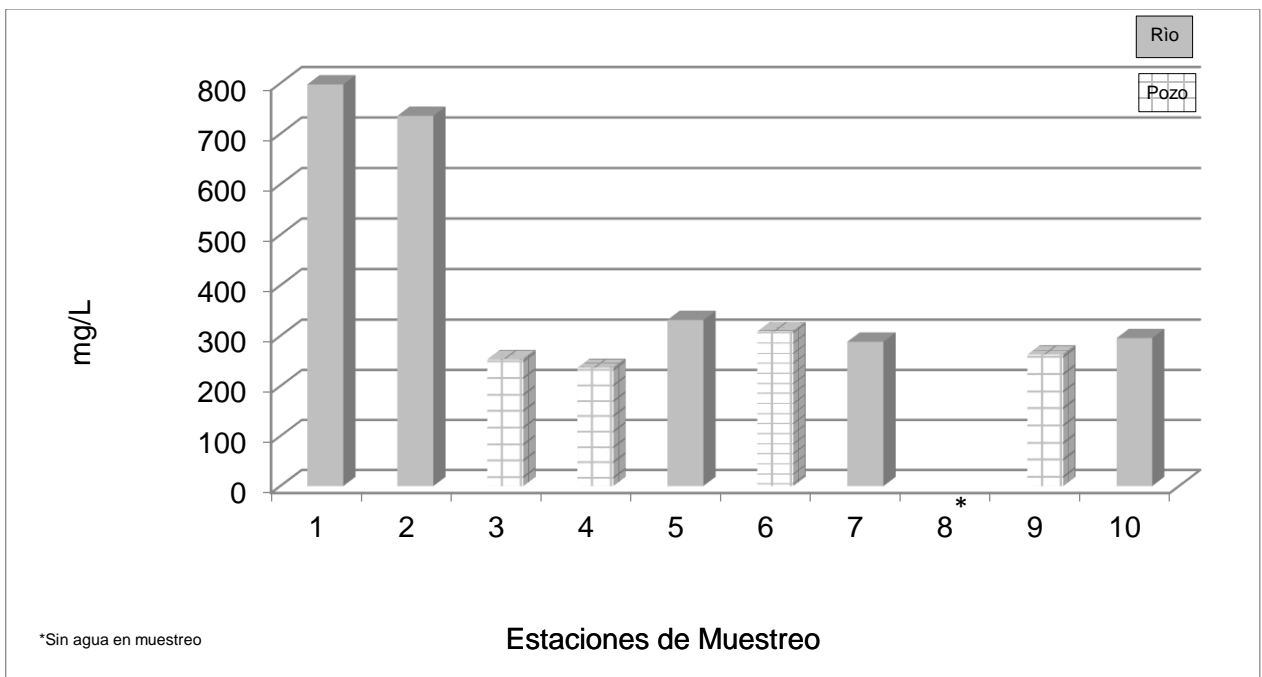


Figura 16. Comportamiento Espacial de Sólidos Disueltos Totales en las Estaciones de Muestreo del Río San Pedro, Sonora.

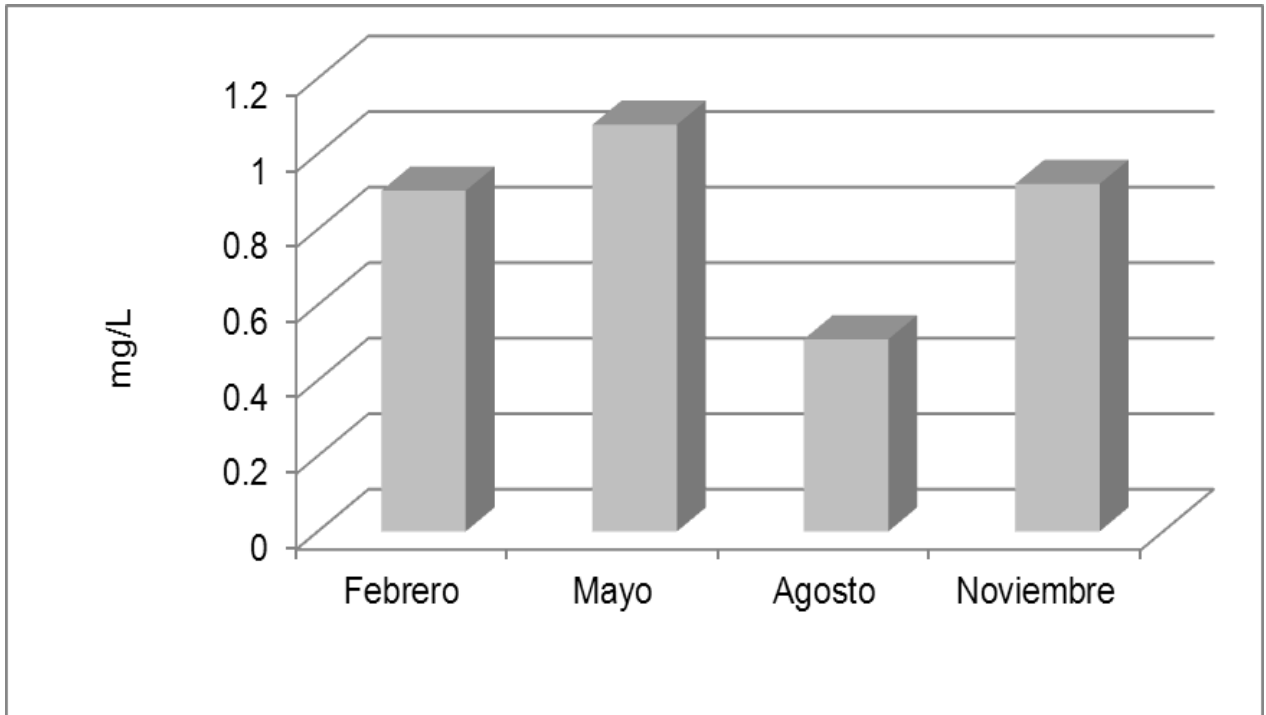


Figura 17. Comportamiento Temporal de Nitrógeno Amoniaco del Río San Pedro, Sonora.



Figura 18. Comportamiento Espacial de Nitrógeno Amoniaco en las Estaciones de Muestreo del Río San Pedro, Sonora.

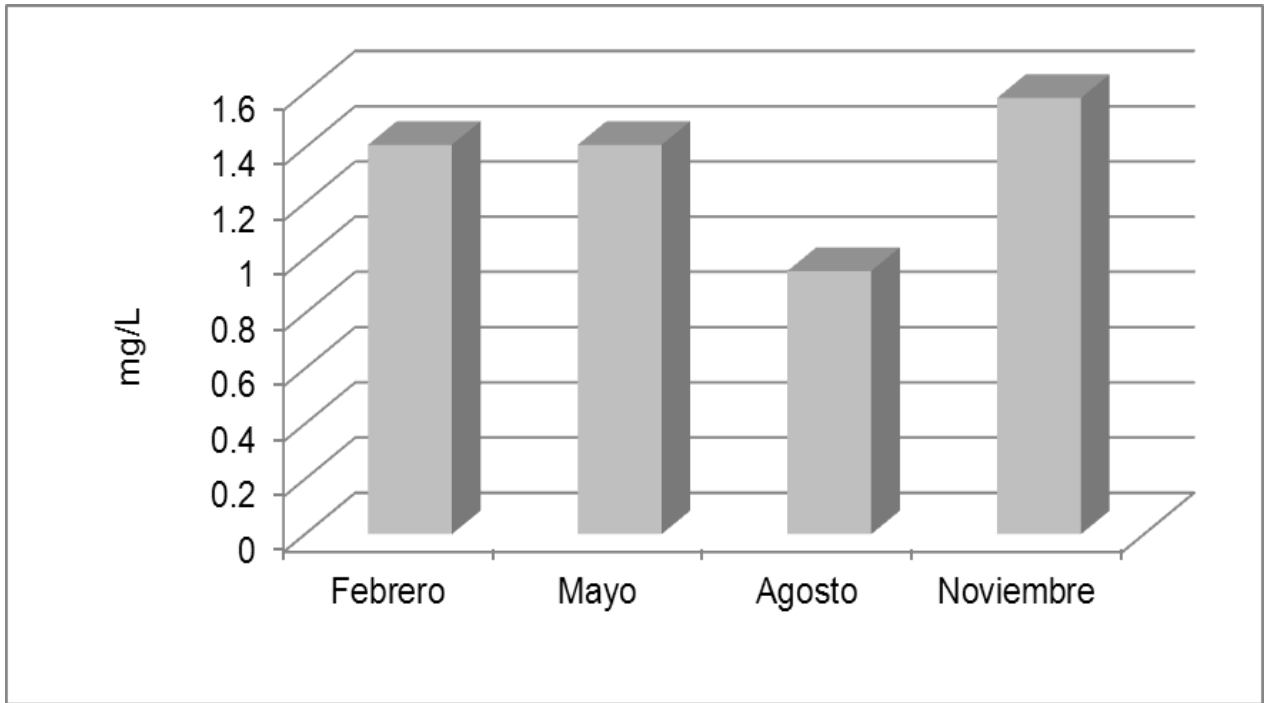


Figura 19. Comportamiento Temporal de Nitrógeno de Nitratos del Río San Pedro, Sonora.

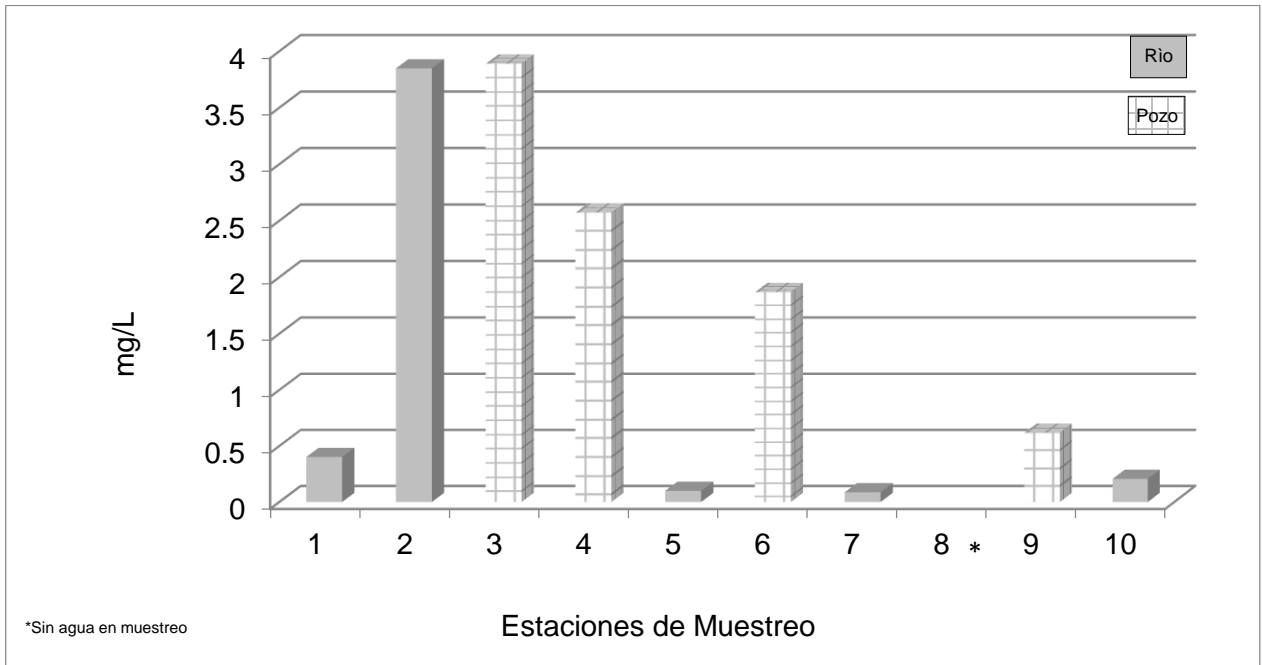


Figura 20. Comportamiento Espacial de Nitrógeno de Nitratos en las Estaciones de Muestreo del Río San Pedro, Sonora.

Nitrógeno de Nitritos

El comportamiento temporal fue homogéneo, según el análisis de Kruskal-Wallis ($p > 0.05$), la variación promedio de este parámetro fue de 0.09 ± 0.21 mg/L (noviembre) y de 0.04 ± 0.07 mg/L (en mayo) (Figura 21, Tabla 14 del Anexo A).

En el espacial, el comportamiento fue heterogéneo, se presentaron diferencias significativas entre las estaciones. El rango de los valores promedios fueron de 0.47 ± 0.28 mg/L en la estación El Barrilito y de ND < 0.01 mg/L para el resto de las estaciones a excepción de Arroyo Cananea Vieja (Figura 22, Tabla 15 del Anexo A).

Las pruebas a posteriori indican que las estaciones Arroyo Cananea Vieja y El Barrilito son iguales, pero distintas al resto.

Este valor obtenido en la estación El Barrilito está por arriba de los límites establecidos en la NOM-127-SSA-1994 y los límites máximos permisibles para fuente de abastecimiento de agua potable (SEDUE, 1989) en: Nitrógeno de nitritos, lo cual puede deberse a que es una estación fuertemente impactada por las descargas de aguas residuales provenientes de la Ciudad de Cananea, por lo que pueden contener elevados niveles de nitrógeno en todas sus formas.

Fósforo Total

El comportamiento del promedio mensual del Fósforo Total fue homogéneo. La prueba de Kruskal-Wallis mostró que no hay diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los muestreos. La variación de datos promedios fue de 0.41 ± 0.78 mg/L y de 0.92 ± 1.88 mg/L, para los meses de mayo y noviembre respectivamente (Figura 23, Tabla 14 del Anexo A).

El comportamiento espacial fue heterogéneo ($p < 0.05$). Los promedios variaron de 0.02 ± 0.02 mg/L (Pozo Saucedá) y de 2.693 ± 1.86 mg/L (El Barrilito) (Figura 24, Tabla 15 del Anexo A).

El análisis a posteriori espacial indica que las estaciones Arroyo Cananea Vieja y El Barrilito son iguales, pero se observan diferencias significativas con el resto de las estaciones.

Los valores de fósforo total fueron más altos en las mismas estaciones (Arroyo Cananea Vieja y El Barrilito) y debido a que las aguas residuales que en esas estaciones son descargadas, tienen alto contenido de detergentes.

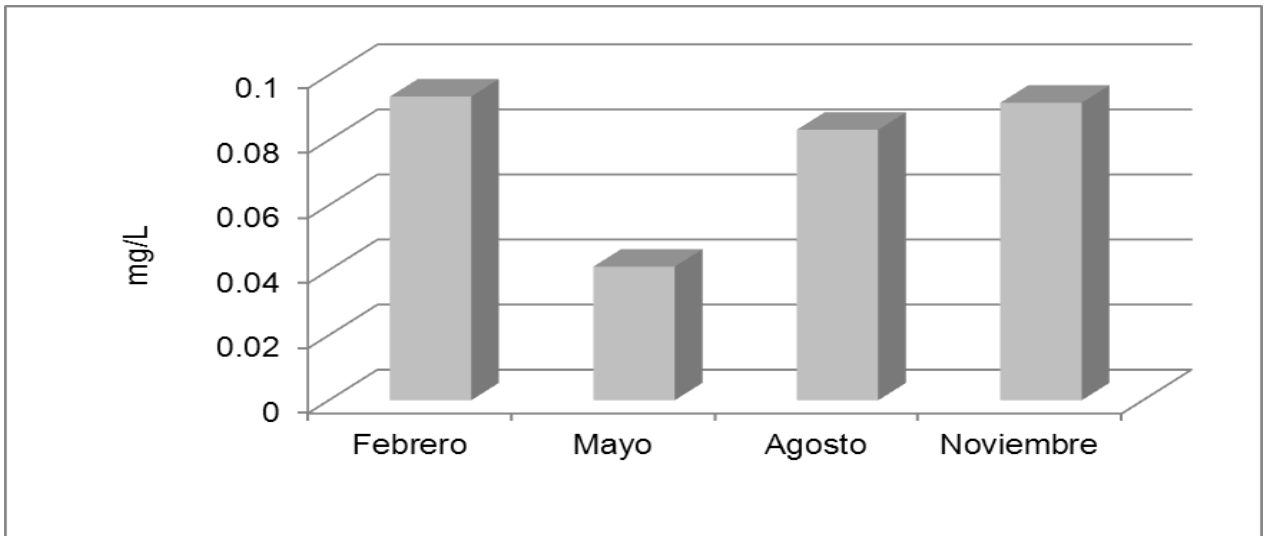


Figura 21. Comportamiento Temporal de Nitrógeno de Nitritos del Río San Pedro, Sonora.



Figura 22. Comportamiento Espacial de Nitrógeno de Nitritos en las Estaciones de Muestreo del Río San Pedro, Sonora.

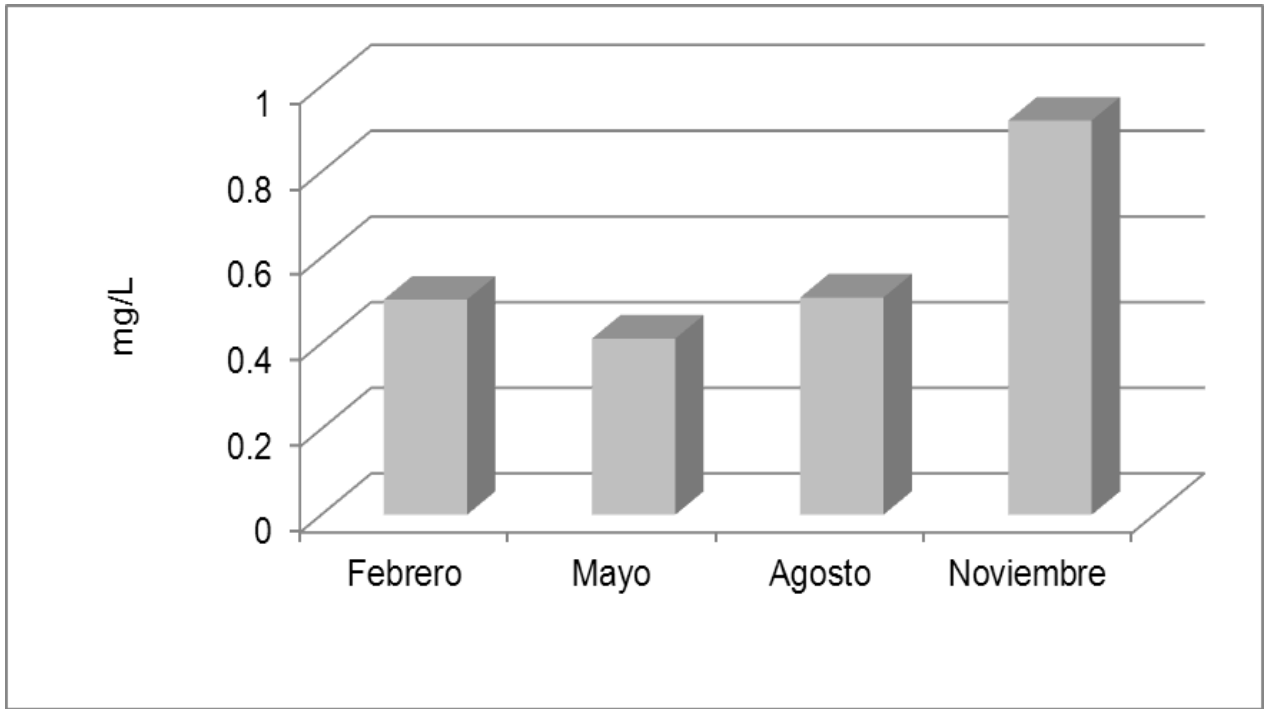


Figura 23. Comportamiento Temporal de Fósforo Total del Río San Pedro, Sonora.

