

Universidad De Guadalajara

Centro Universitario De Ciencias Biológicas Y Agropecuarias

División De Ciencias Biológicas Y Ambientales



“ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DEL MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO GRANDE DE SANTIAGO, Y SUS IMPLICACIONES A LA SALUD AMBIENTAL”

Tesis Que
Para Obtener El Título De:

LICENCIADO EN BIOLOGÍA

Presenta:

Laura Esther De La Rosa Portillo

Zapopan, Jalisco; 09 de Enero de 2014

*"Dios no te hubiera dado la capacidad de soñar
sin darte también la posibilidad de convertir
tus sueños en realidad"*

Héctor Tassinari

"Somos aquello en lo que creemos"

Wayne W. Dyer

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a dios y a todos esos seres de luz que me acompañan cada día, por darme la oportunidad de terminar mis estudios y mi más grande anhelo.

Al Dr. Javier García Velasco, por su gran apoyo, paciencia y sus enseñanzas para la realización de este proyecto de tesis, le agradezco infinitamente.

A la Dra. Martha Georgina Orozco Medina, por su gran apoyo, su confianza y sus enseñanzas.

A todas y cada una de las personas, en especial a las personas de Laboratorio de Calidad del agua de la Comisión Estatal del Agua (CEA Jalisco), al departamento de Fisicoquímicos y de Metales Pesados, por darme la oportunidad de aprender y de convivir con ellos, mis más sinceros agradecimientos.

*A mis padres: Héctor Manuel de la Rosa Vaca y Ma. Cruz Portillo Pérez,
por su amor y apoyo incondicional.*

*A mis hermanos: Alexia Sarai y Héctor Jesús,
por ayudarme a ser mejor persona cada día.*

*A mi esposo Cesar García y a mi hija Isis Valentina por la paciencia, el apoyo
y darme la fuerza necesaria para terminar este proyecto los amo.*

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	8
2. ANTECEDENTES.....	10
3. MARCO TEÓRICO.....	16
3.1. Disponibilidad de Agua en el Mundo.	16
3.2. La Crisis del Agua.	19
3.3. Disponibilidad de Agua en América Latina y el Caribe.....	21
3.4. Disponibilidad de Agua en México.	22
3.5. Disponibilidad de Agua en Jalisco.	25
3.6. Contaminación de Ríos.	27
3.7. La Calidad del Agua.	30
3.8. Principales Indicadores de la Calidad.....	32
3.9. Principales Grupos Contaminantes en el Agua.....	35
3.10. Importancia del Análisis de los Metales Pesados.....	37
3.11. Metales Pesados.....	38
3.11.1. Definición y Clasificación.....	38
3.11.2. Contaminación por Metales Pesados.....	39
3.11.3. Origen de los Metales Pesados en los Sistemas Acuáticos.....	39
3.11.4. Origen Natural.	40

3.11.5.	Origen Antropogénico.	40
3.11.6.	Efectos Tóxicos de los Metales Pesados.....	43
3.11.7.	Efectos en el Ambiente.	44
3.12.	Consecuencias de la Contaminación de Ríos en la Salud Ambiental.	45
3.12.1.	Salud Ambiental.	45
3.12.2.	Efectos en la Salud humana por la Exposición de Metales Pesados. .	50
4.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	52
5.	OBJETIVOS.	53
5.1	Objetivo General.	53
5.2	Objetivos Particulares.	53
6.	METODOLOGÍA.	54
6.1	Localización del Área de Estudio.	55
6.1.1	Descripción del Área de Estudio.	56
6.1.2	Infraestructura Hidráulica.	59
6.1.3	Factores Antropológicos que Afectan la Calidad Ambiental e Integridad del Ecosistema.	60
6.2	Protocolo de Muestreo.	62
6.2.1	Localización de Puntos de Muestreo.	62
6.2.2	Diseño Metodológico del Muestreo.	63
6.2.3	Protocolo de muestreo de agua y preservación del agua.	64

6.3	Análítica de Agua.	66
6.3.1	Análisis Físicoquímicos.	66
6.4	Metodología de Cálculo del Índice de Calidad del Agua (ICAS)	.70
6.5	Legislación utilizada en el Análisis.	.71
6.5.1	Análisis Toxicológico.	.71
6.6	Procedimientos para el Análisis de Resultados.	.71
6.6.1	Variabilidad por punto para Parámetros Físicoquímicos.	.71
6.6.2	Variabilidad por mes para Parámetros Físicoquímicos.	.72
6.6.3	Variabilidad por punto para Metales Pesados.	.72
6.6.4	Variabilidad por mes para Metales Pesados.	.72
6.6.5	Variabilidad por punto para Materia Orgánica.	.72
6.6.6	Variabilidad por mes para Materia Orgánica.	.72
6.6.7	Procedimiento para el Análisis de Resultados en Agua.	.73
6.6.8	Calculo de Variabilidad Espacial y Temporal en Agua.	.73
6.6.9	Evaluación de los Resultados con la Normatividad Vigente.	.73
7.	RESULTADOS.	.74
7.1	Análisis de Agua.	.74
7.1.1	Análisis Físicoquímicos, Metales Pesados, Microbiológicos, Variabilidad Espacial y Estacional.	.74

7.1.2	Alcalinidad total.	74
7.1.3	Cloruros Totales.	77
7.1.4	Conductividad.	80
7.1.5	Demanda Química de Oxígeno.	83
7.1.6	Demanda Biológica de Oxígeno.	85
7.1.7	Dureza total.	87
7.1.8	Fluoruros.	90
7.1.9	Fosforo Total.	92
7.1.10	Grasas y Aceites.	94
7.1.11	Nitrógeno Amoniacal.	97
7.1.12	Nitrógeno de Nitratos.	99
7.1.13	Nitrógeno de Nitritos.	101
7.1.14	Oxígeno Disuelto.	104
7.1.15	Potencial Hidrogeno (pH)	106
7.1.16	Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	109
7.1.17	Solidos Disueltos Totales.	111
7.1.18	Solidos Suspendedos Totales.	112
7.1.19	Sulfatos.	115
7.1.20	Sulfuros.	117

7.1.21	Temperatura.	119
7.1.22	Turbiedad.	121
7.1.23	Aluminio.	123
7.1.24	Arsénico.	125
7.1.25	Bario.	127
7.1.26	Cadmio.	130
7.1.27	Cobre.	132
7.1.28	Cromo.	134
7.1.29	Fierro.	137
7.1.30	Manganeso.	139
7.1.31	Mercurio.	141
7.1.32	Níquel.	143
7.1.33	Plomo.	145
7.1.34	Sodio.	148
7.1.35	Zinc.	150
7.1.36	Coliformes Fecales.	152
7.1.37	Coliformes Totales.	153
7.2	Resultados de Índice de Calidad del Agua.	156
7.2.1	Parámetros fuera de Norma.	158
7.2.2	Limitantes de Uso en el Agua Estudiada.	159

8. DISCUSIÓN.....	161
9. CONCLUSIONES.....	168
10. BIBLIOGRAFÍA.....	170
11. ANEXOS.....	175
11.1 Metodología de Cálculo del Índice de Calidad de Aguas (ICAS).....	175
11.2 Índice de Tablas, Figuras y Graficas.....	181

1

INTRODUCCIÓN

Con la realización de un estudio espacio temporal del Río Grande Santiago y sus implicaciones a la salud ambiental, se pretende contribuir al estudio de la calidad del agua desde una metodología de caracterización de la calidad del agua que incluye el análisis de los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y de metales pesados, además del análisis del Índice de Calidad del Agua.