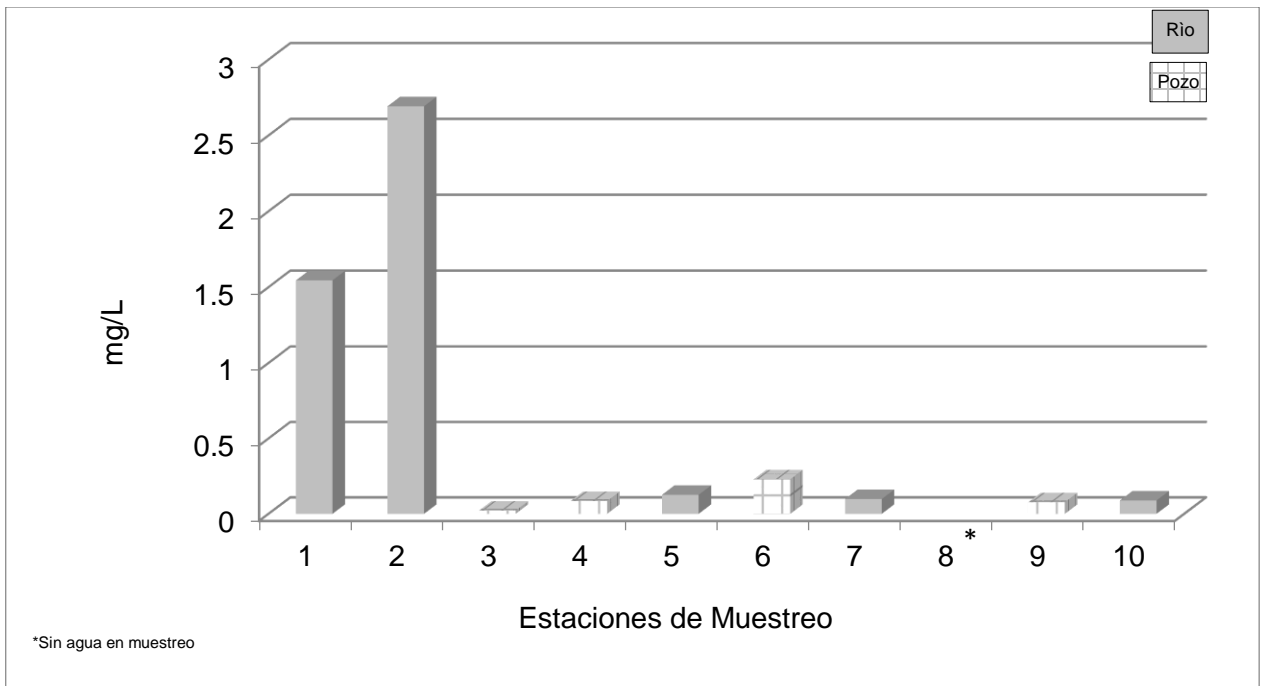


Figura 24. Comportamiento Espacial de Fósforo Total en las Estaciones de Muestreo del Río San Pedro, Sonora.

Comportamiento Espacio-Temporal de los Metales Pesados

En el caso de cadmio, cromo total, níquel y plomo, no se aplicó análisis estadístico, debido a que sus valores son de No Detectable (ND), durante los muestreos realizados en el área de estudio.

Los resultados de los metales temporal y espacial, obtenidos en las estaciones de muestreo se presentan en las Tablas 1, 2, 3 y 4 del Anexo C.

Calcio (Ca)

El calcio presentó un comportamiento temporal homogéneo ($p > 0.05$), presentando un promedio máximo de 72.06 ± 47.75 mg/L en el mes de agosto y un mínimo de 52.53 ± 29.48 mg/l, en el mes de mayo (Figura 25, Tabla 14 del Anexo A).

En cuanto a su comportamiento espacial, fue heterogéneo ($p < 0.05$), variando desde 121.44 ± 29.42 , para la estación Arroyo Cananea Vieja, hasta 15.50 ± 7.78 mg/L, para la estación Pozo Saucedá. (Figura 26, Tabla 15 del Anexo A).

Las pruebas a posteriori indican que las estaciones Arroyo Cananea Vieja y El Barrilito son iguales entre sí. Los valores más altos en los cuatro muestreos fueron para las estaciones 1 y 2, las más cercanas a la actividad minera y disminuyeron conforme se alejan de la Ciudad de Cananea

Cobre (Cu)

El Cobre presentó un comportamiento temporal homogéneo ($p > 0.05$), con valores máximos de 0.25 ± 0.61 mg/L, en el mes de agosto y valores mínimos de 0.04 ± 0.096 mg/l en el mes de febrero (Figura 27, Tabla 14 del Anexo A).

El comportamiento espacial fue heterogéneo ($p < 0.05$), con valores máximos de 0.943 ± 0.725 mg/L, en la estación Arroyo Cananea Vieja y mínimos de $ND < 0.02$, para el resto de estaciones, a excepción de El Barrilito (Figura 28, Tabla 15 del Anexo A).

Pruebas a posteriori muestran nuevamente que la estación Arroyo Cananea Vieja y El Barrilito son iguales.

El cobre sobrepasó los límites permisibles en la CE-CCA-001/89 como fuente de abastecimiento de agua potable. Esto puede atribuirse a que se encuentra cercana de la explotación minera existente en la Ciudad de Cananea.

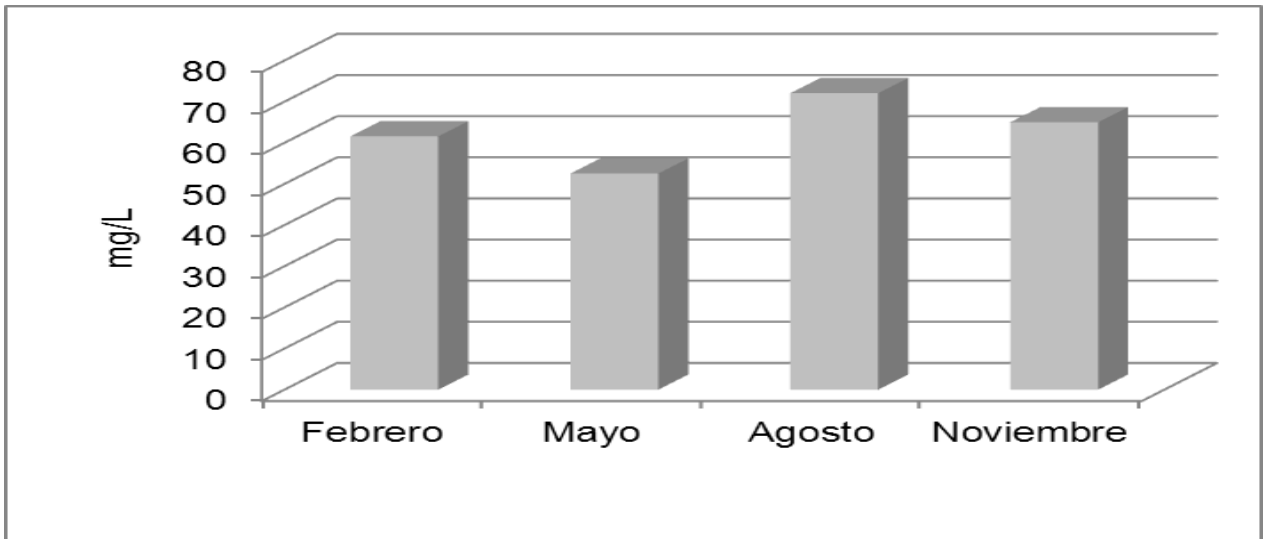


Figura 25. Comportamiento Temporal de Calcio del Río san Pedro, Sonora.

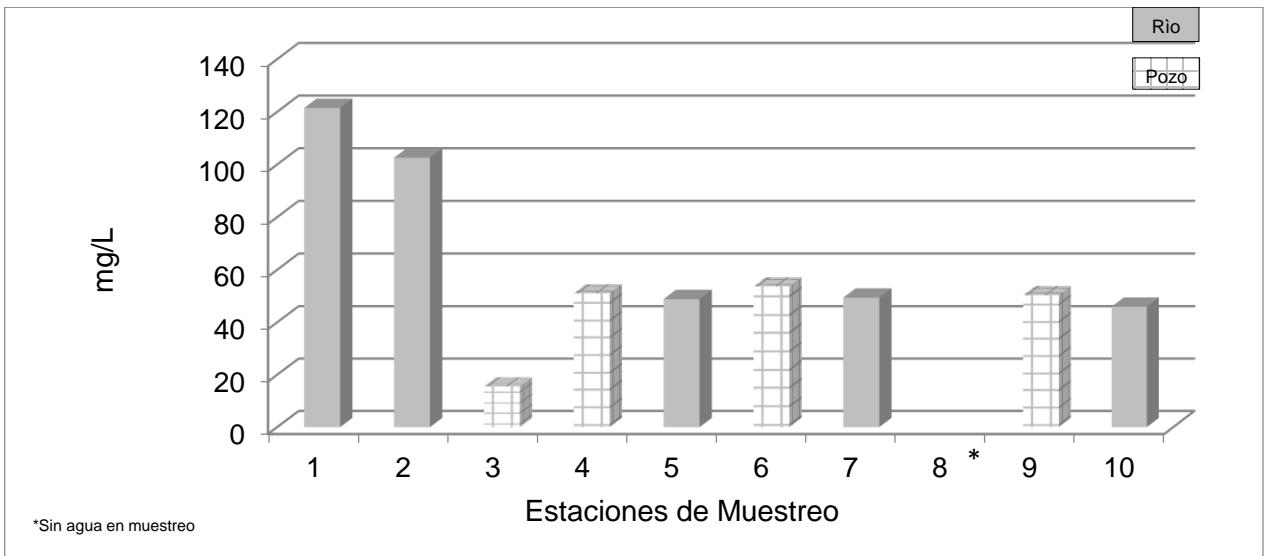


Figura 26. Comportamiento Espacial de Calcio en las Estaciones de Muestreo del Río San Pedro Sonora.

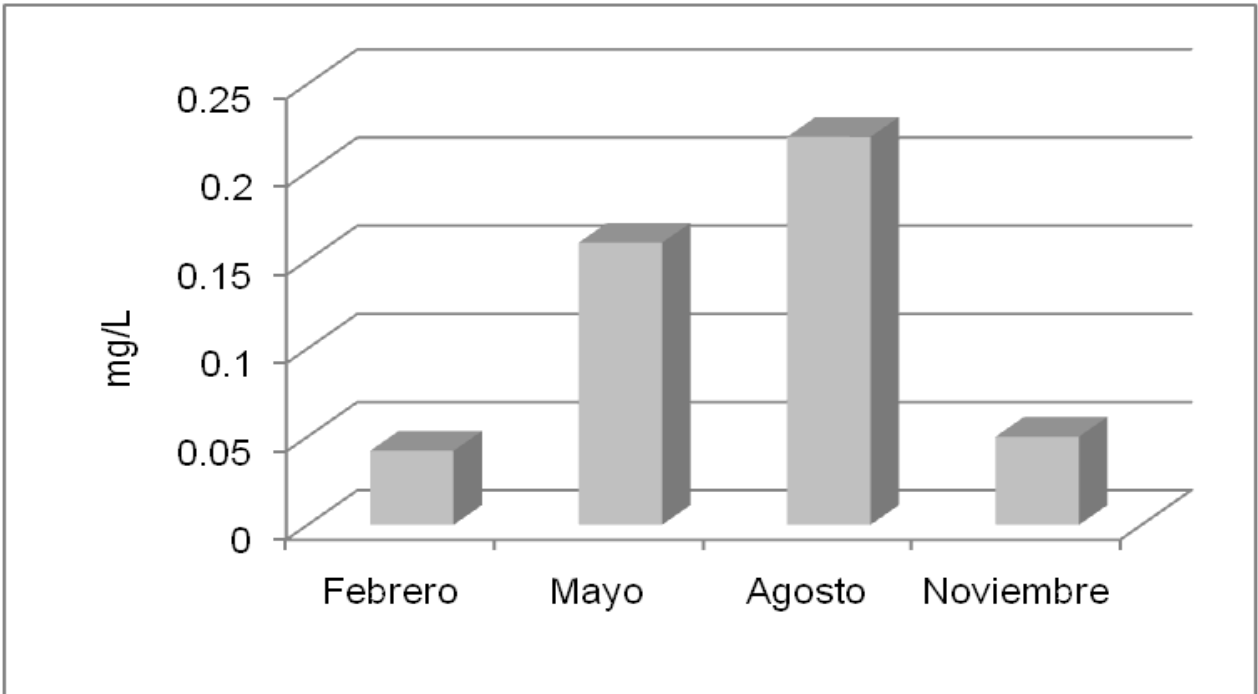


Figura 27. Comportamiento Temporal de Cobre del Río San Pedro, Sonora.

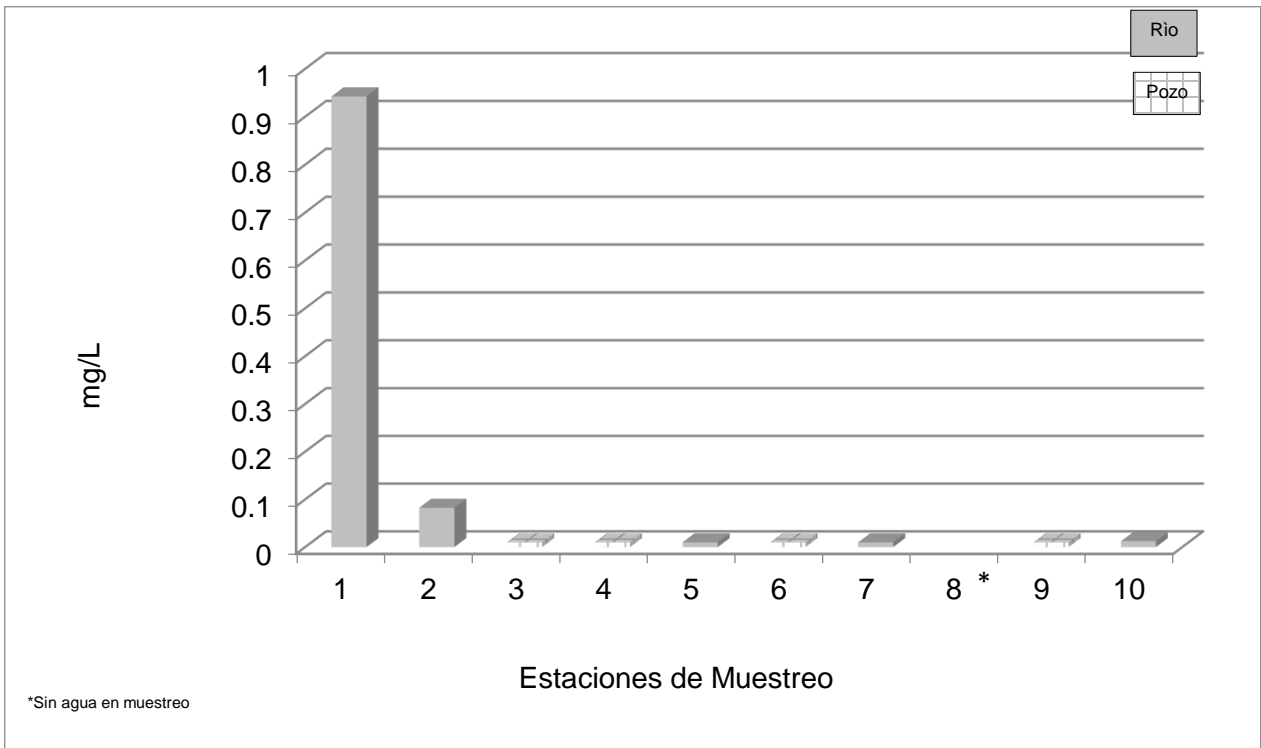


Figura 28. Comportamiento Espacial de Cobre en las Estaciones de Muestreo del Río San Pedro, Sonora.

Hierro (Fe)

El contenido de hierro en agua superficial y subterránea, presentó un comportamiento homogéneo ($p > 0.05$), entre los meses evaluados, presentado un valor máximo de 1.40 ± 3.26 mg/L en el mes de agosto y un valor mínimo de 0.16 ± 0.13 mg/L durante el mes de noviembre (Figura 29, Tabla 14 del Anexo A).

El comportamiento espacial fue heterogéneo ($p < 0.05$), encontrando que la estación Arroyo Cananea Vieja, presentó el valor más alto, 5.3 ± 4.25 mg/L y un valor promedio mínimo de 0.08 ± 0.10 mg/L en la estación de San Pedro Palominas (Figura 30, Tabla 15 del Anexo A).

Pruebas a posteriori espacial, señala similitud entre las estaciones 1 (Arroyo Cananea Vieja), 2 (El Barrilito) y 3 (Pozo La Sauceda), y que estas 3 son diferentes al resto de las estaciones de muestreo.

El comportamiento es de nuevo de mayor a menor conforme se aleja de la actividad minera y la presencia de este elemento puede ser atribuida a la disolución de rocas y minerales, desechos ácidos provenientes de actividades mineras y desechos de aguas residuales (WHO, 1984; Hem, 1992).

Magnesio (Mg)

El comportamiento de la distribución temporal de magnesio fue homogéneo ($p > 0.05$), sin diferencias significativas, con un valor máximo de 13.63 ± 11.97 mg/L, durante agosto y un mínimo de 9.11 ± 6.70 mg/L durante mayo (Figura 31, Tabla 14 del Anexo A).

Respecto al comportamiento espacial este resultó ser heterogéneo ($p < 0.05$), encontrando para la estación Arroyo Cananea Vieja, un promedio de 26.23 ± 7.56 mg/L, y para el Pozo Sauceda un mínimo de 2.00 ± 1.13 mg/L (Figura 32, Tabla 15 del Anexo A).

Pruebas a posteriori espaciales del Mg, indican que las estaciones Arroyo Cananea Vieja y El Barrilito son iguales, y distintas a las demás estaciones del presente estudio.

El comportamiento del magnesio es de mayor en la estación Arroyo Cananea Vieja y El Barrilito y menor conforme se aleja de la Ciudad de Cananea, donde se localizan las fuentes de descargas residuales.

Manganeso (Mn)

El comportamiento temporal del manganeso fue homogéneo ($p > 0.05$), observando valores máximos de 1.02 ± 2.17 mg/L para el mes de agosto y un mínimo de 0.43 ± 0.95 mg/L en el mes de noviembre (Figura 33, Tabla 14 del Anexo A).

La variación espacial del manganeso fue heterogénea ($p < 0.05$) presentando un valor promedio máximo de 3.75 ± 1.64 mg/L para la estación Arroyo Cananea Vieja, mientras que el valor promedio bajo de $ND < 0.02$ se presentó en las estaciones La Sauceda (Pozo), Ejido Morelos (Pozo) y San Pedro Palominas (Pozo) (Figura 34, Tabla 15 del Anexo A).

Las pruebas a posteriori espaciales mostraron que la estación Arroyo Cananea Vieja y El Barrilito, son iguales.

En relación al manganeso su alta concentración también puede deberse a las descargas de aguas residuales y a la cercanía con la explotación minera.

Potasio (K)

El comportamiento temporal de la distribución de Kruskal-Wallis fue homogéneo ($p > 0.05$) presentando en el mes de agosto un promedio de 6.56 ± 5.51 mg/L y un mínimo de 3.35 ± 3.14 mg/L registrado en el mes de febrero (Figura 35, Tabla 14 del Anexo A).

Respecto al comportamiento espacial, fue heterogéneo ($p < 0.05$), encontrando que la estación Arroyo C. Vieja presentó el promedio más alto de 11.31 ± 4.14 mg/L y el valor promedio más bajo se presentó en la estación Pozo Sauceda con 1.50 ± 1.06 mg/L (Figura 36, Tabla 15 del Anexo A).

Las pruebas a posteriori espaciales del potasio, no arrojan diferencias significativas entre la estación 1 y 2, indicando que son iguales, pero diferentes al resto de las estaciones.

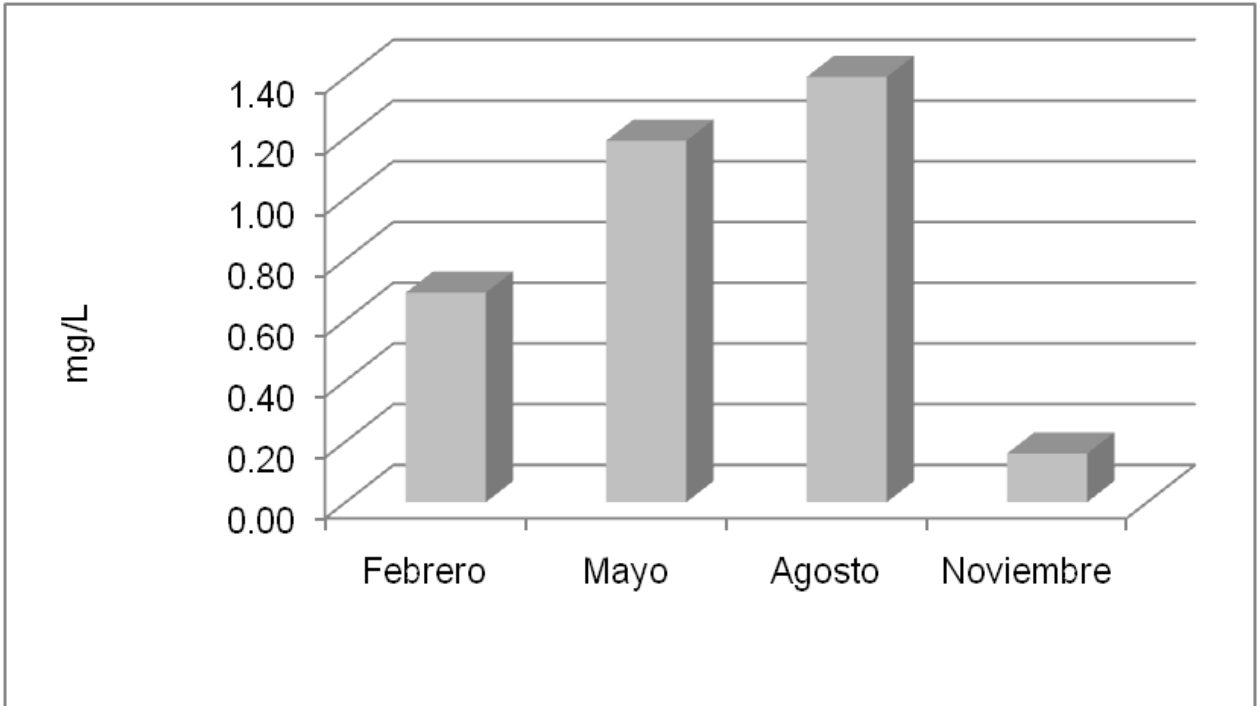


Figura 29. Comportamiento Temporal de Hierro del Río San Pedro, Sonora.



Figura 30. Comportamiento Espacial de Hierro en las Estaciones de Muestreo del Río San Pedro, Sonora.

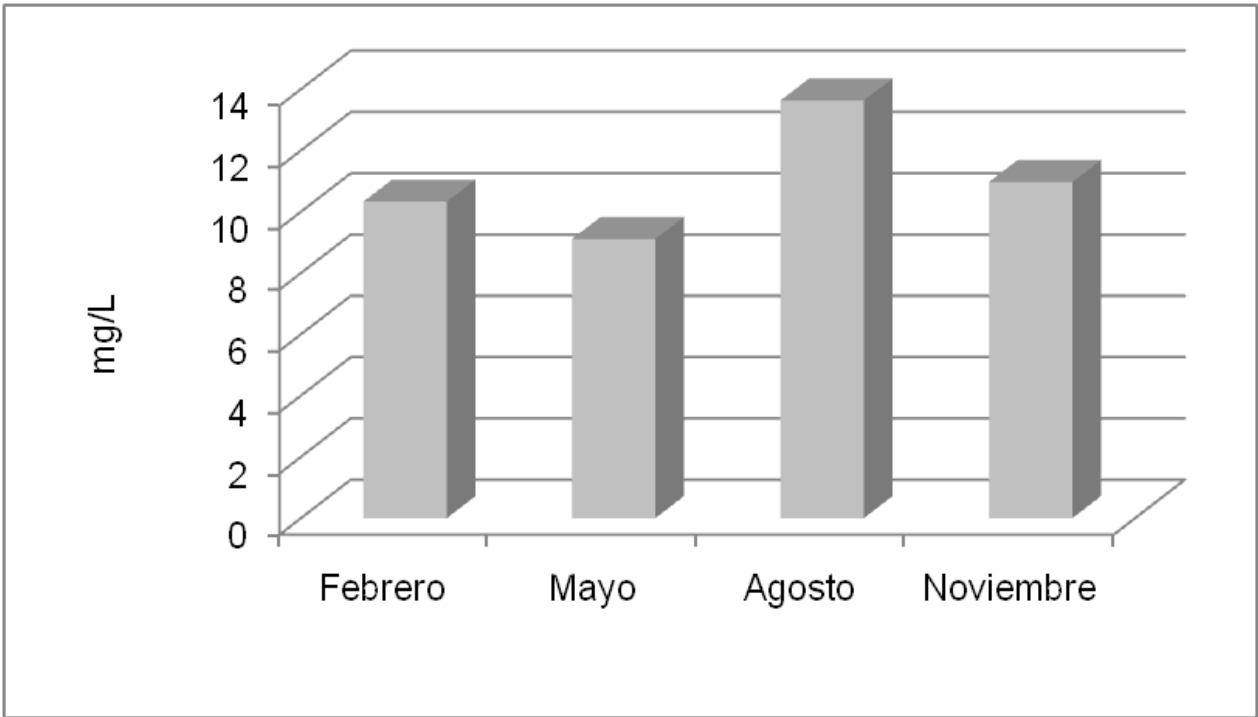


Figura 31. Comportamiento Temporal del Magnesio en el Río San Pedro, Sonora.

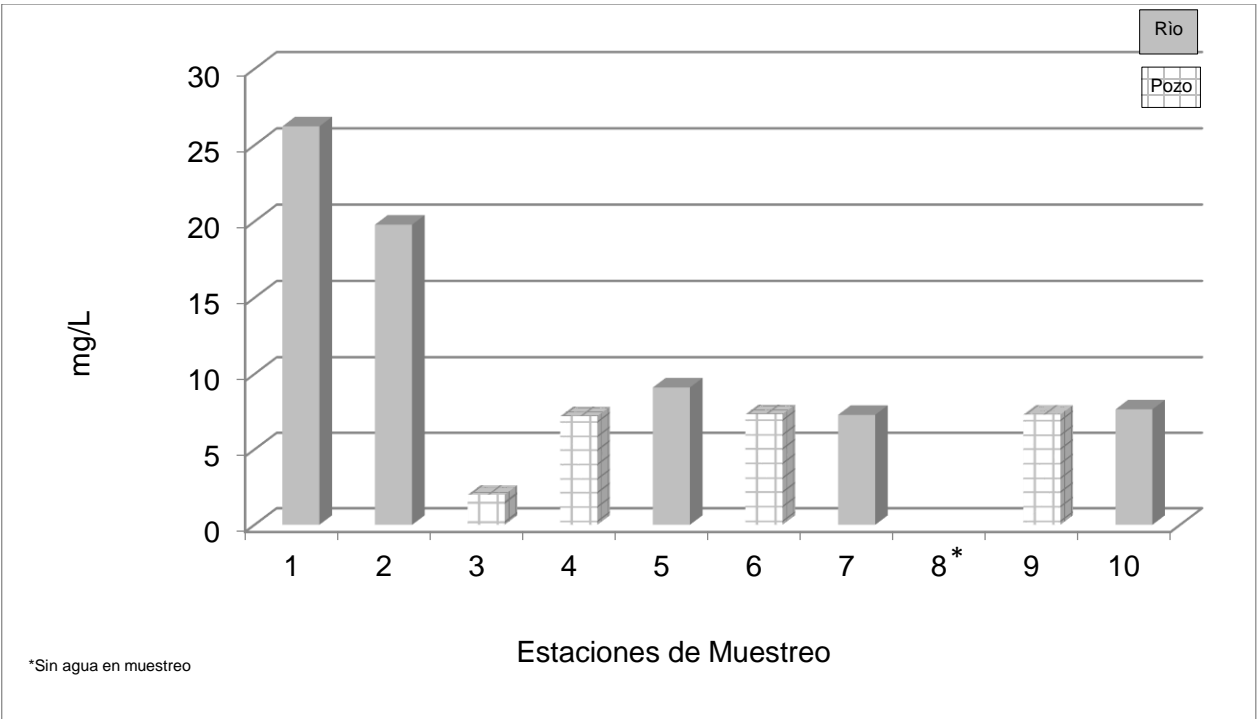


Figura 32. Comportamiento Espacial del Magnesio en las Estaciones de Muestreo del Río San Pedro, Sonora.

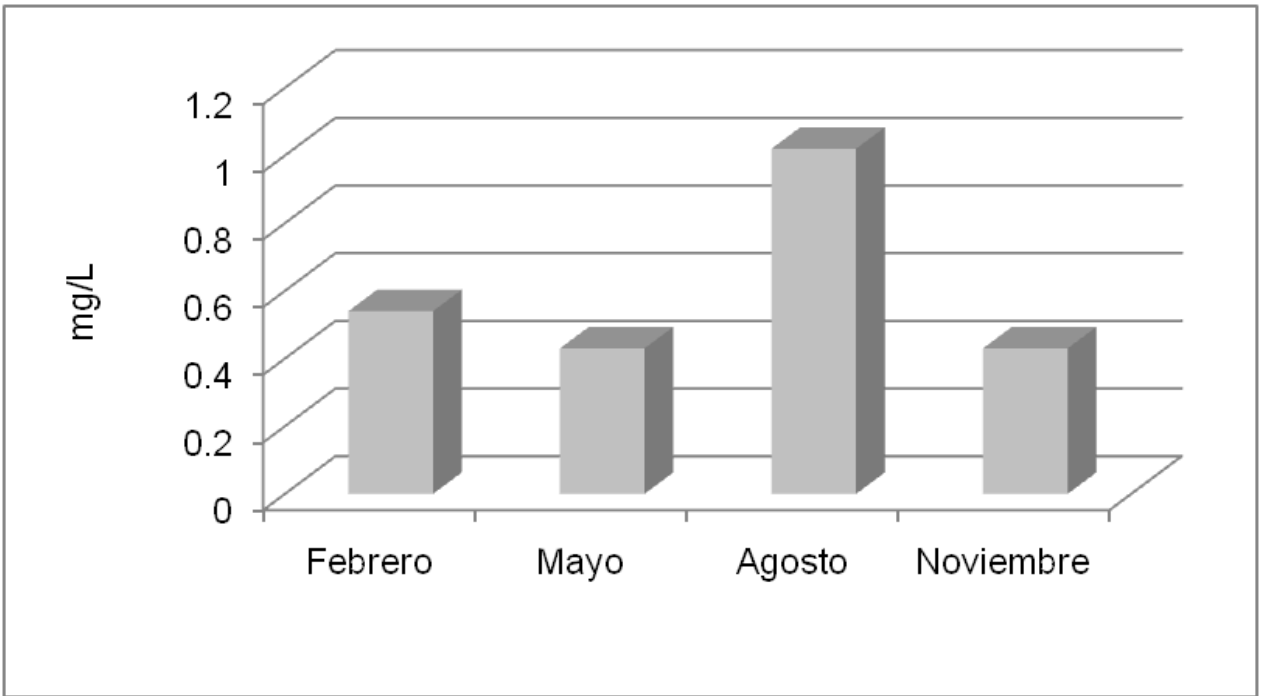


Figura 33. Comportamiento Temporal de Manganeso del Río San Pedro, Sonora.



Figura 34. Comportamiento Espacial de Manganeso en las Estaciones de Muestreo del Río San Pedro, Sonora.

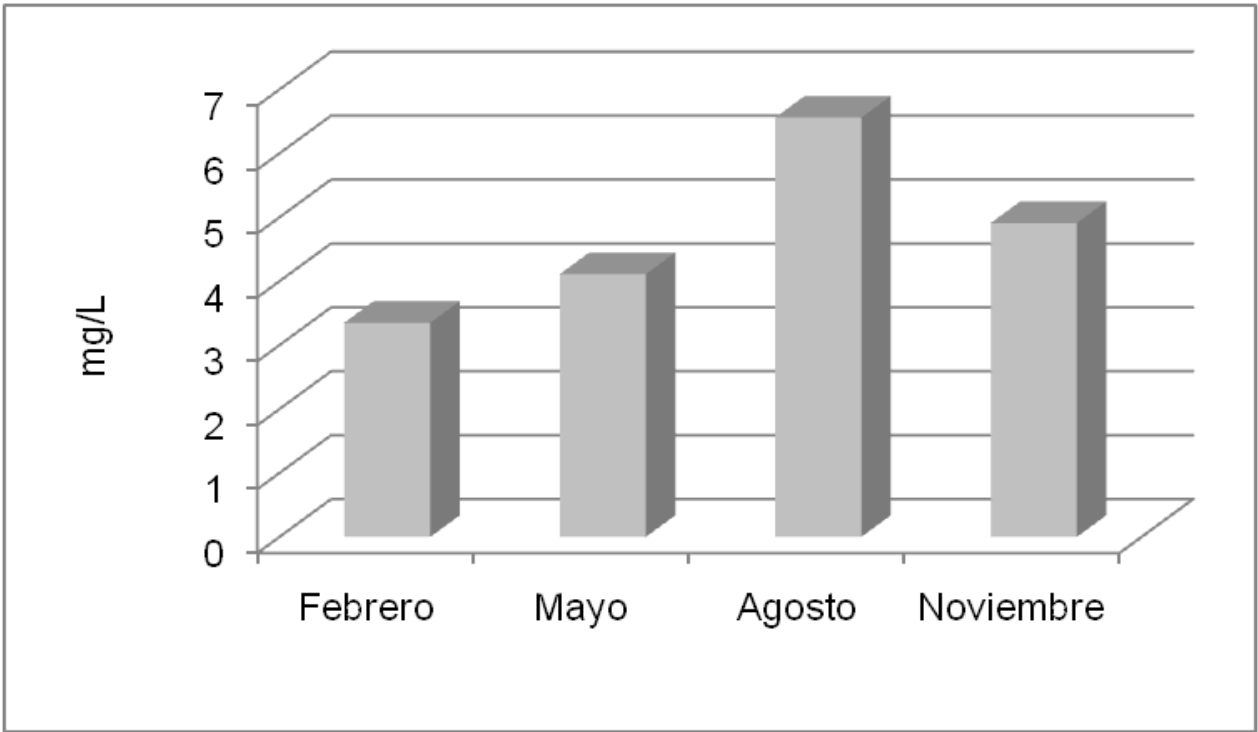
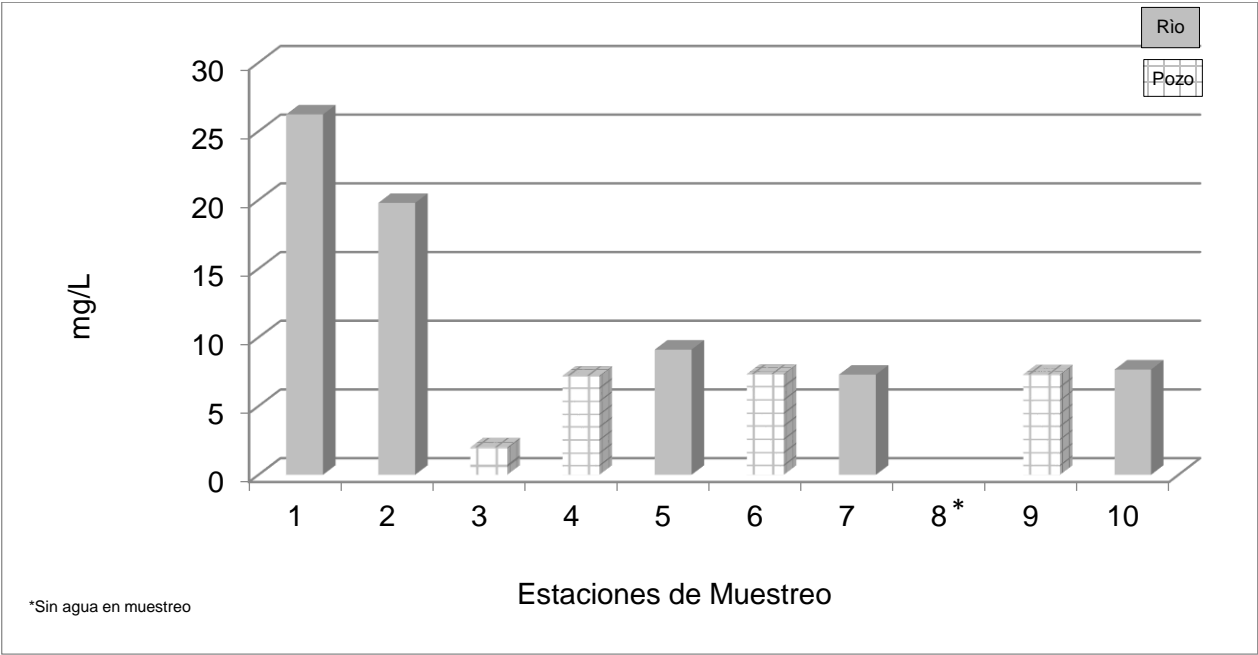


Figura 35. Comportamiento Temporal de Potasio del Río San Pedro, Sonora.



*Sin agua en muestreo

Figura 36. Comportamiento Espacial de Potasio en las Estaciones de Muestreo del Río San Pedro, Sonora.

Sodio (Na)

El contenido de sodio en las aguas superficiales y subterráneas, fue homogéneo ($p > 0.05$) durante los meses de muestreo, con un valor promedio alto de 38.27 ± 12.79 mg/L (agosto) y el valor promedio bajo de 35.19 ± 17.01 mg/L, durante el mes de Mayo (Figura 37, Tabla 14 del Anexo A).

El Sodio siguió un comportamiento espacial heterogéneo ($p < 0.05$), con valor promedio mínimo de 18.44 ± 6.87 mg/L (Pozo Ejido Morelos) y un valor promedio alto de 61.99 ± 7.82 en la estación El Barrilito (Figura 38, Tabla 15 del Anexo A).