Con este proyecto se avanza en el estudio de una zona considerada esencial para el desarrollo productivo del estado, puesto que el conocer las condiciones de calidad del agua se pueden incorporar medidas de atención, que permitan un mejor manejo del recurso. Además de resaltar las implicaciones a la salud ambiental, por la falta de atención hacia este valioso recurso.

El río Santiago se encuentra en un grave deterioro ambiental, ocasionado por la gran cantidad de descargas industriales y municipales que este recibe, las aguas que se vierten al río son aguas crudas sin ningún tratamiento en la mayoría de los casos, la contaminación presente en el río afecta no solamente a la vida acuática, sino también a la salud humana y a las poblaciones que están a su alrededor. La falta de atención por parte de las autoridades tanto municipales como estatales hace que el problema en el que se encuentra sumergido el río vaya cada día en aumento.

Estudios como el presente, pretenden incorporar una base de datos sólida y aportar una metodología representativa para estudios posteriores que se realicen a este cuerpo de agua, además de recalcar la importancia que tienen este valioso recurso cuanto al cuidado y preservación de la riqueza natural y de la vida vegetal y animal que anima este ecosistema.

Todo esto nos lleva a darnos cuenta de la importancia que tienen el agua para todos los organismos, en la cual recae la calidad de la misma, que al mismo tiempo va relacionada con la cantidad que disponemos para uso y consumo humano, además de la cantidad con la cual cuentan todas las especies que se encuentran ligadas a los cuerpos de agua, eh aquí la importancia del presente trabajo, con el cual se pretende más que mostrar datos, mostrar el estado en el cual el Río Grande de Santiago se encuentra y cuales son y serán las afectaciones ambientales y de salud pública a las cuales pronto estaremos expuestos en un número más elevado al pasar los años si no se toman medidas correctivas, con respecto a la contaminación presente en este cuerpo de agua.

ANTECEDENTES

Dicha cuenca se localiza en el interior del estado de Jalisco, el cual cuenta con 125 municipios los cuales para efectos de planeación han sido distribuidos en 7 subregiones de planeación 6 de ellas dentro de la jurisdicción del Organismo de Cuenca LSP (Lerma-Santiago-Pacífico). Dentro de esas subregiones se encuentra la región hidrológica Lerma-Chapala-Santiago (No 12), la más importante del Estado de Jalisco, no sólo por representar el 50% de la superficie estatal, sino por incluir un 70% de su población total y agrupar la mayor parte de las actividades industriales.

El Río Grande Santiago se ubica en la porción centro occidente de México y su cuenca comprende un área aproximada de 77,185 km² (CNA, 1990). Nace en la parte noreste del lago de Chápala, cruza parte de los estados de Jalisco, Zacatecas y Nayarit para desembocar en el Pacífico después de recorrer 524 kilómetros.



Figura 1. Cuenca del Río Santiago- Guadalajara, CEA Jalisco; Sistema de Información del Agua.

El número de habitantes asciende a más de cuatro millones tan solo en la porción del estado de Jalisco, asimismo, es aquí donde se registra la mayor concentración de actividades industriales considerándose como una de las regiones más dinámicas del país.

Dicha cuenca inicia su curso en el lago de Chapala, atraviesa buena parte del territorio jalisciense y del vecino estado de Nayarit hasta verter sus aguas en el océano Pacífico.

En ese trayecto se localizan asentamientos humanos tan importantes como la denominada zona conurbada de Guadalajara y los corredores industriales de los municipios de El Salto y Juanacatlán. Además, alrededor de este espacio hidrológico se desarrolla una intensa actividad agropecuaria sobre la que se sustenta, en buena medida, el desarrollo económico de la región.

El grave deterioro ambiental de la cuenca del río Grande de Santiago que para algunos se inicia en los años setentas sufre el consecuente pasmo de las autoridades públicas estatales, la indiferencia de las federales electas en el año 2006 y la impotencia de las autoridades municipales.

El panorama resulta no sólo desolador en cuanto al cuidado y preservación de la riqueza natural y de la vida vegetal y animal que anima este ecosistema, sino ominoso en cuanto se le relaciona con la población que habita en sus márgenes o inmediaciones.

Los resultados de la ineficiente utilización y gestión, así como del dispendio y abuso del conjunto de recursos naturales con los que está dotada la cuenca, están a la vista: actividades económicas en riesgo, poblaciones en vilo; carencia e insuficiencia de instrumentos de intervención pública para la gestión del agua en particular y de los recursos naturales en general.

Al pasar de los años, son varios los estudios realizados al Río Grande de Santiago entre los cuales podemos destacar el compendio de investigaciones realizadas por los trabajos de Maciel, Peña, Guzmán, Peniche y Michel intitulado "Impactos ambientales y opciones de solución en el río Grande de Santiago, Jalisco" establece un diagnóstico inicial a la problemática de estudio.

Desde la perspectiva de la contaminación se presentan los trabajos de Morales del Río, Salcedo Olide y Ramírez Lara “La contaminación del río Zula”; “La calidad del agua en el río Santiago” de Arroyo, Peniche, Hernández y García; “Aguas abajo o Respirar Veneno en Juanacatlán” de Cindy Mc Culligh.

Evidentemente, buena parte de la problemática que se cierne sobre la cuenca del río Santiago se relaciona con temas urbanos como los abordados por Riojas y Alarcón con respecto al crecimiento en la Zona Metropolitana de Guadalajara (“El crecimiento urbano, el uso del espacio y la cuenca: El río Atemajac de cara al siglo XXI”) y por Venegas y Castañeda sobre el abasto de agua, en el texto “Distribución del agua potable en la zona metropolitana de Guadalajara: desigualdad y perturbación ecológica”.

Los textos de Guzmán, Orbe, Maciel Peña y Michel “El impacto de la PH Aguamilpa en las especies pesqueras de la cuenca Baja del río Santiago” y “La fauna acuática del río Santiago: curso medio y bajo antes del llenado de la PH Aguamilpa”, exponen una visión limnológica del problema del deterioro ambiental en la región y su vida acuática.

Existen artículos relacionados con la calidad del agua a lo largo del Río Grande de Santiago, por citar algunos, “El Río Santiago se muere” Por Geog. Juan Gallardo Valdez, Bertille Richard y Marc Henry en donde la información difundida de la problemática que afronta este sistema fluvial se centra en el uso, manejo y aprovechamiento del agua en la cuenca del Lerma o las extracciones del lago de Chápala para abastecer la Zona Conurbada de Guadalajara (ZCG), lo que se traduce en el bajo nivel que actualmente presenta este embalse que constituye el lago más importante del país.

Sin embargo, poco o nada se difunde sobre la crítica situación del río Santiago, el cual se ha convertido en receptor de infinidad de descargas (aguas residuales y todo tipo de efluentes). Otra investigación realizada es “Estudio del Curso Alto del Río Lerma desde una Perspectiva Sustentable” por González A. Z. I., Ávila-Pérez P., Tejeda-Vega S., Zarazúa-Ortega G. y Longoria-Gándara L. C. del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. Este trabajo se enfoca en el curso alto del río Lerma (CARL) en donde aproximadamente 2 500 industrias y casi 30 municipios vierten sus aguas residuales. Debido a la concentración de materia orgánica, el contenido de oxígeno disuelto es muy bajo, lo que ha impactado en la vida acuática.

En el Seminario “Intercambio del conocimiento y experiencias en el manejo del Recurso Hídrico” Realizado en Guanajuato, Gto. Del 11 al 13 de Septiembre de 2002, se presentó el artículo “Estudio de la calidad del agua y los sedimentos del Río Santiago desde su nacimiento hasta la presa de Santa Rosa en el estado de Jalisco” por: Juan Gallardo Valdez, Laure Vidal, Abel Guzmán Carrillo en donde hablan que el cauce del Río Santiago recibe múltiples descargas de tipo industrial (corredor industrial Ocotlán-El Salto), municipal (cabeceras municipales y Zona Metropolitana de Guadalajara) y rural (granjas, explotación agrícola), consideradas como fuentes de una gran variedad de contaminantes (minerales, orgánicos, biológicos). Este deterioro afecta tanto las perspectivas de desarrollo socioeconómico, como la calidad de vida de los jaliscienses, y el equilibrio de los ecosistemas acuáticos y terrestres a lo largo del cauce (Gobierno del Estado de Jalisco, 1993).

Otro estudio realizado y que es de gran importancia es el presentado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) y la Comisión Estatal del Agua de Jalisco (CEA), titulado “Actualización del estudio de calidad del agua del Río Santiago (desde su nacimiento en el lago de Chapala hasta la presa Santa Rosa” CEA-UEAS-IMTA-01/2010. Entregado a la Comisión Estatal del Agua para su revisión en Marzo del 2011, siendo los responsables técnico Jorge Izurieta Dávila y Pilar Saldaña Fabela, con el objetivo de actualizar la calidad del agua que actualmente tienen los ríos Santiago, Verde y Zula, y de sus corrientes tributarias.

Dentro de este estudio se hace referencia a otros estudios realizados enfocados en la calidad del agua del Río Santiago como son:

- AyMA Ingeniería y Consultoría S. A. de C. V. Estudio de Monitoreo y Modelación de la Calidad del Agua de los Ríos Santiago y Verde en el Estado de Jalisco. CEAS-IHSC-ZC-025/2002. Este proyecto presenta información de los años 2002 y 2003.
- AyMA Ingeniería y Consultoría S. A. de C. V. Identificación y Caracterización de Fuentes de Contaminación de las Cuencas Directa del Río Santiago entre los Municipios de Ocotlán y Tonalá, y Directa del Río Zula. Diciembre, 2006. CEAS-IHSC-ZC-039/2006.

- AICISA Agua Innova Consultoría e Ingeniería S. A. de C. V. Identificación, Muestreo y Análisis de las Descargas Contaminantes de los Ríos Santiago y Verde, en el Estado de Jalisco. Agosto, 2004. CEAS-IHSC-ZC-029/2003.
- AyMA Ingeniería y Consultoría S. A. de C. V. Actualización y Caracterización de Fuentes de Contaminación de la Cuenca del Río Verde en el Estado de Jalisco, Diciembre 2006. CEAS-IHSC-ZC-071/2006.
- IMTA. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Informe de Resultados del Monitoreo del “Río Santiago” y Arroyo “El Ahogado” Junio, 2008.
- Subdirección General Técnica. Gerencia de Calidad del Agua. Red Nacional de Monitoreo. CONAGUA. Información del 2 de febrero del 2000 al 27 de noviembre del 2007.

Otro estudio realizado a la cuenca del Río Lerma, Lago de Chapala, Santiago, el cual es enfocado más en la calidad presente en el Lago de Chapala es el realizado por, Celia De La Mora Orozco, J. Germán Flores-Garnica, J. Ariel Ruiz Corral y Javier García Velasco, los cuales pertenecen a los cuerpos de investigación de Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. CIRPAC y al Departamento de Ciencias Ambientales. Instituto del Medio Ambiente y Comunidades Humanas, Universidad de Guadalajara. El cual se titula **“Modelaje Estocástico De La Variabilidad Espacial De La Calidad De Agua En Un Ecosistema Lacustre”** (recibido marzo 2002, aceptado enero 2004) a través del cual se muestra la importancia en la calidad de agua del Lago de Chapala y la importancia que tiene para la Zona Metropolitana de Guadalajara. Además de mostrar la variabilidad espacial presente en el Lago de Chapala.

“Impactos de la contaminación del Río Santiago en el bienestar de los habitantes de El Salto, Jalisco” realizado por Paulina Martínez González y Eduardo Hernández del Centro Universitario de La Ciénega. Universidad de Guadalajara. México, (recibido: 22-05-09/ Aceptado: 23-09-09). En el cual presentan los resultados preliminares de su investigación sobre el bienestar de los habitantes de la cabecera municipal de El Salto, Jalisco. La particularidad de esta población es que se encuentra asentada en los márgenes de uno de los ríos más contaminados del país, el Santiago.

Su propósito fue profundizar en las consecuencias de la interacción desequilibrada con el ambiente, específicamente nos preguntamos acerca de los impactos de la polución en la capacidad física y en el bienestar psicológico y social de las personas que están expuestas cotidianamente a los contaminantes.

Otro estudio realizado es el **“El río Santiago nace moribundo”**, por: Juan Pablo Soler Villamizar, (Miembro de la Red Latinoamericana contra Represas y por los Ríos, sus comunidades y el Agua, REDLAR, (Recorrido de observación cuenca del río, 27 de mayo al 02 de junio de 2010). En cual busca complementar el video en preparación de *Adapting in Scarcity*, en la vía de socializar las experiencias de la gira, difundir las voces de los afectados y mostrar los impactos del modelo de desarrollo que son, generalmente, invisibles, y a su vez, fomentar la articulación de todas las organizaciones de la sociedad civil que trabajan por la defensa y recuperación de la cuenca del río Santiago.

Existen otros estudios realizados, enfocados más al marco Legal y Social, uno de ello es el realizado por la Comisión Estatal de Derechos Humanos Jalisco (CEDHJ), titulado **“Informe especial sobre la contaminación del Río Santiago a su paso por los municipios de El Salto Y Juanacatlán”** Guadalajara, Jalisco, 13 de febrero de 2008, en el cual la CEDHJ, emite medidas cautelares a las autoridades involucradas en la calidad y el saneamiento del Río Santiago, dando recomendaciones de las medidas que se deben tomar de manera inmediata para la remediación de la contaminación del Río Santiago. Todo esto expresado por Felipe de Jesús Álvarez Cibrián, Presidente de la CEDHJ.

“El acceso a la justicia en materia ambiental en el contexto de los derechos económicos, sociales y culturales” (ponencia presentada en Agosto del 2005) por Raquel Gutiérrez Nájera y Pedro León Corrales, (Investigadora de la Universidad de Guadalajara, presidenta del Instituto de Derecho Ambiental A.C. y Pedro León Corrales es litigante en materia agraria con más de 30 años de experiencia. Coordinador del área de litigio del Instituto de Derecho Ambiental A.C.) El aporte de este trabajo consiste en mostrar la manera en cómo se usan los instrumentos tradicionales del Derecho en México, los cuales no están diseñados para la tutela y protección de bienes ambientales colectivos de uso común. En donde hacen referencia de la contaminación presente en el Río Santiago y las consecuencias que esto genera a la población.

3

MARCO TEÓRICO

3.1 Disponibilidad de Agua en el Mundo

La cantidad de agua que hay en la Tierra alcanza los 1,386 millones de km³. Sin embargo, menos del 3% de esta cantidad es agua dulce y de este total apenas el 0.3% es agua superficial.