Las pruebas a posteriori indican que no existen diferencias significativas entre la estación 1 y 2 (Arroyo Cananea Vieja y El Barrilito).

Zinc (Zn)

El comportamiento temporal del Zn fue homogéneo ($p > 0.05$), encontrando en el mes de agosto un promedio de 0.48 ± 1.11 mg/L y de 0.10 ± 0.18 mg/L en el mes de noviembre (Figura 39, Tabla 14 del Anexo A).

Respecto al comportamiento espacial de este metal, fue heterogéneo ($p < 0.05$) observando valores de 1.40 ± 1.25 mg/L para la estación Arroyo C. Vieja y de 0.02 ± 0.01 mg/L para la estación Arroyo Los Corrales (Figura 40, Tabla 15 del Anexo A).

Las pruebas a posteriori espaciales indican gran similitud entre las estaciones 2, 3 y 9.

En lo que respecta a zinc. La contaminación por este metal está asociada a la minería y a la fundición. La minería puede causar la contaminación del agua, aire y suelo con partículas finas de desechos los cuales se oxidan para liberar el zinc en estado divalente (Gómez Álvarez, 2001).

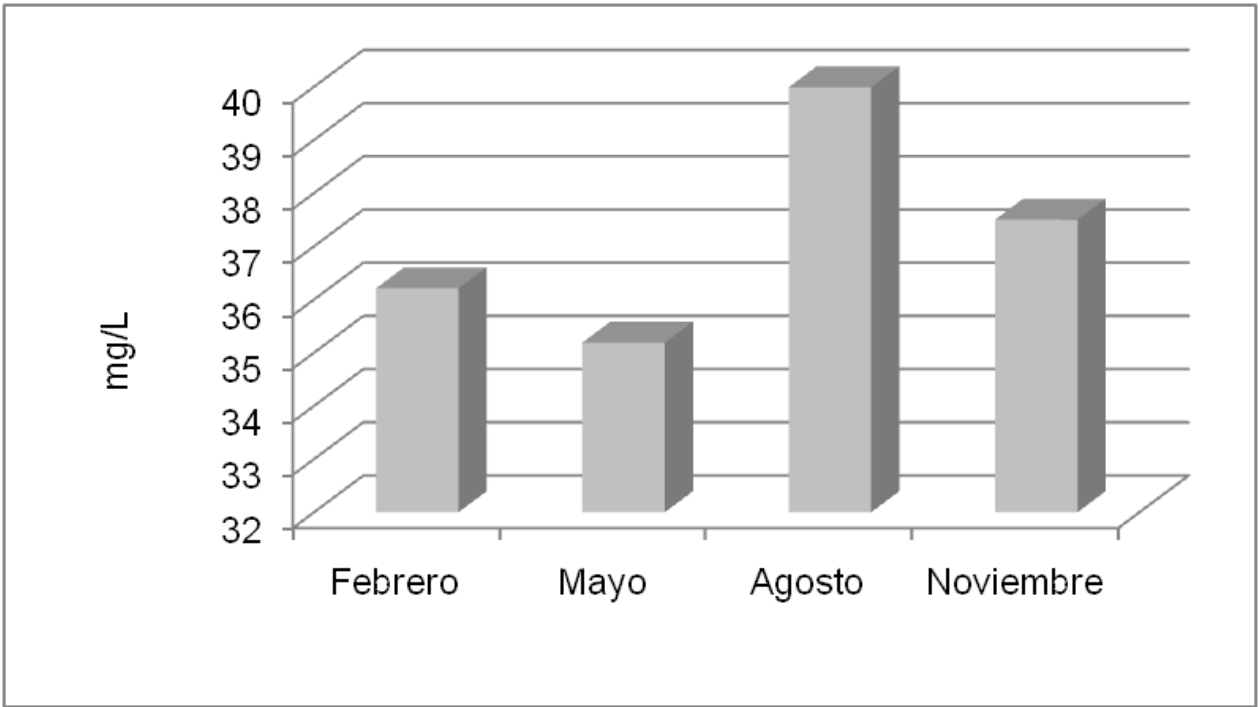


Figura 37. Comportamiento Temporal de Sodio del Río San Pedro, Sonora.

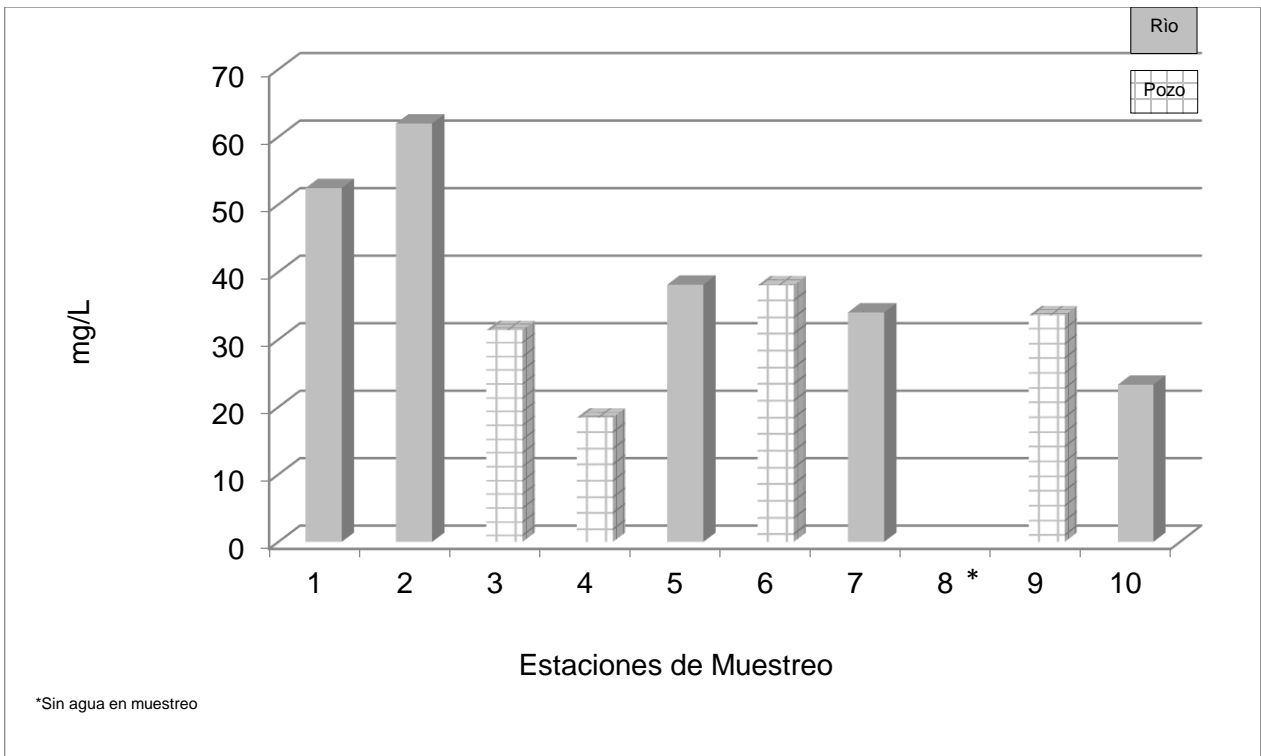


Figura 38. Comportamiento Espacial de Sodio en las Estaciones de Muestreo del Río San Pedro, Sonora.

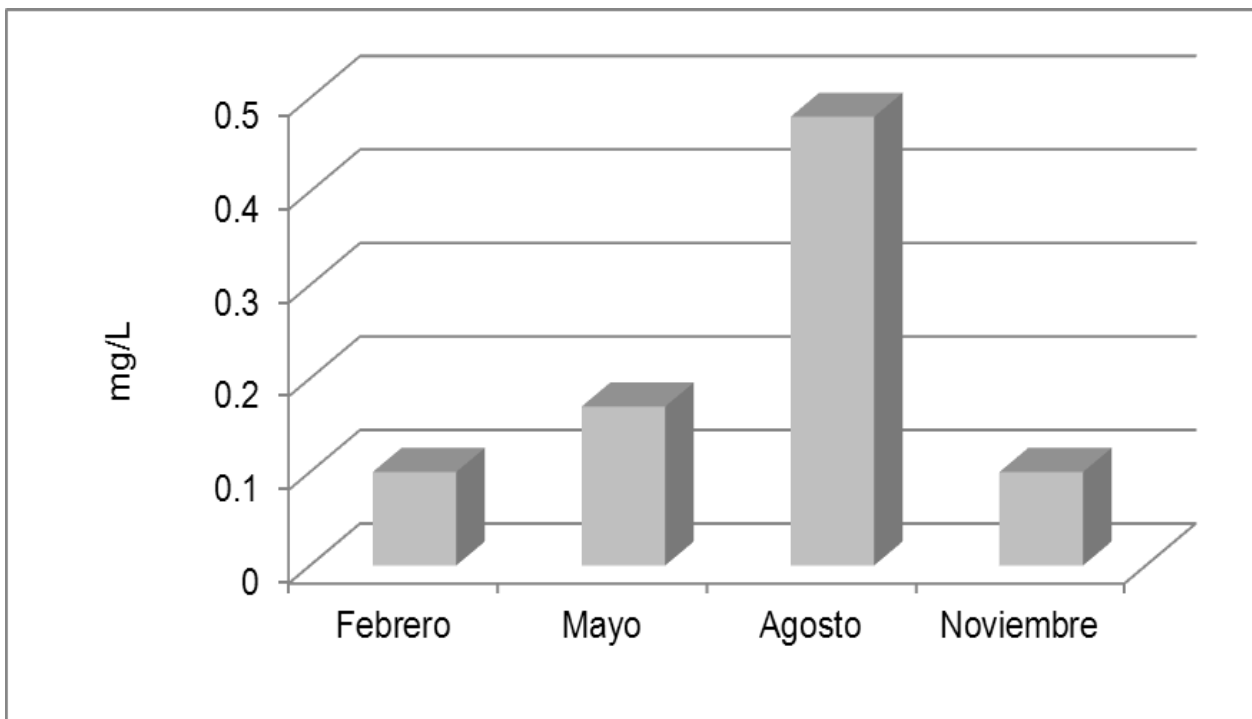


Figura 39. Comportamiento Temporal de Zinc del Río San Pedro, Sonora.

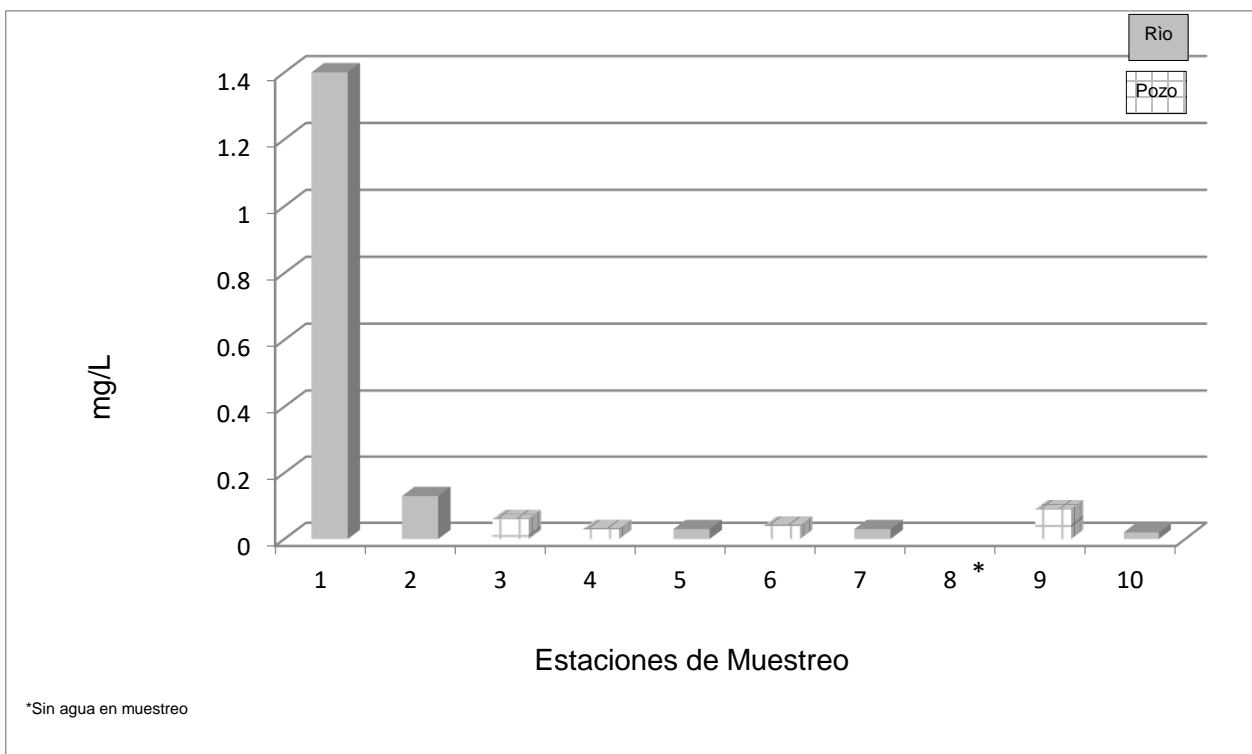


Figura 40. Comportamiento Espacial de Zinc en las Estaciones de Muestreo del Río San Pedro, Sonora.

Calidad del Agua Superficial y Subterránea del Río San Pedro Evaluada con las Normas Oficiales de la calidad del Agua.

Los resultados obtenidos en los parámetros analizados en el estudio fueron comparados con los presentados en las normas oficiales mexicanas de calidad de agua con los siguientes resultados:

Durante el periodo de febrero a noviembre de 1999, los resultados muestran que el pH, no rebasó los valores máximos permitidos establecidos en las Normas Ecológicas de Calidad del Agua (Tablas 16, 18 y 19 del Anexo A).

En lo referente al oxígeno disuelto, existen varios parámetros que interactúan en la solubilidad de dicho componente. Uno de ellos es la temperatura, ya que el valor más alto de temperatura se presentó durante el mes de agosto, y fue en ese mes donde precisamente se presentaron los valores más bajos de oxígeno disuelto con promedio de 6.79 ± 0.97 mg/L, debido a que a altas temperaturas, el oxígeno es menos soluble, de tal manera que la estación 1 Arroyo Cananea Vieja, es la que presentó en tres de los cuatro muestreos, los valores más bajos, debido también a que en esa zona existen descargas de aguas residuales y el alto contenido de materia orgánica, disminuyen la concentración de oxígeno disuelto en el agua.

Aun así los valores obtenidos de manera general, no sobrepasan los límites permitidos en las normas oficiales y criterios ecológicos de calidad de agua.

En cuanto a la Conductividad Eléctrica no existe un límite establecido, con el cual comparar los resultados, pero este parámetro señala que los valores más altos obtenidos fueron en las estaciones 1 (Arroyo Cananea Vieja) y la estación 2 (El Barrilito), lo que indica que existe una gran cantidad de sales inorgánicas disueltas en estas estaciones debido a las descargas de aguas residuales.

Los bicarbonatos no rebasaron los límites establecidos (alcalinidad total) en los criterios ecológicos de la calidad del agua, como fuente de abastecimiento de agua potable.

Los sólidos disueltos totales, sí rebasaron el valor máximo de la NOM-127-SSA-1994 y la CE-CCA-001/89, y esto puede deberse, a la presencia de descargas de aguas residuales, ya que la estación Arroyo Cananea Vieja, presentó los valores más altos de sólidos disueltos totales,

siguiendo la estación El Barrilito. Estos sólidos pueden estar constituidos por sales inorgánicas y materia orgánica proveniente de las descargas de agua residuales.

En lo referente a los sulfatos, estos rebasaron los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua, así como la NOM-127-SSA-1994, durante el mes de agosto y de nueva cuenta en las estaciones 1 y 2, manteniendo los valores más altos disminuyendo de manera gradual a lo largo del Río San Pedro.

Puede ser que estos valores sean altos, debido a la alta evaporación que se da por las altas temperaturas que se presentan y por la falta de lluvias. Por lo cual los componentes inorgánicos tienden a concentrarse, en parte también por la cercana presencia de la minera de Cananea, ya que la explotación minera genera la liberación de sulfatos.

Los valores de fósforo total fueron más altos en las mismas estaciones (Arroyo Cananea Vieja y El Barrilito) y debido a que las aguas residuales que en esas estaciones son descargadas, tienen alto contenido de detergentes, pero sin rebasar ninguna de las Normas Oficiales.

Los cloruros no rebasan los valores establecidos como permitidos dentro de los Criterios Ecológicos de la Calidad del Agua y de la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA-1994.

Los valores de los nutrientes ($N-NO_3$, $N-NO_2$ y $N-NH_3$), rebasaron los valores máximos establecidos dentro de la NOM-127-SSA-1994 y la CE-CCA-001/89, en las estaciones Arroyo Cananea Vieja y El Barrilito pero el comportamiento general es que en la zona donde se inicia el Río, se presentaron los valores más altos y estos disminuyen conforme el río se acerca a la frontera, en donde disminuye la perturbación antropógena.

En cuanto a los metales, de manera general, puede decirse que la estación que presentó datos, que rebasaron los valores establecidos, es la estación 1 (Arroyo C. Vieja) y los metales que presentaron problemas fueron:

Hierro. Con valores de 9.46 mg/L arriba de los valores establecidos por SEDUE 1989, la NOM-127-SSA1-1994 y la NOM-001-ECOL-1996.

Cobre. Con un valor de 1.77 mg/L, rebasó los límites establecidos por SEDUE 1989, pero no los establecidos por las otras 2 Normas Oficiales.

Zinc. En la estación Arroyo Cananea Vieja se rebasó el valor establecido en la NOM-127-SSA1-1994.

Manganeso. En la estación Arroyo Cananea Vieja los valores obtenidos para el manganeso, en el presente estudio, rebasan los Criterios Ecológicos de SEDUE 1989 y la NOM-127-SSA1-1994.

Las demás estaciones de muestreo no presentaron datos fuera de las Normas Oficiales establecidas para control de calidad del agua.

Comparación de los Resultados Obtenidos Con Otros Estudios realizados en el Río San Pedro, Sonora

Al comparar el presente estudio con los datos obtenidos por Romero-Acosta (1994) y Villalba-Atondo *et al* (1998), se puede observar que las condiciones de pH se han mantenido, pero la conductividad eléctrica aumentó y el valor mínimo de oxígeno disuelto disminuyó.

Al analizar los datos de bicarbonatos y sólidos disueltos totales, se observa un ligero aumento. Lo mismo sucede con los nutrientes (N-NO₃, N-NO₂, N-NH₃ y P total) los cuales aumentaron al doble o más (Tabla 17 del Anexo A).

En cuanto a los metales, todos ellos tuvieron una ligera disminución al comparar los años 1994 y 1998 contra el presente estudio.

En los resultados obtenidos en este estudio se cuantificó una disminución en la conductividad eléctrica y un incremento del oxígeno disuelto comparado con lo obtenido por Serna-Félix (2006). Mientras que los sólidos disueltos totales y sulfatos se mantienen en el mismo rango; los cloruros y bicarbonatos disminuyeron ligeramente (Tabla 17 del Anexo A). Así mismo, se observó una menor concentración de metales pesados con respecto al estudio comparado.

Los metales que aumentaron su concentración fueron: cadmio, calcio, cobre, hierro, potasio, magnesio, níquel, plomo y zinc.