Distribución del agua en la Tierra				
Situación del agua	Volumen en km³		Porcentaje	
	Agua dulce	Agua salada	de agua dulce	de agua total
Océanos y mares	-	1.338.000.000	-	96,5
Casquetes y glaciares polares	24.064.000	-	68,7	1,74
Agua subterránea salada	-	12.870.000	-	0,94
Agua subterránea dulce	10.530.000	-	30,1	0,76
Glaciares continentales y Permafrost	300.000	-	0,86	0,022
Lagos de agua dulce	91.000	-	0,26	0,007
Lagos de agua salada	-	85.400	-	0,006
Humedad del suelo	16.500	-	0,05	0,001

Atmósfera	12.900	-	0,04	0,001
Embalses	11.470	-	0,03	0,0008
Ríos	2.120	-	0,006	0,0002
Agua biológica	1.120	-	0,003	0,0001
Total agua dulce	35.029.110		100	-
Total agua en la tierra	1.386.000.000		-	100

Figura 2. «[Earth's water distribution](#)». U.S. Geological Survey. Consultado el 15 de mayo de 2012. Source: Gleick, P. H., 1996: Water resources. In Encyclopedia of Climate and Weather, ed. by S. H. Schneider, Oxford University Press, New York, vol. 2, pp.817-823.

La calidad del agua es una característica de vital trascendencia en el consumo humano y uso doméstico, de ahí que su preservación y manejo debe ser una constante preocupación de usuarios y autoridades.

Las aportaciones del ciclo hidrológico no ofrecen garantías a la humanidad, ya que únicamente dos tercios de la población mundial viven en zonas que reciben una cuarta parte de las precipitaciones anuales del mundo. Por ejemplo, un 20% de la escorrentía media mundial por año corresponde a la cuenca amazónica, una vasta región con menos de 15 millones de habitantes, o sea, una minúscula fracción de la población mundial.

De manera similar, el río Congo y sus tributarios representan un 30% de la escorrentía anual del continente africano, pero esa cuenca hidrográfica contiene sólo 10% de la población de África. Más de la mitad de la escorrentía global tiene lugar en Asia y Sudamérica (31% y 25%, respectivamente). Pero si se considera la disponibilidad per cápita, Norteamérica tiene la mayor cantidad de agua dulce disponible, con más de 19000 metros cúbicos per cápita por año. En cambio, la cantidad per cápita es apenas superior a 4700 metros cúbicos (incluido el Medio Oriente) en Asia.

En África y Medio Oriente, regiones del mundo que enfrentan escasez absoluta de agua o estacional severa, se caracterizan por su elevada tasa de crecimiento poblacional. En el África Subsahariana la población está creciendo a razón de 2.6% por año; en el Medio Oriente y África del Norte, a razón de 2.2%. Estas tasas de crecimiento demográfico tienen serias consecuencias para el suministro de agua per cápita.

A medida que crece la población aumenta el número de países que confrontan condiciones de escasez de agua. Un país experimenta tensión hídrica cuando el suministro anual de agua desciende a menos de 1,700 metros cúbicos por persona. Cuando desciende a niveles de 1,700 a 1,000 metros cúbicos por persona, pueden preverse situaciones limitadas de agua y cuando los suministros anuales de agua bajan a menos de 1,000 metros cúbicos por persona, el país enfrenta escasez de agua; situación que amenaza la producción de alimentos, obstaculiza el desarrollo económico y daña a los ecosistemas.

Se considera que la escasez de agua se presenta cuando la demanda excede al abastecimiento, en donde influye el crecimiento de la población o aquellas prácticas que demandan cantidades excesivas de agua como lo es la agricultura. Actualmente el 70% del total de agua fresca en el mundo se usa para producir alimentos y fibras

Actualmente existen más de 28 países que se pueden considerar con problemas de escasez de agua, pues cuentan con una dotación menor a los 1,000 m³ por habitante al año, cifra considerada como crítica en cuanto a oferta del recurso se refiere; México se encuentra en un nivel medio con una disponibilidad de agua per cápita de 5,000 m³ por año.

La demanda de agua continúa creciendo como consecuencia del incremento de la población: actualmente, la dotación per cápita a nivel mundial es 33% inferior a la que existía en 1970 y a partir de entonces cerca de 1,800 millones de personas se han sumado a la población mundial.

Del total de agua dulce utilizada en el mundo, se estima que el 65% se destina para riego agrícola, el 25% para la industria y el 10% para consumo doméstico, comercial y otros servicios urbanos municipales, mientras que en México aproximadamente el 83% del volumen total de agua se destina al riego, 12% al abastecimiento de agua para uso doméstico, 3% al uso industrial y el 2% restante a la acuicultura.

La competencia por el suministro de agua dulce produce problemas sociales, económicos y políticos. Las cuencas fluviales y otras masas de agua no respetan las fronteras nacionales. Así, por ejemplo, la utilización del agua por un país situado aguas arriba suele ignorar el suministro disponible para los países situados aguas abajo. En los albores del siglo XXI se vislumbra el peligro creciente de conflictos armados por el acceso a suministros de agua dulce.

A continuación se mencionan algunos ejemplos de cómo la escasez de agua está afectando a los países alrededor del mundo, así como los conflictos que se pueden generar en: India, China, países del Medio Oriente y África Subsahariana.

El consumo se ha triplicado desde mediados del siglo XX; los países ricos consumen, por término medio 12 veces más agua que los países pobres. La ONU sostiene que las grandes ciudades europeas pierden hasta el 80% del agua debido a fugas en sus cañerías. En Yakarta, Indonesia, se gastan más de 50 millones de dólares cada año en hervir agua para uso doméstico. El 78% de los ríos en China contienen agua no potable, según el propio gobierno.

De los países en vías de desarrollo, más del 90% de las aguas residuales van directamente a los lagos, ríos y costas, sin depuración previa. De las 3,119 ciudades que tiene la India, el segundo país más poblado de la Tierra, tan sólo ocho disponen actualmente de un sistema completo de tratamiento y depuración de aguas residuales.

El suministro de agua dulce es cada vez más limitado para las diversas comunidades, en millones de ellas nunca llegará la red de agua potable, la insuficiencia de este recurso natural afectará el desarrollo económico de muchos países en las próximas décadas.

En todo el mundo se hace un mal uso de enormes cantidades de agua con subvenciones agrícolas inapropiadas, sistemas de riego ineficientes, fijación inadecuada de precios, ordenación ineficiente de las cuencas hidrográficas y otras prácticas no adecuadas.

3.2 La crisis del Agua

Hacia el año 2025, aproximadamente 48 países, más de 2800 millones de habitantes, se verán afectados por la escasez de agua. Otros nueve países, inclusive China y Pakistán, estarán próximos a sufrir la falta de agua.

Más allá del impacto del crecimiento mismo de la población, el consumo de agua dulce ha estado aumentando en respuesta al desarrollo industrial y agrícola, por lo que la demanda creciente de la población se ha triplicado de esa manera la extracción de agua se ha visto sobreexplotada.

Además, el suministro de agua dulce del que dispone la humanidad se está reduciendo a raíz de una constante contaminación de los recursos hídricos; es preocupante y alarmante observar la descarga de aguas residuales a cuerpos de agua superficiales y la infiltración de agroquímicos a acuíferos. (Anaya, 2001).

Conforme se incrementa la población, aumenta la demanda de agua dulce para la producción de alimentos, usos industriales y principalmente para usos domésticos; además, para generación de energía eléctrica, acuicultura, pesca, recreación, turismo, navegación, entre otros. La disponibilidad de agua dulce impone límites al número de personas que puede habitar una zona e influye en el nivel de vida. Si los requerimientos son constantemente superiores a los suministros disponibles, en algún momento la sobreexplotación de los recursos hídricos superficiales y subterráneos provocará la escasez crónica de agua. El agua ha sido, es y seguirá siendo uno de los recursos naturales renovables más importantes para el desarrollo y supervivencia de la humanidad, su conservación dependerá del manejo que se le dé a la misma.

La disminución de agua dulce en adecuada calidad y cantidad está surgiendo como uno de los problemas más críticos que enfrenta la humanidad, se está extrayendo agua de ríos, lagos y acuíferos más rápidamente de lo que demoran en renovarse los cuerpos de agua. Otro gran problema es la contaminación que afecta significativamente la calidad del agua. El agua de lluvia, componente esencial del ciclo hidrológico representa un elemento que debería aprovecharse integralmente, debido a que ha pasado por un proceso natural de purificación.

3.3 Disponibilidad del agua en América Latina y el Caribe

La región de América Latina y el Caribe es muy rica en recursos hídricos. Los ríos Amazonas, Orinoco, Sao Francisco, Paraná y Magdalena transportan más del 30 % del agua superficial continental del mundo. Con el 12% del área terrestre y 6% de la población, la región recibe alrededor del 27% de la escorrentía total, la mayor parte concentrada en las cuencas del Amazonas. Sin embargo, el abastecimiento de recursos hídricos de la región presenta una importante variabilidad entre sub-regiones y localidades, así como en términos estacionales.

Dos terceras partes de la región se clasifican como áridas o semiáridas, las cuales incluyen grandes partes del centro y norte de México, el nordeste de Brasil, Argentina, Chile, Bolivia y Perú. La Isla de Barbados, en el Caribe, está entre los países más áridos en el mundo, y los estados isleños de esta sub-región tienen una dotación de recursos hídricos por habitante considerablemente inferior a los de otros grupos isleños en el mundo (Gallardo, 2002).

La población actual en América Latina y el Caribe es de aproximadamente 550 millones de habitantes; en general, la región presenta buenos niveles de servicios hídricos; sin embargo, el abastecimiento de agua cubre aproximadamente al 85% de la población, mientras que el saneamiento del agua cubre el 78%; así, el 87% de la población urbana tiene buen saneamiento del agua, pero solamente el 49% de la población rural lo tiene. (Anaya, 2001).

La contaminación con fertilizantes y plaguicidas, la deforestación, las aguas negras, la construcción de represas y sistemas de irrigación pueden afectar severamente la morfología de las cuencas hidrográficas, la hidráulica de los sistemas fluviales, la calidad del agua y los recursos costeros en América Latina y el Caribe. La agricultura contribuye a la contaminación hídrica, a la vez víctima de este problema. Contribuye a él en la medida en que libera contaminantes y sedimentos en el agua superficial o subterránea; las prácticas de cultivo inapropiadas llevan a la pérdida de suelos, contribuyen a la salinización y falta de drenaje en las tierras irrigadas.

En el caso de México el abastecimiento de agua abarca el 94% de la población urbana y solamente al 63% de la población rural; en relación al saneamiento, éste llega al 87% de la población urbana y solamente al 32% de la población rural. Otro caso interesante es el de Brasil, con una población de 170 millones de habitantes donde el abastecimiento de agua llega al 95% de la población urbana únicamente al 54% de la población rural; en el caso de saneamiento, éste llega al 85% de la población urbana y solamente al 40% de la población rural (CONAPO, 2005).

Lo que es preocupante se refiere a las zonas rurales en donde la falta de agua y de saneamiento provoca enfermedades gastrointestinales y decesos en niños y en adultos. Durante la última década, los problemas ambientales relacionados con el agua han aumentado tanto en zonas urbanas como rurales.

Se siguen construyendo viviendas en áreas sensibles y con altas pendientes en zonas con acuíferos. Los recursos de agua dulce se ven dañados al mismo tiempo que aumenta la demanda por el agua. Por otro lado, el uso de agua contaminada para beber y bañarse, propaga las enfermedades infecciosas como el cólera, tifoidea y gastroenteritis (ONU, 2006; OPS/OMS, 2005). México el 16.5% de las poblaciones viven sin agua potable para consumo doméstico.

3.4 Disponibilidad de agua en México

La extensión territorial de los Estados Unidos Mexicanos comprende 1.964 millones de km², de los cuales 1.959 millones de km² corresponden a la superficie continental y el resto a las áreas insulares.

Dos terceras partes del territorio se consideran áridas o semiáridas, con precipitaciones anuales menores a los 500 mm, mientras que el sureste es húmedo con precipitaciones promedio que superan los 2,000 mm por año. En la mayor parte del territorio la lluvia es más intensa en verano, principalmente la de tipo torrencial.

México está conformado por 31 estados y un Distrito Federal, constituidos por 2,440 municipios y 16 delegaciones respectivamente. Anualmente México recibe del orden de 1,489 miles de millones de metros cúbicos de agua en forma de precipitación.

De esta agua, se estima que el 73.1% se evapotranspira y regresa a la atmósfera, el 22.1% escurre por los ríos o arroyos, y el 4.8% restante se infiltra al subsuelo de forma natural y recarga los acuíferos. Tomando en cuenta las exportaciones e importaciones de agua con los países vecinos, así como la recarga incidental anualmente el país cuenta con 460 mil millones de metros cúbicos de agua dulce renovable.

La calidad ambiental tiene que ver en mucho con la escasez, con la demanda, con el uso del agua, pero también tiene que ver de manera muy importante con las características propias de nuestro país, éstas son únicas en esa variabilidad fisiográfica y climática que tenemos y todo esto tiene que ver con la disponibilidad real más que con la disponibilidad teórica de agua en el país. Como parte de esta fisiografía o de esa climatología tenemos como varía la precipitación pluvial en el país.

El promedio de escurrimiento de 772 mm, pero dicha precipitación se presenta en México en sólo cinco meses aproximadamente y esto se refleja sobre la cantidad que escurre por los cuerpos de agua, la cantidad que se infiltra, y evidentemente sobre la calidad del recurso.

Siguiendo con esto, el 67% de la precipitación se presenta entre julio y septiembre, lo que dificulta enormemente su aprovechamiento y de acuerdo con la precipitación anual promedio que va desde 1941 al 2000 observamos que sólo en la zona del sureste tenemos alta precipitación y en la zona noroeste del país tenemos escasas precipitaciones que inciden sobre la disponibilidad del recurso.

Esta problemática asociada a la calidad del agua la vemos también en términos de disponibilidad. Junto con los datos de una media mundial de 1700 m³ por habitante por año observamos que en México se presenta una variabilidad del orden de 5000 m³, aparentemente México está muy bien pertrechado por la parte de agua, sin embargo cuando se ve la influencia sobre estas cuestiones de la disponibilidad encontramos que en la zona del noroeste tenemos disponibilidades de 100 m³ por habitante por año y en la zona del sureste tenemos 17,000 m³ por habitante por año. En otras palabras, el promedio de 5000 m³ por habitante por año, no se toma en cuenta todas estas variabilidades de la problemática asociada.

En términos de los usos del agua en el país, anualmente se utilizan 72 mil millones de m³. De éstos el 78% lo usa la agricultura, el uso público urbano, el uso pecuario y la industria consumen el otro 28 %. Del total del agua disponible, las aguas subterráneas abastecen casi un tercio o un poco más. El 70% de la población se abastece de aguas subterráneas, un tercio de la superficie total regada está hecha con ellas y la mitad de la demanda de la industria se abastece con estas, por esta razón se consideran estratégicas y son tan cuidadas en nuestro país.