CONCLUSIONES

El objetivo principal del presente estudio, fue el caracterizar la calidad del agua superficial y subterránea concluyéndose lo siguiente:

La estación Arroyo Cananea Vieja y El Barrilito son las que presentaron los valores más altos y rebasaron los límites establecidos como fuentes de abastecimiento de agua potable (CE-CCA-001/89) en los siguientes parámetros: sulfatos, nitrógeno de nitritos, nitrógeno de nitratos, nitrógeno amoniacal, cobre, hierro, manganeso, zinc, sólidos disueltos totales.

El agua superficial del Río San Pedro en la estación 1 (Arroyo Cananea Vieja) presentó los valores más altos para metales pesados (Cu, Fe, Mn, Zn) pudiendo atribuirse a la actividad minera y en la estación 2 (El Barrilito) se obtuvieron los valores más altos en sólidos disueltos totales, nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal y fosfatos debido a las descargas de aguas residuales de la Ciudad de Cananea, sin sobrepasar la NOM-001-ECOL-1996.

De manera general el agua subterránea del Río San Pedro, es de buena calidad, los parámetros analizados no excedieron los límites máximos permisibles, señalados en las Norma Oficial NOM-127-SSA-1994, que establece los límites permisibles de calidad y tratamiento a la que debe someterse el agua para su potabilización, y en los Criterios Ecológicos de Calidad de Agua para diferentes usos (SEDUE, 1989).

Al realizar la comparación con el estudio de Serna-Félix (2006) se concluye que existe un incremento de los contaminantes al paso de los años, ya que se aumentaron las concentraciones de metales como cadmio, calcio, cobre, hierro, potasio, magnesio, níquel, plomo y zinc de 1999 al 2006.

RECOMENDACIONES

1. Establecer un programa de caracterización permanente del agua superficial y subterránea del Río San Pedro, Sonora.
2. Incluir en los parámetros, el análisis del sedimento del Río San Pedro, para determinar la biodisponibilidad de los metales y materia orgánica.
3. Establecer programas municipales y estatales para evitar las descargas de aguas residuales de la Ciudad de Cananea, al Río San Pedro, Sonora.
4. Crear programas de concientización entre la población de la Ciudad de Cananea y del Río San Pedro, para cuidar y proteger la calidad del agua del mismo.
5. Que la mina de Cananea (Buena Vista del Cobre) mantenga firme sus políticas de protección al medio ambiente, de manejo y confinamiento de residuos tóxicos producidos por la explotación de cobre y molibdeno.
6. Recalcar que las descargas de aguas residuales al río sean previamente tratadas, para evitar aporte de contaminantes al Río San Pedro, ya que según los resultados obtenidos indican que sí existe impacto en las estaciones cercanas a la Ciudad de Cananea.

BIBLIOGRAFÍA

- ADEQ (Arizona Department of Environmental Quality), 1995. Upper Santa Cruz River Intensive Survey: A Voluntter driven study of the water quality and biology of an effluent dominated desert grassland stream in southeast Arizona. Arizona Department of Environmental Quality, Tucson, Arizona. 68 p.
- Arizona Department Health Services, 1981. Surface water quality monitoring San Pedro River Basin, Arizona. In Arizona Department of Health Services, 1981. San Pedro River Basin water quality status report for the period 1973-1979. Arizona Department of Health Services, Phoenix, Az. USA. 90 pp
- AWRRC y ADEQ (Arizona Water Resources Research Center and Arizona Department of Environmental Quality), 1995. Manual de Campo para el muestreo de la Calidad del Agua. Documento Técnico Tm 94-3. The University of Arizona. Tucson Az. USA. 57 p
- CCA (Comisión para la Cooperación Ambiental), 1998. Conservación y enriquecimiento del Hábitat Ribereño de Aves Migratorias en el Alto Río San Pedro.
- CNA (Comisión Nacional del Agua), 1993. Manual de Aseguramiento de Calidad. Subdirección General de Administración. Programa de Aseguramiento de la Calidad. México, D.F. 146 p.
- Conover, W.J.1971.Practical no nonparametric. John Wiley & Sons, New York, USA 439 p
- Corona-Escamilla, A. y Gutiérrez-Guerrero, M.A., 1998. Diagnóstico Físico Químico de la cuenca Hidrológica Jaralito-Bacanuchi, en el estado de Sonora. Universidad de Sonora. Hermosillo, Sonora. Tesis 86 p
- EPA (Environmental Protection Agency), 1992. Test methods for evaluating solid waste, physical/chemical methods (SW-846). Springfield, Virginia, U.S.A. 1049
- EPA (Environmental Protection Agency), 1995. Upper Santa Cruz River Intensive Survey: A Voluntter driven study of the water quality and biology of an effluent dominated desert grassland stream in southeast Arizona. Arizona Department of Environmental Quality, Tucson, Arizona. 68 p.

- EPA (Environmental Protection Agency), ADEQ (Arizona Department of Environmental Quality) y CNA (Comisión Nacional del Agua), 1998. Binational Nogales Wash United States/Mexico Ground water monitoring Program. The United States Environmental Protection Agency Region IX (USEPA). USA. 68 p.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación de Köppen. 2ª ed., México, Instituto de Geografía, UNAM
- Gómez-Álvarez, A., Yocupicio-Anaya, M.T. y Ortega-Romero, P., 1990. Niveles y distribución de metales pesados en el Río Sonora y su afluente el Río Bancanuchi, Sonora, México. *Ecológica* 1 (2): 10-20
- Gómez-Álvarez, A., Kulatilake, P. H., Villalba- Atondo, A. I., Burgos-Flores, D. y Sortillón-Valenzuela, M. R., 1994. Investigación de la Calidad del agua en la cuenca hidrológica del Río San Pedro, Sonora, México. Departamento de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Universidad De Sonora. Informe Académico Final. Hermosillo, Sonora, México. 97 pp.
- Gómez-Álvarez, A., 2001. Evaluación de la calidad física y química del agua y sedimento del Río San Pedro, Sonora, México, durante el periodo 1997-2000. Tesis de Maestría. Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia, Universidad de Sonora. 243 p.
- Hem, D. J. 1992. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. Geological Survey Water-Supply Paper 2254, U.S.A. 263 p.
- I.N.E.G.I. (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática), 1982. Cartas topográficas H12B32, H12B33, H12B34, H12B42, H12B43, H12B44, H12B52, H12B53 Y H12B54. Escala 1:50,000. México, D.F.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática), 1985. Cartas Hidrológicas de Aguas Superficiales: CANANEA H12-2 y H12-5, Escala 1:250,000. Primera Edición, México, D.F.
- Meléndez-Torres, M.C. 1993. Propuesta para decretar el área de protección de recursos naturales de la Sierra la Mariquita-Río San Pedro, municipios de Cananea, Naco y Santa Cruz, Sonora, México. Centro Ecológico de Sonora. Hermosillo, Sonora, México. 127 p.
- Rodríguez-Arnaiz, R. 1994. Las toxinas ambientales y sus efectos genéticos. Editorial La Ciencia/124. México, D.F. 95 p

- Romero-Acosta, A. A., (1996). Estudio de la contaminación por metales pesados en agua y sedimento del Río San Pedro, Sonora, México. Tesis profesional. Departamento de Ciencias Químico Biológicas, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora, México. 117 p
- SARH. Secretaria De Agricultura y Recursos Hidráulicos (1984). Propuesta de Estudio de la Calidad del Agua del Río Sonora. Uso del Agua y prevención de la Contaminación del Estado de Sonora, México.
- SEDUE. Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (1989). Acuerdo por el que se establecen los criterios Ecológicos de Calidad Del Agua CE-CCA-001/89. Publicados por el Diario Oficial de la Federación del 2 de Diciembre de 1989. Tomo CDXXX, No. 9, México, D.F. 64 p.
- Serna-Félix, M. 2006. Evaluación preliminar del riesgo a la salud y caracterización de la contaminación del acuífero del Río San Pedro, Sonora, México. Tesis de Maestría. División de Ingeniería, Universidad de Sonora. Hermosillo, Sonora. 159 p.
- Varela-Romero, A. 1992. Prospección de peces nativos en la cuenca del Río San Pedro. Centro Ecológico de Sonora. Hermosillo, Sonora, México. 14 p
- Solís-Garza, G., W. Brady, R. López-Estudillo and R. Rodríguez. 2000. Riparian vegetation on the San Pedro River, Sonora, México. Memorias II Simposio Internacional Sobre la Utilización y Aprovechamiento de la Flora Silvestre de ZONAS ÁRIDAS.: México. 272-292 PP
- Villalba-Atondo, A. I., Gómez-Álvarez, A. Solís-Garza, G. De la O Villanueva, M. 1998. Monitoreo de la calidad de agua y sedimento del Río San Pedro, inicio de la Cuenca del Río Sonora y en los Municipios de Agua Prieta y Naco, Sonora, México. Informe Académico Final. Departamento de Investigaciones Científicas de la Universidad de Sonora. 106 p.
- WHO (World Health Organization), 1984. Guidelines for Drinking-Water Quality. Volume 2. World Health Organization, Belgium. 335 p.
- Yocupicio-Anaya, M. T. y Gómez-Álvarez, A., (1987). Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en el Río Sonora y su efluente el Río Bacanuchi. Tesis profesional. UNISON. Hermosillo, Sonora.
- Zar, J. H. (1984). Biostatistical Analysis. Second Edition, Prentice-Hall, Inc. U.S.A., 718 p

ANEXO A

Tabla 1 . Indicadores de calidad de datos: parámetros analíticos correspondientes al primer muestreo realizado los días 18 y 19 de febrero de 1999.

Parámetro	Método (*)	Curva de Calibración (Puntos)	Nivel (Rango) mg/L	Coeficiente de Regresión	R E C U P E R A C I Ó N					
					Concentración Baja (mg/L)	%	Concentración Media (mg/L)	%	Concentración Alta (mg/L)	%
N-NH ₃	350.2	8	0.05 - 1.0	0.999	0.1	101.15	0.5	100.93	1.0	99.765
N-NO ₃	352.1	6	0.1 - 2.0	0.995	0.1	95.21	1.0	98.077	2.0	97.72
N-NO ₂	354.1	8	0.01 - 1.0	0.995	0.02	96.80	0.10	96.013	0.20	101.20
Fósforo total	365.3	6	0.01 - 1.2	0.996	0.20	99.15	0.40	108.03	1.0	94.67
Sulfatos	375.3	7	1 - 40	0.998	5	91.23	20	93.33	50	103.42
Sólidos Disueltos Totales	160.2									
	160.3				5,000	100.88			10,000	101.88
Cloruros	325.3				2	101.83	50	100.31	100	100.56

(*) = EPA, 1983

Tabla 2. Indicadores de calidad de datos: parámetros analíticos correspondientes al segundo muestreo realizado los días 30 de abril y 1 de mayo de 1999.

Parámetro	Método (*)	Curva de Calibración (Puntos)	Nivel (Rango) mg/L	Coeficiente de Regresión	R E C U P E R A C I Ó N					
					Concentración Baja (mg/L)		Concentración Media (mg/L)		Concentración Alta (mg/L)	
						%		%		%
N-NH ₃	350.2	8	0.05 - 1.0	0.998	0.1	99.72	0.5	98.40	1.0	98.53
N-NO ₃	352.1	6	0.1 - 2.0	0.999	0.1	95.20	1.0	97.0	2.0	94.20
N-NO ₂	354.1	8	0.01 - 1.0	0.999	0.02	100.08	0.10	98.82	0.20	101.95
Fósforo total	365.3	6	0.01 - 1.2	0.995	0.20	102.15	0.40	104.92	1.0	94.68
Sulfatos	375.3	7	1 - 40	0.998	5	94.16	20	103.17	50	104.81
Sólidos Disueltos Totales	160.2									
	160.3				5,000	99.53			10,000	100.58
Cloruros	325.3				2	99.72	50	100.72	100	101.21

(*) = EPA, 1983

Tabla 3 . Indicadores de calidad de datos: parámetros analíticos correspondientes al tercer muestreo realizado los días 18, 19 y 20 de agosto de 1999.

Parámetro	Método (*)	Curva de Calibración (Puntos)	Nivel (Rango) mg/L	Coeficiente de Regresión	R E C U P E R A C I Ó N					
					Concentración Baja (mg/L)	%	Concentración Media (mg/L)	%	Concentración Alta (mg/L)	%
N-NH ₃	350.2	8	0.05 - 1.0	0.999	0.1	100.76	0.5	97.79	1.0	100.66
N-NO ₃	352.1	6	0.1 - 2.0	0.996	0.1	95.20	1.0	97.0	2.0	94.20
N-NO ₂	354.1	8	0.01 - 1.0	0.999	0.02	96.38	0.10	98.36	0.20	99.50
Fósforo total	365.3	6	0.01 - 1.2	0.995	0.20	99.97	0.40	98.9	1.0	96.03
Sulfatos	375.3	6	1 - 40	0.996	5	95.43	20	103.17	50	99.33
Sólidos Disueltos Totales	160.2									
	160.3				500	99.20			5,000	99.52
Cloruros	325.3				2	100.13	50	98.6	100	100.8

(*) = EPA, 1983

Tabla 4 . Indicadores de calidad de datos: parámetros analíticos correspondientes al cuarto muestreo realizado los días 10, 11 y 12 de noviembre de 1999. (*)

Parámetro	Método (*)	Curva de Calibración (Puntos)	Nivel (Rango) mg/L	Coeficiente de Regresión	R E C U P E R A C I Ó N					
					Concentración Baja (mg/L)	%	Concentración Media (mg/L)	%	Concentración Alta (mg/L)	%
N-NH ₃	350.2	8	0.05 - 1.0	0.999	0.01	115.62	0.05	99.70	0.10	100.34
N-NO ₃	352.1	6	0.1 - 2.0	0.999	0.1		1.0	105.0	2.0	97.22
N-NO ₂	354.1	8	0.01 - 1.0	0.999	0.02	96.71	0.10	100.34	0.20	99.46
Fósforo total	365.3	6	0.01 - 1.2	0.996	0.20	101.21	0.60	104.5	1.0	94.82
Sulfatos	375.3	6	1 - 40	0.996	5	88.0	20	91.61	25	105.32
Sólidos Disueltos Totales	160.2									
	160.3				100	99.60			500	100.0
Cloruros	325.3				2	98.49	50	98.0	100	99.97

(*) = EPA, 1983

Tabla 5. Indicadores de Calidad de Datos. Concentración de los parámetros analizados en Blanco de Campo y Blancos de Viaje en agua superficial del Río San Pedro, Sonora, en el periodo febrero a noviembre de 1999 (**).

Fecha Muestreo Parámetro	Blanco de Campo				Blanco de Viaje			
	Febrero I	Mayo II	Agosto III	Noviembre IV	Febrero I	Mayo II	Agosto II	Noviembre IV
Cl ⁻	N.D.<2	N.D.<2	N.D.<2	N.D.<2	N.D.<2	N.D.<2	N.D.<2	N.D.<2
SO ₄ ⁼	N.D.<5	N.D.<5	N.D.<5	N.D.<5	N.D.<5	N.D.<5	N.D.<5	N.D.<5
S. D.T.	N.D.<10	N.D.<10	N.D.<10	N.D.<10	2	N.D.<10	N.D.<10	N.D.<10
N-NH ₃	0.181	N.D.<0.01	N.D.<0.01	N.D.<0.01	0.208	N.D.<0.01	N.D.<0.01	N.D.<0.01
N-NO ₃	N.D.<0.10	N.D.<0.10	N.D.<0.10	N.D.<0.10	N.D.<0.10	N.D.<0.10	N.D.<0.10	N.D.<0.10
N-NO ₂	N.D.<0.01	N.D.<0.01	N.D.<0.01	N.D.<0.01	N.D.<0.01	N.D.<0.01	N.D.<0.01	N.D.<0.01
P Total	N.D.<0.01	N.D.<0.01	N.D.<0.01	N.D.<0.01	N.D.<0.01	N.D.<0.01	N.D.<0.01	N.D.<0.01
Cd	N.D.<0.01	N.D.<0.01	N.D.<0.01	N.D.<0.01	N.D.<0.01	N.D.<0.01	N.D.<0.01	N.D.<0.01
Ca	N.D.<0.01	N.D.<0.01	N.D.<0.01	N.D.<0.01	N.D.<0.01	N.D.<0.01	N.D.<0.01	N.D.<0.01
Co	N.D.<0.04	N.D.<0.04	N.D.<0.04	N.D.<0.04	N.D.<0.04	N.D.<0.04	N.D.<0.04	N.D.<0.04
Cu	N.D.<0.02	N.D.<0.02	N.D.<0.02	N.D.<0.02	N.D.<0.02	N.D.<0.02	N.D.<0.02	N.D.<0.02
Cr Total	N.D.<0.01	N.D.<0.01	N.D.<0.01	N.D.<0.01	N.D.<0.01	N.D.<0.01	N.D.<0.01	N.D.<0.01
Fe	N.D.<0.04	N.D.<0.04	N.D.<0.04	N.D.<0.04	N.D.<0.04	N.D.<0.04	N.D.<0.04	N.D.<0.04
Mg	N.D.<0.005	N.D.<0.005	0.20	N.D.<0.005	N.D.<0.005	N.D.<0.005	0.20	N.D.<0.005
Mn	N.D.<0.02	N.D.<0.02	N.D.<0.02	N.D.<0.02	N.D.<0.02	N.D.<0.02	N.D.<0.02	N.D.<0.02
Ni	N.D.<0.10	N.D.<0.10	N.D.<0.10	N.D.<0.10	N.D.<0.10	N.D.<0.10	N.D.<0.10	N.D.<0.10
K	2.25	N.D.<0.01	N.D.<0.01	N.D.<0.01	N.D.<0.01	N.D.<0.01	N.D.<0.01	N.D.<0.01
Pb	N.D.<0.07	N.D.<0.07	N.D.<0.07	N.D.<0.07	N.D.<0.07	N.D.<0.07	N.D.<0.07	N.D.<0.07
Na	0.3	0.10	0.27	0.25	0.7	0.10	1.27	N.D.<0.06
Zn	0.01	N.D.<0.01	N.D.<0.01	N.D.<0.01	0.02	0.04	N.D.<0.01	N.D.<0.01

(**) = Las concentraciones se expresan en mg/l a menos que se especifique otra unidad.
S.D.T. = Sólidos Disueltos Totales

Tabla 6. Indicadores de Calidad de Datos. Valores de precisión en agua de las Estaciones 9 (Los Corrales, Pozo) y 10 (Los Corrales, Río) durante el I, II, III y IV muestreo realizado en el Río San Pedro, Sonora, durante el periodo febrero-noviembre de 1999 (*) (**).