En términos de las aguas residuales, en México se generan alrededor de 420 m³ cada segundo, de estas las municipales generan 250 m³ /s y las no municipales generan el resto (170 m³/s). Los giros industriales que generan mayor cantidad en volumen son la acuicultura, la industria del azúcar, la industria del petróleo, la industria química y otros servicios, pero cuando volteamos a ver la cantidad de carga orgánica que aportan los giros industriales, la acuicultura prácticamente no aporta contaminación y entonces la industria del azúcar, petróleo y demás son las mayores aportadoras. O sea que no hay una correlación entre cantidad y calidad. Pero ¿qué producen?, desde luego una degradación intensa en la calidad del agua, impactos ecológicos diversos, pérdida del uso natural y abatimiento en la disponibilidad por afectación de la calidad.

Siguiendo con la problemática asociada a las aguas residuales, se tiene una baja capacidad de tratamiento, si bien hay esfuerzos enormes por incrementar estos niveles de tratamiento (24% en los usos municipales, 13% en los no municipales, básicamente la industria) ,el marco legal y normativo tiene ciertas limitaciones, la información que se dispone en muchos de estos casos es escasa porque la propia industria no quiere proporcionar los datos de lo que hace; el reúso es una de las cuestiones que está en bajo nivel y es una de las cosas que habrá que trabajar muchísimo, y las acciones de saneamiento son muchas veces frenadas por cuestiones económicas, políticas y sociales adversas a estos proyectos. Esto incide directamente en la degradación sobre la calidad, pérdida del uso consuntivo y el impacto ambiental que se tiene por este concepto.

En cuanto a la contaminación del agua superficial aquí tenemos que la detección se da por una red nacional de monitoreo que opera la CNA desde hace más de treinta años, se hace hoy día en más de 215 cuerpos de agua, y podemos observar el comportamiento de la calidad del agua, la calidad del agua aceptable para cualquier tipo de uso es la que el 5% lo cual representa una pequeña cantidad de cuerpos de agua, la aceptable es del 22%, el agua poco contaminada representa un 49%, la contaminada 15%, la altamente contaminada 7% e incluso se tiene presencia de tóxicos en 2% (ese análisis se hace para cuerpos de agua donde sabemos que hay ese problema) no es una cosa generalizada en el país afortunadamente. A pesar o quizás por esta influencia estratégica del agua subterránea tenemos una gran cantidad de acuíferos sobre-explotados que obviamente inciden en otras problemáticas: hay un cierto agotamiento de los manantiales y humedales, afectación a lagos, reducción de los caudales de los ríos; hay variaciones en la afectación de la vegetación nativa, afectación a los ecosistemas, en las zonas costeras se provoca la intrusión salina, migración de agua fósil más mineralizada y contaminación difusa de las zonas urbanas y agrícolas, todo esto como reflejo de parte de esa sobreexplotación de los acuíferos.

En este sentido tenemos dos tipos de problemas asociados a la calidad del agua de las aguas subterráneas: a) por un lado están algunas cuestiones de contaminación natural como por ejemplo la disolución de sales arsenicales en la zona de la Comarca Lagunera y b) la presencia de otro tipo de sales en algunas zonas del país donde hay presencia de flúor, nitratos o de sólidos disueltos totales.

3.5 Disponibilidad de agua en Jalisco

Las bajas eficiencias en el uso del agua y el crecimiento poblacional de algunas zonas, ha ocasionado que el agua de los ríos y lagos sean insuficientes, que algunos acuíferos subterráneos estén sobreexplotados y que la calidad original del agua se haya deteriorado. Además de la creciente necesidad por el agua, que estrechará el suministro del servicio en algunos sitios y que limitaría el bienestar social y el desarrollo económico.

De acuerdo con los estudios de disponibilidad más recientes, las 21 cuencas de las que forma parte el territorio de Jalisco, generan un escurrimiento virgen medio anual de 15 376 hm³. Con una distribución irregular entre las diferentes regiones; mientras en el Medio Lerma el escurrimiento mencionado apenas es de 397 hm³ (3%), en la Costa de Jalisco alcanza 6 788 hm³ (44%). En la Subregión Bajo Lerma este escurrimiento asciende a 1 248 hm³; en la Subregión Alto Santiago de 1 958 hm³, mientras que en la Subregión Bajo Santiago se tienen 984 hm³ y en Costa de Michoacán 2 276 hm³.

En la Subregión Alto Santiago se importan 190 hm³ anuales procedentes de la Subregión del Bajo Lerma, específicamente del Lago de Chapala, para el abastecimiento de agua potable a la Zona Conurbada de Guadalajara (ZCG), aunque el volumen concesionado es de 237 hm³/año. Asimismo, se estima que la recarga media anual de los acuíferos que subyacen su territorio es 2 170 hm³. Como parte fundamental del aprovechamiento y control de las aguas superficiales, en Jalisco existen siete presas con capacidad útil superior a 50 hm³, y aproximadamente 220 almacenamientos más, que en conjunto tienen una capacidad útil de sólo 689 hm³, para un total estatal de 9 617 hm³. El mayor embalse lo constituye el Lago de Chapala, con una capacidad total cercana a 8 000 hm³. El volumen concesionado a diciembre de 2007, sin incluir la generación de energía hidroeléctrica, era de 2 563.5 hectómetros cúbicos para usos consuntivos.

Destinando el 56% al uso agrícola, 27% al público urbano, 13% a otros usos y, el 4% al uso industrial. Por lo que se refiere a la generación de energía hidroeléctrica, el volumen utilizado a diciembre del año 2007 fue de 8 811.5 hectómetros cúbicos. En cuanto a las eficiencias en el aprovechamiento del agua, aún son bajas, ya que en el sector agrícola fluctúan entre el 25 y 50%, en tanto que en las ciudades su valor oscila entre el 30 y 70%. Como parte integral del buen uso y aprovechamiento el recurso, se debe crear conciencia entre la población sobre la importancia, valor y urgencia del uso eficiente, la conservación de su calidad y pago del agua.

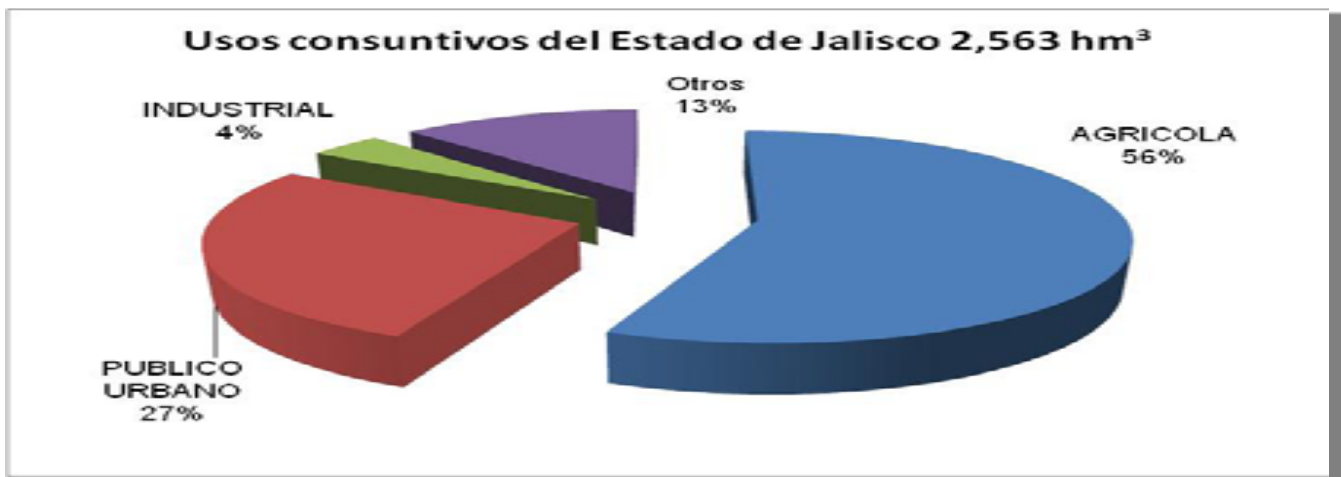


Figura 3. Usos consuntivos del agua en el estado de Jalisco, 2007. Fuente: CONAGUA-REPDA

3.6 Contaminación de Ríos

La situación de los ríos en el mundo simboliza la crisis del agua dulce que desde hace muchos años aqueja a nuestro planeta. Un documento de la WWF muestra que los principales proveedores de agua del mundo están “muriendo” como resultado del cambio climático, la contaminación y las represas. Más de la mitad de los ríos del mundo están contaminados o sus cauces bajos se secan gran parte del año debido a la sobreutilización. De los 500 ríos principales del mundo, la mitad de ellos están altamente contaminados. Toda el agua pura procede de la lluvia, a veces antes de llegar al suelo recibe su primera carga contaminante, que se disuelven sustancias, como óxidos de azufre y de nitrógeno que la convierten en lluvia ácida. Una vez en el suelo, el agua discurre por la superficie e infiltra hacia capas subterráneas.

Es el agua de escorrentía, que en las capas y las granjas se carga de pesticidas del exceso de nutrientes y en las ciudades arrastra productos como aceite de agua, metales pesados y nafta. La contaminación puntual es la que procede de fuentes localizadas es controlable mediante plantas depuradoras. Pero ninguna medida de control sería efectiva si no va acompañada de disposiciones destinadas a reducir los residuos y reciclar todo lo que se puede, por que las aguas de infiltración que atraviesan los vertederos urbanos e industriales contaminan los acuíferos que suministran agua potable a millones de personas.

Los principales contaminantes de los lagos y ríos son los siguientes:

- Aguas residuales y otros residuos que demandan oxígeno (en su mayor parte materia orgánica, cuya descomposición produce la desoxigenación del agua).
- Agentes infecciosos (cólera, disentería) causan trastornos gastrointestinales.
- Nutrientes vegetales que pueden estimular al crecimiento de las plantas acuáticas. Éstas, a su vez, interfieren con los usos a los que se destina el agua y, al descomponerse, agotan el oxígeno disuelto y producen olores desagradables.
- Productos químicos, incluyendo los pesticidas, diversos productos industriales, las sustancias tensioactivas contenidas en los detergentes, jabones y los productos de la descomposición de otros compuestos orgánicos.
- Minerales inorgánicos y compuestos químicos.
- Sedimentos formados por partículas del suelo y minerales arrastrados por las tormentas y escorrentías desde las tierras de cultivo, los suelos sin protección, las explotaciones mineras, las carreteras y los derribos urbanos.
- Sustancias radiactivas procedentes de los residuos producidos por la minería y el refinado del urano y el torio, las centrales nucleares y el uso industrial, médico y científico de materiales radiactivos.
- El calor también puede ser considerado un contaminante cuando el vertido de agua empleada para la refrigeración de las fábricas y las centrales energéticas hace subir la temperatura del agua de la que se abastecen.
- El mercurio, un metal líquido muy tóxico, se acumula en el fitoplancton. En él las concentraciones son mil veces mayores que en el agua. Los peces pequeños lo concentran aún más, y en el pez grande puede llegar a límites peligrosos para la salud humana.

- Contaminación cloacal: una contaminación habitual es la que se produce por bacterias fecales. Eso se debe a que muchas ciudades vuelcan sus líquidos cloacales sin purificar, o con purificación deficiente, a los ríos y al mar. Algunas ciudades no tienen plantas depuradoras; otras las tienen demasiado pequeñas o fuera de funcionamiento. Algunas veces aparecen restos cloacales en las playas. Este problema puede surgir por fallas en los sistemas de bombeo.
- Plástico: son materiales estables, útiles y baratos. Habitualmente se usan una vez y se tiran. Son estables o se degradan muy lentamente. Se calcula que muchos de los plásticos pueden durar cientos de años. Son trampas mortales para la fauna marina. Al tragar el plástico, muchos animales ya no pueden bucear normalmente y se mueren de hambre.
- Las represas: El parásito transmisor de la esquistosomiasis se puede desarrollar en la vegetación de aguas calmas. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), existen seiscientos millones de personas que corren peligro de contraer el mal de las represas o esquistosomiasis. Es la gente de setenta y cuatro países tropicales y subtropicales de Asia, África, América latina y el Caribe que vive en malas condiciones sanitarias. En la cuenca del río Paraná, en la década del cincuenta, la llamada era de construcción de las represas produjo un gran aumento de esta enfermedad. Los portadores del parásito trabajaron en la construcción de las mismas.

Todo esto nos lleva a darnos cuenta de la importancia que tienen el agua para todos los organismos, en la cual recae la calidad de la misma, que al mismo tiempo va relacionada con la cantidad que disponemos para uso y consumo humano, además de la cantidad con la cual cuentan todas las especies que se encuentran ligadas a los cuerpos de agua, eh aquí la importancia del presente trabajo, con el cual se pretende más que mostrar datos, mostrar el estado en el cual el Río Grande de Santiago se encuentra y cuales son y serán las afectaciones ambientales y de salud pública a las cuales pronto estaremos expuestos en un número más elevado al pasar los años si no se toman medidas correctivas, con respecto a la contaminación presente en este cuerpo de agua.

3.7 La Calidad del Agua

En tiempos actuales la contaminación de los cuerpos acuáticos es un problema digno de tomarse en cuenta debido a que el uso intensivo, la degradación creciente y los problemas de salud como el deterioro de los acuíferos, la disminución de fuentes de abastecimiento de fuentes de agua potable está en función de su utilización y está definida por un determinado número de parámetros cualitativos y cuantitativos (Martínez Rodríguez, 2002).

La calidad del agua no es una característica absoluta, sino que es más un atributo definido socialmente en función del uso que se le piense dar al líquido (WRI, 2000); cada uso requiere un determinado estándar de calidad. Por esta razón, para evaluar la calidad del agua es necesario considerar el contexto del uso probable que tendrá. Las estimaciones de disponibilidad del agua no reflejan por completo el problema de las necesidades de este recurso, ya que en la mayor parte del mundo la calidad del agua está lejos de ser la adecuada. De acuerdo con la organización mundial de la salud (OMS), 1 100 millones de personas no tienen acceso a una fuente de agua potable mejorada (WHO, 2005), particularmente en áreas rurales donde no existe posibilidad de que el agua tenga un tratamiento previo que mejore su calidad y posibilite su uso general.

Según la OMS (2000), el agua está contaminada cuando su composición se haya alterada de modo que no reúna las condiciones necesarias para el uso al que se la hubiera destinado, en su estado natural. Una definición de la **contaminación** del agua dice que el medio acuático está contaminado cuando la composición o el estado del agua están modificados, directa o indirectamente, por el hombre (Ministerio de Medio ambiente, 2000) o por eventos de la naturaleza (Hutchinson, 1957).