Parámetro	I Muestreo						II Muestreo						III Muestreo						IV Muestreo					
	P (RPD)			P (RPD)			P (RPD)			P (RPD)			P (RPD)			P (RPD)			P (RPD)					
	9A	9B	%	10A	10B	%	9A	9B	%	9A	9B	%	10A	10B	%	9A	9B	%	10A	10B	%			
pH	8.3	8.3	**	8.2	8.2	**	8.33	8.33	**	7.57	7.57	**	7.20	7.20	**	7.89	7.89	**	8.11	8.11	**			
C.E.	428	428	**	487	487	**	420	420	**	340	360	5.71	450	480	6.45	430	430	**	475	475	**			
O. D.	--	--	--	9.2	9.2	**	--	--	--	--	--	--	5.55	5.55	**	--	--	--	9.0	9.0	**			
S.D.T.	294	290	1.37	326	332	1.82	247	247	**	222	213	4.14	290	286	1.38	290	292	0.68	8.86	8.86	**			
Cl ⁻	3.82	4.84	23.56	3.82	4.33	12.52	8.47	8.22	2.99	8.51	8.26	2.98	8.01	8.26	3.06	8.86	8.86	**	324	324	**			
SO ₄ ⁼	28.87	30.31	4.87	3.82	4.33	12.52	32.99	32.55	1.34	27.31	28.44	4.05	44.7	43.8	2.03	27.47	28.85	4.90	34.81	34.35	1.33			
HCO ₃	232.92	234.14	0.52	260.96	260.96	**	230.56	233.02	1.06	189.74	189.74	**	256.42	261.54	1.97	231.27	231.27	**	258.92	256.40	0.978			
N-NO ₃	0.69	0.70	1.44	0.33	0.33	**	0.72	0.71	1.39	0.258	0.246	4.76	0.229	0.258	11.9	0.80	0.81	1.21	0.158	0.1530	3.14			
N-NO ₂	0.014	0.014	**	0.029	0.31	6.66	0.04	0.04	**	0.010	0.010	**	N.D.<0.01	N.D.<0.01	**	N.D.<0.01	N.D.<0.01	**	N.D.<0.01	N.D.<0.01	**			
N-NH ₃	0.181	0.194	6.93	0.333	0.319	4.29	N.D.<0.01	N.D.<0.01	**	0.03	0.06	66.07**	0.05	0.06	18.05	0.110	0.129	15.89	0.214	0.186	14.0			
P Total	N.D.<0.01	N.D.<0.01	**	0.038	0.050	27.27	N.D.<0.01	N.D.<0.01	**	0.278	0.278	**	0.278	0.278	**	0.0765	0.0765	**	0.0765	0.0765	**			
Cd	N.D.<0.01	N.D.<0.01	**	N.D.<0.01	N.D.<0.01	**	N.D.<0.01	N.D.<0.01	**	N.D.<0.01	N.D.<0.01	**	N.D.<0.01	N.D.<0.01	**	N.D.<0.01	N.D.<0.01	**	N.D.<0.01	N.D.<0.01	**			
Ca	48.2	46.8	2.95	63.6	61.8	2.87	46.8	47.2	0.85	28.75	29.5	2.57	58.75	60.0	2.10	47.5	46.5	2.12	63.0	62.0	1.6			
Co	N.D.<0.04	N.D.<0.04	**	N.D.<0.04	N.D.<0.04	**	N.D.<0.04	N.D.<0.04	**	N.D.<0.04	N.D.<0.04	**	N.D.<0.04	N.D.<0.04	**	N.D.<0.04	N.D.<0.04	**	N.D.<0.04	N.D.<0.04	**			
Cu	N.D.<0.02	N.D.<0.02	**	N.D.<0.02	N.D.<0.02	**	N.D.<0.02	N.D.<0.02	**	0.02	0.02	**	N.D.<0.02	N.D.<0.02	**	N.D.<0.02	N.D.<0.02	**	N.D.<0.02	N.D.<0.02	**			
Cr Total	N.D.<0.01	N.D.<0.01	**	N.D.<0.01	N.D.<0.01	**	N.D.<0.01	N.D.<0.01	**	N.D.<0.01	N.D.<0.01	**	N.D.<0.01	N.D.<0.01	**	N.D.<0.01	N.D.<0.01	**	N.D.<0.01	N.D.<0.01	**			
Fe	0.28	0.29	3.51	0.05	0.05	**	0.07	0.08	13.33	0.283	0.293	3.46	0.22	0.21	4.65	0.21	0.21	**	0.07	0.09	25.0			
K	2.0	2.25	11.76	2.5	2.25	10.53	2.0	2.0	**	2.50	2.75	3.60	4.5	4.5	**	2.50	2.25	10.52	2.75	2.75	**			
Mg	7.80	9.20	16.47	9.20	9.20	**	5.20	5.40	3.77	7.75	7.50	3.27	8.25	8.50	2.98	8.0	8.0	**	9.75	9.50	2.59			
Mn	N.D.<0.02	N.D.<0.02	**	0.21	0.23	9.09	N.D.<0.02	N.D.<0.02	**	0.02	0.02	**	0.04	0.04	**	N.D.<0.02	N.D.<0.02	**	0.12	0.13	8.0			
Na	28.3	27.9	14.23	23.1	22.7	1.75	34.3	34.9	1.73	39.51	40.26	1.88	31.76	31.76	**	32.25	32.25	**	27.50	28.25	2.69			
Ni	N.D.<0.10	N.D.<0.10	**	N.D.<0.10	N.D.<0.10	**	N.D.<0.10	N.D.<0.10	**	N.D.<0.10	N.D.<0.10	**	N.D.<0.10	N.D.<0.10	**	N.D.<0.10	N.D.<0.10	**	N.D.<0.10	N.D.<0.10	**			
Pb	N.D.<0.07	N.D.<0.07	**	N.D.<0.07	N.D.<0.07	**	N.D.<0.07	N.D.<0.07	**	N.D.<0.07	N.D.<0.07	**	N.D.<0.07	N.D.<0.07	**	N.D.<0.07	N.D.<0.07	**	N.D.<0.07	N.D.<0.07	**			
Zn	0.07	0.07	**	0.02	0.02	**	0.04	0.07	54.54***	0.08	0.08	**	0.04	0.04	**	0.16	0.16	**	0.01	0.02	66.66***			

(*) = Las concentraciones se expresan en mg/l a menos que se especifique otra unidad.

(**) = Los valores obtenidos en las muestras fueron iguales

P = Precisión

C.E. = Conductividad Eléctrica expresada en µmhos/cm

O.D. = Oxígeno Disuelto

S.D.T. = Sólidos Disueltos Totales

R.P.D. = Diferencia Porcentual Relativa

Tabla 7 . Control de calidad: Recuperación (%) de metales en muestras de agua, correspondiente al primer y segundo muestreo realizado en el Río San Pedro, Sonora (*)

Parámetro	Limite de detección mg/L	Concentración Adicionada mg/L	Recuperación %	Concentración Adicionada mg/L	Recuperación %
Ca	0.01	5	120	10	106
Cd	0.01	5	102.4	10	100.5
Cr total	0.01	5	98.0	10	98.0
Cu	0.02	5	99.4	10	98.0
Fe	0.04	5	94.5	10	93.5
K	0.01	5	104.5	10	102.5
Mg	0.005	5	99	10	95.5
Mn	0.02	5	103.4	10	99.8
Na	0.06	5	96.5	10	98.75
Ni	0.10	5	95.5	10	94
Pb	0.07	5	105	10	106.5
Zn	0.01	5	99	10	99

(*) = Método 3010A (EPA, 1992)

Tabla 8 Control de calidad: Recuperación (%) de metales en muestras de agua correspondiente al tercer muestreo realizado en el Río San Pedro, Sonora (*)

Parámetro	Limite de detección mg/L	Concentración Adicionada mg/L	Recuperación %	Concentración Adicionada mg/L	Recuperación %
Cd	0.01	5	100	10	99.5
Ca	0.01	5	103	10	105.17
Cu	0.02	5	102	10	100.6
Cr total	0.01	5	101	10	98.5
Fe	0.04	5	97.8	10	114
Mn	0.02	5	100	10	101.3
Mg	0.005	5	95	10	96.2
Ni	0.10	5	99.6	10	101.5
Pb	0.07	5	97.4	10	101.3
K	0.01	5	100	10	102.5
Na	0.06	5	107.3	10	110.17
Zn	0.01	5	95	10	97.0

(*) = Método 3010A (EPA, 1992)

Tabla 9. Control de calidad: Recuperación (%) de metales en muestras de agua, correspondiente al cuarto muestreo realizado en el Río San Pedro, Sonora (*)

Parámetro	Limite de detección mg/L	Concentración Adicionada mg/L	Recuperación %	Concentración Adicionada mg/L	Recuperación %
Ca	0.01	5	104.0	10	103.0
Cd	0.01	5	96.0	10	98.75
Cr total	0.01	5	94.0	10	98.0
Cu	0.02	5	104.5	10	102.3
Fe	0.04	5	106.7	10	105.75
K	0.01	5	99.0	10	100.0
Mg	0.005	5	101.0	10	103.5
Mn	0.02	5	102.5	10	103.5
Na	0.06	5	97.0	10	90.0
Ni	0.10	5	93.0	10	93.0
Pb	0.07	5	97.0	10	100.5
Zn	0.01	5	107.0	10	103.0

(*) = Método 3010A (EPA, 1992)

Tabla 10. Resultado del balance de cationes y aniones de las estaciones de muestreo de Agua superficial y subterránea del Río San Pedro, Sonora, correspondiente al primer muestreo realizado los días 18 y 19 de febrero de 1999.

RÍO SAN PEDRO				
Estación	Nombre	Σ cationes	Σ aniones	% Diferencia
1	Arroyo Cananea Vieja	9.01	11.65	12.78
2	El Barrilito	8.94	8.84	0.56
3	Pozo Saucedá (CNA-350)	1.51	3.84	43.55
4	Ejido Morelos (Pozo)	3.32	3.87	7.65
5	Ejido Morelos (Río)	5.24	5.75	4.64
6	San Pedro Palominas (Pozo)	6.60	6.96	2.21
7	San Pedro Palominas (Río)	4.88	4.92	0.41
8	Pedregón (Río)	--	--	--
9 A	Los Corrales (Pozo)	4.33	4.58	2.80
9 B	Los Corrales (Pozo) (*)	4.37	4.65	3.10
10 A	Los Corrales (Río)	5.00	5.18	1.77
10 B	Los Corrales (Río) (*)	4.51	5.13	6.43

(*) = Muestra Duplicada

(--) = No hubo agua durante el muestreo de agua

Tabla 11. Resultado del balance de cationes y aniones de las estaciones de muestreo de Agua superficial y subterránea del Río San Pedro, Sonora, correspondiente al segundo muestreo realizado los días 30 de abril y 1º de mayo de 1999.

RÍO SAN PEDRO				
Estación	Nombre	Σ cationes	Σ aniones	% Diferencia
1	Arroyo Cananea Vieja	9.23	10.14	4.70
2	El Barrilito	9.69	9.76	0.36
3	Pozo Saucedá (CNA-350)	3.18	3.55	5.50
4	Ejido Morelos (Pozo)	3.72	3.84	1.59
5	Ejido Morelos (Río)	4.02	4.22	2.43
6	San Pedro Palominas (Pozo)	4.24	4.48	2.75
7	San Pedro Palominas (Río)	4.45	4.81	3.89
8	Pedregón (Río)	--	--	--
9 A	Los Corrales (Pozo)	4.31	4.75	4.86
9 B	Los Corrales (Pozo) (*)	4.37	4.78	4.48
10 A	Los Corrales (Río)	5.13	5.24	1.06
10 B	Los Corrales (Río) (*)			

(*) = Muestra Duplicada

(--) = No hubo agua durante el muestreo de agua

Tabla 12 . Resultado del balance de cationes y aniones de las estaciones de muestreo de Agua superficial y subterránea del Río San Pedro, Sonora, correspondiente al tercer muestreo realizado los días 18, 19 y 20 de agosto de 1999.

RÍO SAN PEDRO				
Estación	Nombre	Σ cationes	Σ aniones	% Diferencia
1	Arroyo Cananea Vieja	14.32	18.27	12.12
2	El Barrilito	11.57	12.87	5.32
3	Pozo Saucedá (CNA-350) (**)	--	--	--
4	Ejido Morelos (Pozo)	4.23	4.06	2.05
5	Ejido Morelos (Río)	5.06	4.84	2.22
6	San Pedro Palominas (Pozo)	4.44	4.59	1.66
7	San Pedro Palominas (Río)	4.45	4.62	1.87
8	Pedregón (Río)	3.74	3.98	3.11
9 A	Los Corrales (Pozo)	3.84	3.94	1.28
9 B	Los Corrales (Pozo) (*)	3.93	3.95	0.25
10 A	Los Corrales (Río)	5.11	5.37	2.48
10 B	Los Corrales (Río) (*)	5.19	5.44	2.35

(*) = Muestra Duplicada

(--) = No hubo agua durante el muestreo de agua

Tabla 13. Resultado del balance de cationes y aniones de las estaciones de muestreo de Agua superficial y subterránea del Río San Pedro, Sonora, correspondiente al cuarto muestreo realizado los días 10,11 y 12 de noviembre de 1999.

RÍO SAN PEDRO				
Estación	Nombre	Σ cationes	Σ aniones	% Diferencia
1	Arroyo Cananea Vieja	9.32	10.78	7.26
2	El Barrilito	8.65	8.45	1.17
3	Pozo Saucedá (CNA-350)	--	--	--
4	Ejido Morelos (Pozo)	3.93	3.99	0.76
5	Ejido Morelos (Río)	6.11	6.25	1.13
6	San Pedro Palominas (Pozo)	4.35	4.41	0.68
7	San Pedro Palominas (Río)	5.19	5.19	0
8	Pedregón (Río)	--	--	--
9 A	Los Corrales (Pozo)	4.50	4.67	1.85
9 B	Los Corrales (Pozo) (*)	4.44	4.71	2.95
10 A	Los Corrales (Río)	5.22	5.23	0.09
10 B	Los Corrales (Río) (*)	5.18	5.18	0

(*) = Muestra Duplicada

(--) = No hubo agua durante el muestreo de agua

Tabla 14. Promedios mensuales y desviación estandar de los valores temporales de los parametros analizados en agua superficial y subterránea del Río San pedro, Sonora durante el periodo de febrero a noviembre 1999.

Parámetro	Febrero	Mayo	Agosto	Noviembre
pH	8.01 ± 0.42	8.25 ± 0.50	7.75 ± 0.64	7.89 ± 0.48
C.E.	603.22 ± 247.42	543.33 ± 255.00	598.55 ± 361.11	563.63 ± 195.56
O.D.	9.0 ± 0.17	9.0 ± 2.68	6.79 ± 0.97	8.2 ± 2.95
HCO ₃ ⁻	227.64 ± 50.33	204.94 ± 34.06	175.35 ± 70.359	222.15 ± 26.57
S.D.T.	439.00 ± 203.48	319.44 ± 192.12	420.33 ± 325.64	398.5 ± 159.59
Cl ⁻	11.20 ± 9.48	15.43 ± 10.11	11.76 ± 6.98	14.22 ± 8.61
SO ₄ ⁼	97.50 ± 116.80	84.11 ± 107.77	177.92 ± 282.57	94.51 ± 115.09
P total	0.50 ± 0.84	0.41 ± 0.78	0.51 ± 0.45	0.92 ± 1.88
N-NO ₃	1.414 ± 1.89	1.41 ± 1.56	0.95 ± 1.15	1.58 ± 1.99
N-NO ₂	0.09 ± 0.16	0.04 ± 0.07	0.08 ± 0.22	0.09 ± 0.21
N-NH ₃	0.90 ± 1.52	1.08 ± 2.99	0.51 ± 0.96	0.92 ± 1.74
Cd	ND < 0.01	ND < 0.01	ND < 0.01	ND < 0.01
Ca	61.58 ± 30.15	52.53 ± 29.48	72.06 ± 47.75	65.00 ± 20.29
Co	ND < 0.04	ND < 0.04	ND < 0.04	ND < 0.04
Cr total	ND < 0.01	ND < 0.01	ND < 0.01	ND < 0.01
Cu	0.04 ± 0.096	0.16 ± 0.44	0.25 ± 0.61	0.06 ± 0.12
Fe	0.69 ± 1.06	1.19 ± 2.69	1.40 ± 3.26	0.16 ± 0.13
K	3.35 ± 3.14	4.11 ± 3.11	6.56 ± 5.51	4.91 ± 3.25
Mg	10.33 ± 6.62	9.11 ± 6.70	13.63 ± 11.97	10.97 ± 5.10
Mn	0.54 ± 0.87	0.43 ± 1.12	1.02 ± 2.17	0.43 ± 0.95
Na	36.21 ± 16.01	35.19 ± 17.01	38.27 ± 12.79	37.50 ± 15.89
Ni	ND < 0.10	ND < 0.10	ND < 0.10	ND < 0.10
Pb	ND < 0.07	ND < 0.07	ND < 0.07	ND < 0.07
Zn	0.10 ± 0.19	0.17 ± 0.41	0.48 ± 1.11	0.10 ± 0.18

Tabla 15. Promedios mensuales y desviación estandar de valores espaciales de parámetros analizados en agua superficial y subterránea del Río San Pedro, Sonora, durante el periodo de febrero a noviembre de 1999.

Parámetro	Arroyo C. Vieja	El Barrilito	La Saucedá (Pozo)	Ejido Morelos (Pozo)	Ejido Morelos (Río)	San Pedro Palominas (Pozo)	San Pedro Palominas (Río)	Los Corrales (Pozo)	Los Corrales (Río)
pH	7.20 ± 0.30	8.52 ± 0.19	8.27 ± 0.10	7.73 ± 0.17	8.40 ± 0.29	7.43 ± 0.27	8.39 ± 0.46	8.02 ± 0.36	7.90 ± 0.47
C.E.	1075.25 ± 167.33	965.50 ± 143.20	372.50 ± 45.96	379.75 ± 6.85	498.75 ± 72.63	485.00 ± 127.38	458.50 ± 52.02	410.50 ± 31.30	491.75 ± 19.55
O.D.	5.57 ± 1.79	9.15 ± 1.76			8.70 ± 2.95		9.15 ± 1.25		7.74 ± 1.71
HCO ₃ ⁻	168.14 ± 61.86	152.29 ± 71.30	146.74 ± 6.33	197.47 ± 4.87	224.18 ± 34.84	256.44 ± 43.74	220.91 ± 14.98	221.13 ± 20.94	257.86 ± 2.60
S.D.T.	797.75 ± 195.88	735.50 ± 129.38	254.00 ± 96.17	236.50 ± 30.25	331.50 ± 81.46	309.00 ± 120.99	288.50 ± 48.29	263.25 ± 34.77	295.75 ± 38.85
Cl ⁻	25.96 ± 4.33	29.60 ± 4.84	13.49 ± 0.75	9.98 ± 2.25	9.73 ± 2.36	8.49 ± 1.44	8.17 ± 2.49	7.42 ± 2.40	7.23 ± 2.30
SO ₄ ⁼	441.36 ± 230.72	306.12 ± 159.44	30.52 ± 1.66	11.58 ± 0.77	66.30 ± 18.51	25.82 ± 30.87	49.52 ± 6.98	29.16 ± 2.65	38.96 ± 4.25
P total	1.55 ± 0.32	2.69 ± 1.86	0.02 ± 0.02	0.09 ± 0.09	0.13 ± 0.11	0.23 ± 0.15	0.10 ± 0.13	0.08 ± 0.13	0.09 ± 0.13
N-NO ₃	0.40 ± 0.23	3.85 ± 1.78	3.89 ± 1.67	2.57 ± 0.59	0.10 ± 0.00	1.87 ± 1.25	0.09 ± 0.03	0.62 ± 0.25	0.21 ± 0.10
N-NO ₂	0.16 ± 0.11	0.47 ± 0.28	ND < 0.01	ND < 0.01	ND < 0.01	ND < 0.01	ND < 0.01	ND < 0.01	ND < 0.01
N-NH ₃	5.36 ± 2.65	1.36 ± 0.76	0.09 ± 0.05	0.07 ± 0.05	0.10 ± 0.07	0.11 ± 0.09	0.12 ± 0.07	0.08 ± 0.08	0.17 ± 0.13
Cd	ND < 0.01	ND < 0.01	ND < 0.01	ND < 0.01	ND < 0.01	ND < 0.01	ND < 0.01	ND < 0.01	ND < 0.01
Ca	121.44 ± 29.42	102.54 ± 18.38	15.50 ± 7.78	51.01 ± 3.92	48.85 ± 14.48	53.65 ± 9.20	49.39 ± 7.37	50.31 ± 5.65	45.94 ± 20.05
Co	0.06 ± 0.04	0.03 ± 0.02	0.03 ± 0.01	0.02 ± 0.00	0.02 ± 0.00	0.02 ± 0.00	0.02 ± 0.00	0.02 ± 0.00	0.02 ± 0.00
Cr total	ND < 0.01	ND < 0.01	ND < 0.01	ND < 0.01	ND < 0.01	ND < 0.01	ND < 0.01	ND < 0.01	ND < 0.01
Cu	0.94 ± 0.72	0.08 ± 0.08	0.01 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.01 ± 0.01
Fe	5.36 ± 4.25	0.87 ± 0.46	0.45 ± 0.48	0.08 ± 0.10	0.15 ± 0.15	0.27 ± 0.32	0.10 ± 0.05	0.19 ± 0.09	0.11 ± 0.12
K	11.31 ± 4.14	10.31 ± 1.84	1.50 ± 1.06	3.01 ± 1.85	3.04 ± 1.31	3.19 ± 0.94	3.19 ± 0.66	2.75 ± 1.19	2.19 ± 0.80
Mg	26.23 ± 7.56	19.79 ± 5.57	2.00 ± 1.13	7.21 ± 0.57	9.11 ± 1.98	7.34 ± 0.98	7.29 ± 0.87	7.31 ± 1.42	7.66 ± 2.50
Mn	3.75 ± 1.64	0.86 ± 0.77	0.01 ± 0.00	0.01 ± 0.00	0.04 ± 0.03	0.20 ± 0.36	0.12 ± 0.09	0.01 ± 0.01	0.09 ± 0.10
Na	52.42 ± 6.69	61.99 ± 7.82	31.40 ± 15.41	18.44 ± 6.87	38.12 ± 3.16	38.03 ± 13.33	34.02 ± 3.69	33.59 ± 4.67	23.32 ± 9.00
Ni	ND < 0.10	ND < 0.10	ND < 0.10	ND < 0.10	ND < 0.10	ND < 0.10	ND < 0.10	ND < 0.10	ND < 0.10
Pb	ND < 0.07	ND < 0.07	ND < 0.07	ND < 0.07	ND < 0.07	ND < 0.07	ND < 0.07	ND < 0.07	ND < 0.07
Zn	1.40 ± 1.25	0.13 ± 0.10	0.06 ± 0.02	0.03 ± 0.02	0.03 ± 0.03	0.04 ± 0.02	0.03 ± 0.02	0.09 ± 0.05	0.02 ± 0.01

Tabla 16 . Criterios Ecológicos de Calidad de Agua para Diferentes Usos (S.E.D.U.E., 1989) y Normas Oficiales Mexicanas y niveles obtenidos en el presente estudio durante los muestreos realizados en el Río San Pedro, Sonora.

Parámetro (**)	SEDUE 1989				Normas Oficiales Mexicanas		Presente Estudio Mínimo- Máximo
	Fuente de Abastecimiento de Agua Potable	Riego Agrícola	Recreativo e Industrial	Pecuario	NOM 127-SSA-1994	NOM-001-ECOL-1996	
Temperatura (°C)	CN+2.5						10.0 - 31.0
Potencial de Hidrógeno (pH)	5.0 – 9.0	4.5 – 9.0	6.0 - 9.0		6.5- 8.5	5.0 - 10.0	6.78 - 9.07
Conductividad Eléctrica (µS/cm)							340 - 1297
Oxígeno Disuelto	4		4				3.6 - 12.6
Alcalinidad (como CaCO3)	400						46.15 - 321.94
Cloruros	250	147.5			250		3.82 - 35.40
Sulfatos	500	130			400		10.72 - 785.17
Sólidos Disueltos Totales	500				1000		186 - 1060
Fósforo Total						10	ND - 5.45
Nitratos (como N)	5				10		0.05 - 5.42
Nitritos (Como N)	0.05				0.05		ND - 0.71
Nitrógeno Amoniacal					0.5		ND - 9.04
Cadmio	0.01	0.01	0.01	0.02	0.005	0.1	ND - ND
Cobre	1	0.2	0.1	0.5	2	4	ND - 1.77
Cromo Total	0.05	5	0.05	0.1	0.05	0.5	ND - ND
Hierro	0.3	5			0.3		ND - 9.46
Manganeso	0.1	-			0.15		ND - 6.15
Plomo	0.05	5	0.1	0.1	0.025	0.2	ND - ND
Sodio					200		10.9 - 71.0
Zinc	5	2		50	0.2	10	ND - 3.21

(*) = Criterios Ecológicos de Calidad de Agua CE-CCA-001/89, publicados en el Diario Oficial de la Federación del 2 de Diciembre de 1989.

(**) = La concentración se expresa en mg/L, a menos de que se especifique otra unidad.

CN = Condiciones Normales

ND = No Detectable

Tabla 17. Comparación de los datos obtenidos en agua superficial y subterránea del presente estudio, contra otros realizados en diferentes tiempos, en el Río San Pedro, Sonora.

Parámetros	Romero-Acosta 1996	Villalba et al 1998	Presente Estudio 1999	Serna-Félix 2006
pH	4.29 - 8.61	5.80 - 9.25	6.78 - 9.07	6.5 - 8.36
C.E.	420 - 1270	240 - 1130	340 - 1297	378 - 1517
O.D.	1.05 - 12.35	7.4 - 12.0	3.6 - 12.6	4.18 - 6.9
Cl ⁻	7.9 - 53.31	1.19 - 42.56	3.82 - 35.40	4.95 - 37.61
HCO ₃ ⁻	13.42 - 272		46.15 - 321.94	113.69 - 329.95
SO ₄ ⁼	42.8 - 710	3.29 - 653.19	10.71 - 785.17	11.59 - 739.43
S.D.T.		192 - 1002	186 - 1060	238 - 1046
N-NO ₃		0.040 - 2.82	0.05 - 5.42	ND - 3.83
N-NO ₂		ND - 0.111	ND - 0.707	
N-NH ₃		ND - 4.6	ND - 9.04	
P total		ND - 1.77	ND - 5.45	
Cd	ND - 0.06	ND - 0.04	ND - ND	ND - 0.05
Ca		4.65 - 136.68	10 - 113.2	44 - 155
Cu	ND - 8.55	ND - 3.4	ND - 1.77	0.02 - 3.7
Cr	ND - 0.02	ND - 0.06	ND	ND
Fe	0.03 - 106	ND - 34.88	ND - 9.46	0.015 - 34
K		1.4- 29	0.75 - 9.25	2.60 - 70.27
Mg		2.0 - 31.2	1.20 - 23.6	6.0 - 45.0
Mn	ND - 17.5	ND - 7.6	ND - 6.15	ND - 6. 8
Na		12.0 - 74.0	10.9 - 71.0	2.25 - 65.0
Ni	ND - 0.2	ND - 0.14	ND	ND - 0.13
Pb	ND - 0.84	ND - 0.30	ND	ND - 0.10
Zn	ND - 9.44	ND - 3.30	ND - 3.21	ND - 5.466

Tabla 18. Valores máximos y mínimos de los parámetros físicoquímicos analizados en agua superficial y subterránea del Río San Pedro, Sonora, durante el periodo de febrero a noviembre de 1999.

Estación de Muestreo	Temperatura (° C)	pH	C.E. (μmhos/cm)	O.D. (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	S.D.T. (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	SO ₄ ⁼ (mg/L)	P Total (mg/L)	N-NO ₃ (mg/L)	N_NO ₂ (mg/L)	N-NH ₃ (mg/L)
Arroyo Cananea Vieja	12.0 - 23.7	6.78 - 7.47	906 - 1297	3.6 - 7.1	76.92 - 213.41	625 - 1060	21.28 - 30.41	290.19 - 785.17	1.25 - 1.97	0.207 - 0.74	0.041 - 0.29	2.74 - 9.04
El Barrilito	11.0 - 26.5	8.30 - 8.72	822 - 1160	7.5 - 11.6	46.15 - 196.07	616 - 918	25.20 - 35.40	190.08 - 541.73	1.36 - 5.45	1.31 - 5.42	0.090 - 0.71	0.33 - 2.16
La Saucedá (Pozo)	10.0 - 12.0	8.20 - 8.34	340 - 405		142.26 - 151.21	186 - 322	12.96 - 14.02	29.34 - 31.69	ND - 0.033	2.71 - 5.07	0.013 - 0.016	0.125 - 0.048
Ejido Morelos (Pozo)	13.5 - 22.5	7.57 - 7.94	370 - 385		191.32 - 202.48	206 - 263	6.62 - 11.32	10.99 - 12.66	ND - 0.194	1.92 - 3.19	ND < 0.01	0.017 - 0.125
Ejido Morelos (Río)	19.0 - 31.0	8.14 - 8.81	410 - 578	5.6 - 12.6	181.51 - 256.09	228 - 412	6.87 - 11.97	43.59 - 88.85	ND - 0.267	0.05 - 0.088	ND - 0.012	0.017 - 0.180
San Pedro Palominas (Pozo)	15.0 - 22.5	7.21 - 7.78	418 - 676		231.27 - 321.94	214 - 486	6.36 - 9.47	10.72 - 72.09	ND - 0.33	0.06 - 2.79	ND < 0.01	0.040 - 0.236
San Pedro Palominas (Río)	15.0 - 27.0	8.10 - 9.07	400 - 509	7.2 - 10.8	200.0 - 234.13	240 - 332	5.35 - 10.97	42.38 - 56.32	ND - 0.289	0.021 - 0.074	ND < 0.01	0.04 - 0.208
El pedregón	33.5	8.42	410	7.2	161.54	258	6.01	55.52	0.389	0.095	0.013	0.07
Los Corrales (Pozo)	16.0 - 24.5	7.57 - 8.33	364 - 430		189.25 - 232.92	222 - 294	3.82 - 8.86	27.31 - 32.99	ND - 0.278	0.258 - 0.805	ND - 0.014	ND - 0.181
Los Corrales (Río)	18.5 - 29.0	7.20 - 8.20	475 - 520	5.55 - 9.2	255.09 - 260.96	243 - 326	3.82 - 8.86	34.81 - 44.71	ND - 0.278	0.08 - 0.33	ND - 0.029	0.050 - 0.333

Tabla 19. Valores máximos y mínimos de los metales totales analizados en agua superficial y subterránea del Río San Pedro, Sonora, durante el periodo de febrero a noviembre de 1999.

Estación de Muestreo	Cd (mg/L)	Ca (mg/L)	Cu (mg/L)	Cr total (mg/L)	Fe (mg/L)	K (mg/L)	Mg (mg/L)	Ni (mg/L)	Mn (mg/L)	Na (mg/L)	Pb (mg/L)	Zn (mg/L)
Arroyo Cananea Vieja	ND < 0.01	101.8 - 165.0	0.3 - 1.77	ND < 0.01	0.37 - 9.46	8.25 - 17.25	21.80 - 37.50	ND < 0.10	2.66 - 6.15	44.75 - 58.52	ND < 0.07	0.53 - 3.21
El Barrilito	ND < 0.01	127.5 - 83.25	ND < 0.02 - 0.20	ND < 0.01	0.34 - 1.32	9.0 - 13.0	14.25 - 27.50	ND < 0.10	0.15 - 1.88	52.5 - 71.0	ND < 0.07	0.06 - 0.27
La Saucedá (Pozo)	ND < 0.01	10.0 - 21.0	ND < 0.02	ND < 0.01	0.11 - 0.79	0.75 - 2.25	1.20 - 2.80	ND < 0.10	ND < 0.02	20.5 - 42.3	ND < 0.07	0.04 - 0.07
Ejido Morelos (Pozo)	ND < 0.01	46.8 - 56.25	ND < 0.02	ND < 0.01	ND < 0.04 - 0.23	1.02 - 5.50	6.80 - 8.00	ND < 0.10	ND < 0.02	12.5 - 28.27	ND < 0.07	ND < 0.01 - 0.05
Ejido Morelos (Río)	ND < 0.01	30.4 - 65.50	ND < 0.02	ND < 0.01	ND < 0.04 - 0.35	1.40 - 4.50	6.75 - 11.50	ND < 0.10	ND < 0.02 - 0.07	33.52 - 40.75	ND < 0.07	ND < 0.01 - 0.08
San Pedro Palominas (Pozo)	ND < 0.01	48.0 - 67.4	ND < 0.02	ND < 0.01	ND < 0.04 - 0.68	2.25 - 4.50	6.75 - 8.80	ND < 0.10	ND < 0.02 - 0.74	26.3 - 56.3	ND < 0.07	0.02 - 0.06
San Pedro Palominas (Río)	ND < 0.01	42.75 - 57.0	ND < 0.02	ND < 0.01	0.05 - 0.16	2.50 - 3.75	6.50 - 8.25	ND < 0.10	ND < 0.02 - 0.23	29.27 - 37.7	ND < 0.07	ND < 0.01 - 0.06
El pedregón	ND < 0.01	45.25	ND < 0.02	ND < 0.01	1.09	5.5	6.5	ND < 0.10	0.033	24.52	ND < 0.07	0.05
Los Corrales (Pozo)	ND < 0.01	46.8 - 58.75	ND < 0.02	ND < 0.01	0.07 - 0.28	2.0 - 4.50	5.2 - 8.25	ND < 0.10	ND < 0.02 - 0.023	28.3 - 39.52	ND < 0.07	0.04 - 0.16
Los Corrales (Río)	ND < 0.01	28.4 - 63.6	ND < 0.02	ND < 0.01	ND < 0.04 - 0.29	1.0 - 2.75	4.2 - 9.75	ND < 0.10	ND < 0.02 - 0.21	10.9 - 31.77	ND < 0.07	ND < 0.01 - 0.04

ANEXO B

Tabla 1. Resultados de análisis físicoquímicos en agua superficial y subterránea del Río San Pedro, Sonora durante los días 18 y 19 de Febrero de 1999.

Estación No.		Temp. H ₂ O ° C	Temp. Amb. ° C	pH	C.E. umhos/cm	O. D. mg/L	HCO ₃ ⁼ mg/L	S.D.T. mg/L	Cl ⁻ mg/L	SO ₄ ⁼ mg/L	Total P mg/L	N-NO ₃ mg/L	N-NO ₂ mg/L	N-NH ₃ mg/L
1	Arroyo Cananea Vieja	14.0	18.0	7.2	1098		213.41	832	28.77	351.24	1.97	0.33	0.29	4.57
2	El Barrilito	16.0	23.0	8.3	910	9.1	175.60	722	25.20	238.13	1.98	4.09	0.45	2.16
3	La Sauceda Pozo	13.5	12.0	8.2	405	-	151.21	322	14.02	29.34	0.033	5.07	0.016	0.125
4	Ejido Morelos Pozo	16.0	14.5	7.8	384	-	202.48	263	6.62	11.06	0.015	1.92	ND< 0.01	0.125
5	Ejido Morelos (Río)	10.0	19.0	8.4	532	9.0	256.09	378	6.87	64.95	0.103	ND< 0.10	0.012	0.180
6	San Pedro Palominas (Pozo)	18.0	18.0	7.5	676		321.94	486	6.36	72.09	0.33	ND< 0.10	ND< 0.01	0.236
7	San Pedro Palominas (Río)	11.0	22.0	8.2	509	8.8	234.13	328	5.35	44.74	0.038	ND< 0.10	ND< 0.01	0.208
8	Pedregón (Río) (**)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9 A	Los Corrales (Pozo)	12.0	24.0	8.3	428	-	232.92	294	3.82	28.87	ND< 0.01	0.69	0.014	0.181
9 B	Pozo Los Corrales (Pozo)*	12.0	24.0	8.3	428	-	234.14	290	4.84	30.31	ND< 0.01	0.70	0.014	0.194
10 A	Los Corrales (Río)	17.0	26.0	8.2	487	9.2	260.96	326	3.82	37.04	0.038	0.33	0.029	0.333
10 B	Los Corrales (Río)	17.0	26.0	8.2	487	9.2	260.96	332	4.33	34.15	0.050	0.33	0.031	0.319
11	Blanco de Campo							ND< 10	ND< 2	ND< 5	ND< 0.01	ND< 0.10	ND< 0.01	0.181
12	Blanco de Viaje							ND< 10	ND< 2	ND< 5	ND< 0.01	ND< 0.10	ND< 0.01	0.208
	Limite de detección							10	2	5	0.01	0.10	0.01	0.01

(**) = No hubo agua superficial durante el muestreo

C.E. = Conductividad Eléctrica

O.D. = Oxígeno Disuelto

S.D.T. = Sólidos Disueltos Totales

N. D. = No Detectable

Tabla 2. Resultados de análisis físicoquímicos en agua superficial y subterránea del Río San Pedro, Sonora durante los días 30 de Abril y 1 de Mayo de 1999.

Estación No.	Estación Nombre	Temp. H ₂ O ° C	Temp. Amb. ° C	pH	C.E. μmhos/cm	O. D. mg/L	HCO ₃ ⁼ mg/L	S.D.T. mg/L	Cl ⁻ mg/L	SO ₄ ⁼ mg/L	P total mg/L	N-NO ₃ mg/L	N-NO ₂ mg/L	N-NH ₃ mg/L
1	Arroyo Cananea Vieja	19.5	19.0	7.47	1000	6.0	196.22	625	30.41	290.19	1.59	0.330	0.207	9.04
2	El Barrilito	10.0	11.0	8.42	970	8.4	191.32	686	35.40	254.54	1.98	4.57	0.09	0.33
3	La Saucedá Pozo	21.0	10.0	8.34	340	-	142.26	186	12.96	31.69	ND< 0.01	2.71	0.013	0.048
4	Ejido Morelos Pozo	20.0	13.5	7.94	380	-	191.32	206	10.97	11.61	ND< 0.01	2.24	ND< 0.01	0.017
5	Ejido Morelos (Río)	20.0	18.5	8.81	410	12.6	181.51	228	11.97	43.59	ND< 0.01	ND <0.10	ND< 0.01	0.017
6	San Pedro Palominas (Pozo)	21.0	15.0	7.78	420	-	235.47	214	9.47	10.72	ND< 0.01	1.88	ND< 0.01	0.048
7	San Pedro Palominas (Río)	17.0	15.0	9.07	430	10.8	220.75	240	10.97	42.38	0.056	0.046	ND< 0.01	0.089
8	Pedregón (Río) (**)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9 A	Los Corrales (Pozo)	15.5	22.5	8.33	420	-	230.56	247	8.47	32.99	ND< 0.01	0.72	ND< 0.01	ND< 0.01
9 B	Pozo Los Corrales (Pozo)*	15.5	22.5	8.33	420	-	233.02	247	8.22	32.55	ND< 0.01	0.71	ND< 0.01	ND< 0.01
10	Los Corrales (Río)	21.5	20.0	8.07	520	7.2	255.09	243	8.22	39.26	0.029	ND <0.10	ND< 0.01	0.099
11	Blanco de Campo							ND< 10			ND< 0.01	ND <0.10	ND< 0.01	ND< 0.01
12	Blanco de Viaje							ND< 10			ND< 0.01	ND <0.10	ND< 0.01	ND< 0.01
	Limite de detección							10	2	5	0.01	0.10	0.01	0.01

(*) = Duplicado

(**) = No hubo agua superficial durante el muestreo

C.E. = Conductividad Eléctrica

O.D. = Oxígeno Disuelto

S.D.T. = Sólidos Disueltos Totales

N. D. = No Detectable

Tabla 3. Resultados de análisis físicoquímicos en agua superficial y subterránea del Río San Pedro, Sonora durante los días 18 y 19 de Agosto de 1999.

Estación No.	Estación Nombre	Temp. H ₂ O ° C	Temp. Amb. ° C	pH	C.E. µmhos/cm	O. D. mg/L	S.D.T. mg/L	HCO ₃ ⁼ mg/L	SO ₄ ⁼ mg/L	Cl ⁻ mg/L	P total mg/L	N-NO ₃ mg/L	N-NO ₂ mg/L	N-NH ₃ mg/L
1	Arroyo Cananea Vieja	26.5	23.7	6.78	1297	7.1	1060	76.92	785.17	21.28	1.25	0.74	0.041	2.74
2	El Barrilito	21.0	26.5	8.72	1160	7.5	918	46.15	541.73	26.04	1.36	1.31	0.707	1.51
3	La Saucedá (Pozo) (**)													
4	Ejido Morelos (Pozo)	20.5	22.5	7.62	370	--	215	200.00	12.66	11.01	0.194	2.940	ND< 0.01	0.030
5	Ejido Morelos (Río)	29.5	31.0	8.14	475	5.6	308	210.26	67.81	8.76	0.267	ND< 0.10	ND< 0.01	0.070
6	San Pedro Palominas (Pozo)	22.0	22.5	7.21	426	--	258	237.06	11.76	9.26	0.312	2.790	ND< 0.01	0.040
7	San Pedro Palominas (Río)	24.0	27.0	8.17	400	7.8	254	200.00	54.62	7.01	0.289	ND< 0.10	ND< 0.01	0.040
8	Pedregón (Río)	34.0	33.5	8.42	410	7.2	258	161.54	55.52	6.01	0.339	ND< 0.10	0.013	0.070
9 A	Los Corrales (Pozo)	33.0	24.5	7.57	364	--	222	189.75	27.31	8.51	0.278	0.258	0.011	0.030
9 B	Los Corrales (Pozo) (*)	33.0	24.5	7.57	365	--	213	189.75	28.44	8.26	0.278	0.246	0.011	0.040
10 A	Los Corrales (Río)	33.5	29.0	7.20	485	5.55	290	256.48	44.71	8.01	0.278	0.237	ND< 0.01	0.050
10 B	Los Corrales (Río) (*)	33.5	29.0	7.20	485	5.55	286	261.54	43.8	8.26	0.278	0.229	ND< 0.01	0.060
11	Blanco de Campo													
12	Blanco de Viaje													
	Limite de detección						10		5	2	0.01	0.10	0.01	0.01

(*) = Duplicado

(**) = No hubo agua superficial durante el muestreo

C.E. = Conductividad Eléctrica

O.D. = Oxígeno Disuelto

Tabla 4. Resultados de análisis fisicoquímicos en agua superficial y subterránea del Río San Pedro, Sonora durante los días 10, 11 y 12 de noviembre de 1999.

Estación	Estación Nombre	Temp. H ₂ O ° C	Temp. Amb. ° C	pH	C.E. µmhos/cm	O. D. mg/L	HCO ₃ ⁼ mg/L	S.D.T. mg/L	Cl ⁻ mg/L	SO ₄ ⁼ mg/L	P total mg/L	N-NO ₃ mg/L	N-NO ₂ mg/L	N-NH ₃ mg/L
1	Arroyo Cananea Vieja	17.5	12.0	7.36	906	3.6	186.02	674	23.39	338.84	1.37	0.207	0.103	5.08
2	El Barrilito	32.0	15.0	8.62	822	11.6	196.07	616	31.76	190.08	5.45	5.42	0.651	1.42
3	La Saucedá (Pozo)	No hubo agua subterránea durante el muestreo												
4	Ejido Morelos (Pozo)	22.0	21.0	7.57	385	--	196.07	262	11.32	10.99	0.121	3.19	ND<0.01	0.091
5	Ejido Morelos (Río)	31.5	23.0	8.25	578	7.6	248.86	412	11.32	88.85	0.126	ND<0.10	ND<0.01	0.148
6	San Pedro Palominas (Pozo)	28.5	20.0	7.22	418	--	231.27	278	8.86	8.71	0.262	2.704	ND<0.01	0.129
7	San Pedro Palominas (Río)	28.5	17.0	8.10	495	9.2	228.75	332	9.35	56.32	ND<0.01	ND<0.10	ND<0.01	0.148
8	Pedregón (Río)	No hubo agua superficial durante el muestreo												
9 A	Los Corrales (Pozo)	32.0	16.0	7.89	430	--	231.27	290	8.86	27.47	ND<0.01	0.805	ND<0.01	0.110
9 B	Los Corrales (Pozo) (*)	32.0	16.0	7.89	430	--	231.27	292	9.35	28.85	ND<0.01	0.815	ND<0.01	0.129
10 A	Los Corrales (Río)	29.0	18.5	8.11	475	9.0	258.92	324	8.86	34.81	ND<0.01	0.158	ND<0.01	0.214
10 B	Los Corrales (Río) (*)	29.0	18.5	8.11	475	9.0	256.40	324	8.86	34.35	ND<0.01	0.153	ND<0.01	0.186
11	Blanco de Campo													
12	Blanco de Viaje													
	Limite de detección							10	2	5	0.01	0.10	0.01	0.01

(*) = Duplicado

C.E. = Conductividad Eléctrica

O.D. = Oxígeno Disuelto

S.D.T. = Sólidos Disueltos Totales

ANEXO C

Tabla 1. Resultados del análisis de metales pesados en el agua superficial y subterránea del Río San Pedro, Sonora durante los días 18 y 19 de Febrero de 1999.

Estación No.	Estación Nombre	Cd mg/L	Ca mg/L	Cu mg/L	Cr total mg/L	Fe mg/L	K mg/L	Mg mg/L	Mn mg/L	Na mg/L	Ni mg/L	Pb mg/L	Zn mg/L
1	Arroyo Cananea Vieja	ND< 0.01	113.2	0.3	ND< 0.01	3.35	8.25	23.60	2.66	57.5	ND<0.10	ND< 0.07	0.61
2	El Barrilito	ND< 0.01	98.6	ND< 0.02	ND< 0.01	1.18	9.25	18.20	1.01	52.5	ND<0.10	ND< 0.07	0.11
3	La Saucedá (Pozo)	ND< 0.01	10.0	ND< 0.02	ND< 0.01	0.11	0.75	1.20	ND<0.02	20.5	ND<0.10	ND< 0.07	0.04
4	Ejido Morelos (Pozo)	ND< 0.01	46.8	ND< 0.02	ND< 0.01	0.04	1.02	6.80	ND<0.02	15.5	ND<0.10	ND< 0.07	0.03
5	Ejido Morelos (Río)	ND< 0.01	52.0	ND< 0.02	ND< 0.01	0.35	1.40	9.60	0.070	39.1	ND<0.10	ND< 0.07	0.01
6	San Pedro Palominas (Pozo)	ND< 0.01	67.4	ND< 0.02	ND< 0.01	0.68	2.25	8.8	0.74	56.3	ND<0.10	ND< 0.07	0.02
7	San Pedro Palominas (Río)	ND< 0.01	54.4	ND< 0.02	ND< 0.01	0.16	2.75	7.80	0.14	33.1	ND<0.10	ND< 0.07	0.02
8	Pedregón (Río) (**)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9 A	Los Corrales (Pozo)	ND< 0.01	48.2	ND< 0.02	ND< 0.01	0.28	2.0	7.80	ND<0.02	28.3	ND<0.10	ND< 0.07	0.07
9 B	Los Corrales (Pozo)*	ND< 0.01	46.8	ND< 0.02	ND< 0.01	0.29	2.25	9.20	ND<0.02	27.9	ND<0.10	ND< 0.07	0.07
10 A	Los Corrales (Río)	ND< 0.01	63.6	ND< 0.02	ND< 0.01	0.05	2.50	9.20	0.21	23.1	ND<0.10	ND< 0.07	0.02
10 B	Los Corrales (Río) *	ND< 0.01	61.8	ND< 0.02	ND< 0.01	0.05	2.25	9.20	0.23	22.7	ND<0.10	ND< 0.07	0.02
11	Blanco de Campo	ND< 0.01	ND< 0.01	ND< 0.02	ND< 0.01	ND< 0.04	2.25	ND<0.005	ND<0.02	0.3	ND<0.10	ND< 0.07	0.01
12	Blanco de Viaje	ND< 0.01	ND< 0.01	ND< 0.02	ND< 0.01	ND< 0.04	ND< 0.01	ND<0.005	ND<0.02	0.7	ND<0.10	ND< 0.07	0.02
	Limite de detección	0.01	0.01	0.02	0.01	0.04	0.01	0.005	0.02	0.06	0.10	0.07	0.01

(*) = Duplicado

(**) = No hubo agua superficial durante el muestreo

ND = No Detectable

Tabla 2. Resultados del análisis de metales pesados en el agua superficial y subterránea del Río San Pedro, Sonora durante los días 30 de Abril y 1 de Mayo de 1999.

Estación No.	Estación Nombre	Cd mg/L	Ca mg/L	Cu mg/L	Cr total mg/L	Fe mg/L	K mg/L	Mg mg/L	Mn mg/L	Na mg/L	Ni mg/L	Mn mg/L	Pb mg/L	Zn mg/L
1	Arroyo Cananea Vieja	ND<0.01	101.8	1.33	ND<0.01	8.27	8.75	21.80	3.40	48.9	ND<0.10	3.40	ND<0.07	1.25
2	El Barrilito	ND<0.01	100.8	0.05	ND<0.01	1.32	10.0	19.20	0.15	64.7	ND<0.10	0.15	ND<0.07	0.06
3	La Sauceda (Pozo)	ND<0.01	21.0	ND<0.02	ND<0.01	0.79	2.25	2.80	ND<0.02	42.3	ND<0.10	ND<0.02	ND<0.07	0.07
4	Ejido Morelos (Pozo)	ND<0.01	51.0	ND<0.02	ND<0.01	ND<0.04	2.75	6.80	ND<0.02	12.5	ND<0.10	ND<0.02	ND<0.07	0.02
5	Ejido Morelos (Río)	ND<0.01	30.4	ND<0.02	ND<0.01	0.06	3.5	8.60	0.04	39.1	ND<0.10	0.04	ND<0.07	0.04
6	San Pedro Palominas (Pozo)	ND<0.01	49.2	ND<0.02	ND<0.01	ND<0.04	3.0	6.8	ND<0.02	26.3	ND<0.10	ND<0.02	ND<0.07	0.03
7	San Pedro Palominas (Río)	ND<0.01	43.4	ND<0.02	ND<0.01	0.12	3.75	6.60	0.23	37.7	ND<0.10	0.23	ND<0.07	0.01
8	Pedregón (Río) (**)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9	Los Corrales (Pozo)	ND<0.01	46.8	ND<0.02	ND<0.01	0.07	2.0	5.20	ND<0.02	34.3	ND<0.10	ND<0.02	ND<0.07	0.04
9 B	Los Corrales (Pozo)*	ND<0.01	47.2	ND<0.02	ND<0.01	0.08	2.0	5.40	ND<0.02	34.3	ND<0.10	ND<0.02	ND<0.07	0.07
10 A	Los Corrales (Río)	ND<0.01	28.4	ND<0.02	ND<0.01	ND<0.04	1.0	4.2	ND<0.02	10.9	ND<0.10	ND<0.02	ND<0.07	0.01
10 B	Los Corrales (Río) *	ND<0.01	40.8	ND<0.02	ND<0.01	ND<0.04	2.6	6.4	0.02	34.9	ND<0.10	0.02	ND<0.07	ND<0.01
11	Blanco de Campo	ND<0.01	ND<0.01	ND<0.02	ND<0.01	ND<0.04	ND<0.01	ND<0.005	ND<0.02	0.10	ND<0.10	ND<0.02	ND<0.07	ND<0.01
12	Blanco de Viaje	ND<0.01	ND<0.01	ND<0.02	ND<0.01	ND<0.04	ND<0.01	ND<0.005	ND<0.02	0.10	ND<0.10	ND<0.02	ND<0.07	0.04
	Limite de detección	0.01	0.01	0.02	0.01	0.04	0.01	0.005	0.02	0.06	0.10	0.02	0.07	0.01

(*) = Duplicado

(**) = No hubo agua superficial durante el muestreo

ND = No Detectable

Tabla 3. Resultados del análisis de metales pesados en el agua superficial y subterránea del Río San Pedro, Sonora durante los días 18, 19 y 20 de Agosto de 1999.

Estación No.	Estación Nombre	Cd mg/L	Ca mg/L	Cu mg/L	Cr total mg/L	Fe mg/L	K mg/L	Mg mg/L	Mn mg/L	Na mg/L	Ni mg/L	Pb mg/L	Zn mg/L
1	Arroyo Cananea Vieja	ND< 0.01	165.0	1.77	ND< 0.01	9.46	17.25	37.50	6.15	58.52	ND< 0.10	ND< 0.07	3.21
2	El Barrilito	ND< 0.01	127.5	0.20	ND< 0.01	0.65	13.0	27.50	1.88	59.77	ND< 0.10	ND< 0.07	0.27
3	La Saucedá (Pozo) (**)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4	Ejido Morelos (Pozo)	ND< 0.01	56.25	ND< 0.02	ND< 0.01	0.23	5.50	8.0	ND< 0.02	28.27	ND< 0.10	ND< 0.07	0.05
5	Ejido Morelos (Río)	ND< 0.01	47.50	ND< 0.02	ND< 0.01	ND< 0.04	2.75	6.75	ND< 0.02	33.52	ND< 0.10	ND< 0.07	0.08
6	San Pedro Palominas (Pozo)	ND< 0.01	50.0	ND< 0.02	ND< 0.01	0.34	4.50	7.0	0.033	39.27	ND< 0.10	ND< 0.07	0.06
7	San Pedro Palominas (Río)	ND< 0.01	42.75	ND< 0.02	ND< 0.01	0.05	2.50	6.50	ND< 0.02	29.27	ND< 0.10	ND< 0.07	0.06
8	Pedregón (Río)	ND< 0.01	45.25	ND< 0.02	ND< 0.01	1.09	5.50	6.50	0.033	24.52	ND< 0.10	ND< 0.07	0.05
9	Los Corrales (Pozo)	ND< 0.01	58.75	ND< 0.02	ND< 0.01	0.19	4.50	8.25	0.023	39.52	ND< 0.10	ND< 0.07	0.08
9 B	Los Corrales (Pozo)*	ND< 0.01	60.0	ND< 0.02	ND< 0.01	0.18	4.50	8.50	0.023	40.27	ND< 0.10	ND< 0.07	0.08
10 A	Los Corrales (Río)	ND< 0.01	28.75	0.02	ND< 0.01	0.29	2.50	7.50	ND< 0.02	31.77	ND< 0.10	ND< 0.07	0.04
10 B	Los Corrales (Río) *	ND< 0.01	29.50	ND< 0.02	ND< 0.01	0.28	2.75	7.75	ND< 0.02	31.77	ND< 0.10	ND< 0.07	0.04
11	Blanco de Campo	ND< 0.01	ND< 0.01	ND< 0.02	ND< 0.01	ND< 0.04	ND< 0.01	0.20	ND< 0.02	0.27	ND< 0.10	ND< 0.07	ND< 0.01
12	Blanco de Viaje	ND< 0.01	ND< 0.01	ND< 0.02	ND< 0.01	ND< 0.04	ND< 0.01	0.20	ND< 0.02	1.27	ND< 0.10	ND< 0.07	ND< 0.01
	Limite de detección	0.01	0.01	0.02	0.01	0.04	0.01	0.005	0.02	0.06	0.10	0.07	0.01

(*) = Duplicado

(**) = No hubo agua superficial durante el muestreo

ND = No Detectable

Tabla 4. Resultados del análisis de metales pesados en el agua superficial y subterránea del Río San Pedro, Sonora durante los días 10, 11 y 12 de noviembre de 1999.

Estación No.	Estación Nombre	Cd mg/L	Ca mg/L	Cu mg/L	Cr total mg/L	Fe mg/L	K mg/L	Mg mg/L	Mn mg/L	Na mg/L	Ni mg/L	Pb mg/L	Zn mg/L
1	Arroyo Cananea Vieja	ND<0.01	105.75	0.37	ND<0.01	0.37	11.0	22.00	2.77	44.75	ND<0.10	ND<0.07	0.53
2	El Barrilito	ND<0.01	83.25	0.07	ND<0.01	0.34	9.0	14.25	0.41	71.00	ND<0.10	ND<0.07	0.06
3	La Saucedá (Pozo) (**)	No hubo agua subterránea durante el muestreo											
4	Ejido Morelos (Pozo)	ND<0.01	50.00	ND<0.02	ND<0.01	0.04	2.75	7.25	ND<0.02	17.50	ND<0.10	ND<0.07	0.01
5	Ejido Morelos (Río)	ND<0.01	65.50	ND<0.02	ND<0.01	0.16	4.50	11.50	0.05	40.75	ND<0.10	ND<0.07	ND<0.01
6	San Pedro Palominas (Pozo)	ND<0.01	48.00	ND<0.02	ND<0.01	ND<0.04	3.00	6.75	ND<0.02	30.25	ND<0.10	ND<0.07	0.03
7	San Pedro Palominas (Río)	ND<0.01	57.00	ND<0.02	ND<0.01	0.08	3.75	8.25	0.08	36.00	ND<0.10	ND<0.07	0.02
8	Pedregón (Río)	No hubo agua superficial durante el muestreo											
9	Los Corrales (Pozo)	ND<0.01	47.50	ND<0.02	ND<0.01	0.21	2.50	8.00	ND<0.02	32.25	ND<0.10	ND<0.07	0.16
9 B	Los Corrales (Pozo)*	ND<0.01	46.50	ND<0.02	ND<0.01	0.21	2.25	8.00	ND<0.02	32.25	ND<0.10	ND<0.07	0.16
10 A	Los Corrales (Río)	ND<0.01	63.00	ND<0.02	ND<0.01	0.07	2.75	9.75	0.12	27.50	ND<0.10	ND<0.07	0.01
10 B	Los Corrales (Río) *	ND<0.01	62.00	ND<0.02	ND<0.01	0.09	2.75	9.50	0.13	28.25	ND<0.10	ND<0.07	0.02
11	Blanco de Campo	ND<0.01	ND<0.01	ND<0.02	ND<0.01	ND<0.04	ND<0.01	ND<0.005	ND<0.02	0.25	ND<0.10	ND<0.07	ND<0.01
12	Blanco de Viaje	ND<0.01	ND<0.01	ND<0.02	ND<0.01	ND<0.04	ND<0.01	ND<0.005	ND<0.02	ND<0.06	ND<0.10	ND<0.07	ND<0.01
	Limite de detección	0.01	0.01	0.02	0.01	0.04	0.01	0.005	0.02	0.06	0.10	0.07	0.01

(*) = Duplicado

(**) = No hubo agua superficial durante el muestreo

ND = No Detectable