Cuando un río o un lago reciben descargas de aguas residuales o agrícolas, con altos contenidos de nutrientes, puede producirse una fertilización excesiva de las aguas. Ello provoca el envejecimiento prematuro del cuerpo receptor, con la consecuente pérdida de oxígeno disuelto y proliferación de malezas acuáticas (Wetzel, 1981).

El ambiente se daña seriamente debido a la contaminación del agua, muchos organismos que viven y se reproducen en ella son afectados por la contaminación de la misma, lo cual paralelamente lastiman el ciclo vital de otras especies animales y vegetales acuáticas.

Por otro lado es importante señalar que la presencia o ausencia de algunos microorganismos en los sistemas acuáticos son indicadores de calidad o ausencia de la misma, esto es conocido como biomonitoreo (Margalef, 1986).

La calidad del agua interesa desde diversos puntos de vista:

- Utilización fuera del lugar donde se encuentra (agua potable, usos domésticos, urbanos e industriales, riego)
- Utilización del curso o masa de agua (actividades recreativas: baño, remo, pesca, etc.)
- Como medio acuático, que acoge especies animales y vegetales

Por lo tanto, hablar de **calidad del agua** siempre conlleva a integrar el factor de su utilización para una correcta ponderación de dicha calidad, dado que sus características de composición pueden indicar que son aptas para algunos usos determinados y excluyentes para otros, de modo que se presta menos fácilmente a todas o algunas de las utilidades para las que podría servir en su estado natural (Ministerio de Medio ambiente, 2000).

En la determinación de la disponibilidad del agua en un país, no solamente es necesario saber la cantidad de agua que está a nuestro alcance en las diferentes fases del ciclo hidrológico, también es muy importante conocerse las características físico - químicas y bacteriológicas del agua para estar en condiciones de darle un uso en las diferentes actividades productivas y como agua potable en el abastecimiento de poblaciones (Margalef, 1991).

Los criterios y normas de calidad del agua pueden definirse como los niveles o concentraciones que deben respetarse para un uso determinado. Son muchos los usos que pueden darse al agua, pero aquellos que involucran criterios de calidad del agua son principalmente los siguientes: 1) abastecimiento para sistemas de agua potable e industrias alimenticias, 2) usos recreativos, 3) conservación de la flora y fauna, 4) uso agrícola e industrial, 5) acuicultura y riego.

Con el fin de evaluar la calidad o grado de contaminación del agua se han desarrollado diversos índices de calidad tanto generales como de uso específico. En México se empleó por varios años el Índice de Calidad del Agua (ICA), que agrupa de manera ponderada 18 parámetros fisicoquímicos (entre los que se encuentran la demanda bioquímica de oxígeno, oxígeno disuelto, coliformes, fosfatos, pH y sólidos suspendidos) y denota el deterioro de la calidad del líquido (León, 1991). El índice considera valores en una escala de 0 a 100, donde a mayor valor, mejor calidad.

3.8 Principales indicadores de calidad del agua

La manera de estimar la calidad del agua consiste en la definición de índices o ratios de las medidas de ciertos parámetros físicos, químicos o biológicos en la situación real y en otra situación que se considere admisible o deseable y que viene definida por ciertos estándares o criterios.

Los parámetros físicos son: la transparencia, turbidez, color, olor, sabor, temperatura, conductividad eléctrica y pH.

Turbiedad: Es la apariencia “nebulosa” del agua causada por materia suspendida y coloidal. Técnicamente, la turbiedad es una propiedad óptica del agua, la cual se basa en la cantidad de luz reflejada por las partículas suspendidas. (EPA, 1999). Las fuentes que le pueden dar esta apariencia al agua son: Naturales: arena, limo, arcilla, algas, plancton, taninos, bacterias y virus. Humanas: desechos industriales, drenaje sanitario, asbesto, plomo, etc.

Color: Lo causa el material orgánico disuelto de vegetación en descomposición y cierta materia inorgánica en el agua (Martínez-Rodríguez, 2002). Las aguas contaminadas pueden tener muy diversos colores pero, en general, no se pueden establecer relaciones claras entre el color y el tipo de contaminación (Echarri, 1998).

Olor y Sabor: Los compuestos químicos presentes en el agua pueden darle olores y sabores muy fuertes aunque estén en pequeñas concentraciones, algunos de estos compuestos: fenoles, diversos hidrocarburos, cloro, materias orgánicas en descomposición o esencias liberadas por diferentes algas u hongos.

Las sales o los minerales dan sabores salados o metálicos, en ocasiones sin ningún olor (Echarri, 1998).

Temperatura: La temperatura óptima del agua para beber está entre los 10 y los 15°C (Echarri, 1998; Martínez-Rodríguez, 2002), es consistentemente fría y no tiene variaciones de temperatura de más de unos pocos grados. El aumento de temperatura disminuye la solubilidad de gases (como el oxígeno) y aumenta, en general, la de las sales. Aumenta la velocidad de las reacciones del metabolismo, acelerando la putrefacción (Echarri, 1998). La temperatura también afecta la percepción sensitiva de sabores y olores (Martínez-Rodríguez, 2002). Además determina la función metabólica, el ciclo de reproducción y su duración, y por tanto el ciclo vital de los organismos acuáticos. (John E. Etgen-Keri Garver, 2005- IMTA)

Conductividad: También conocida como “conductancia específica”, es una medida de la capacidad que el agua tiene para para conducir la electricidad. (John E. Etgen-Keri Garver, 2005- IMTA). El agua pura tiene una conductividad eléctrica muy baja. El agua natural tiene iones en disolución y su conductividad es mayor y proporcional a la cantidad y características de esos electrolitos. Por esto se usan los valores de conductividad como índice aproximado de concentración de solutos. Como la temperatura modifica la conductividad las medidas se deben hacer a 20°C (Echarri, 1998).

Los **parámetros químicos** son los más importantes para definir la calidad del agua, existe una extensa lista de ellos siendo posible agruparles en:

Sustancias presentes naturalmente y sustancias vertidas artificialmente. Como no hay un límite bien marcado entre unas y otras, ya que muchas pueden proceder de ambas fuentes (nitrógeno, fenoles, etc.), las estimaciones deben hacerse en función de diferencias de concentración y no de los valores absolutos.

Sustancias y caracteres estables, inestables, ligeramente estables. Esta agrupación se usa cuando hay que decidir los análisis u observaciones a realizar in situ en un laboratorio móvil o en laboratorio permanente.

Sustancias presentes habitualmente en cantidades grandes y sustancias presentes en cantidades pequeñas. Las primeras deben ser analizadas con frecuencia y corresponden a los iones más importantes, el oxígeno disuelto, etc., algunos contaminantes, como detergentes y los derivados del petróleo).

Los **parámetros biológicos** incluyen diversas especies microbiológicas patógenas al hombre así como virus y diversos invertebrados. Últimamente se utilizan los llamados “índices bióticos”, que se construyen en función de la presencia de ciertas especies (generalmente taxones), y se comportan como indicadores de los niveles de contaminación, así como de las variaciones de la estructura de la comunidad biótica ocasionadas por la alteración del medio acuático (Ministerio de Medio ambiente, 2000).

La selección de los parámetros se puede determinar en función de los usos del agua, siendo los más comunes el uso doméstico, industrial, riego, recreo y vida acuática, variando el número y tipo de parámetros ya que las exigencias de calidad son diferentes.

Los estándares constituyen un punto de referencia para determinar la calidad del agua, y sufren de frecuentes revisiones a medida que se avanza en el estudio de las consecuencias de la contaminación y son, en todo caso, independientes del propio medio que se pretende estudiar, lo que lleva a pensar en la conveniencia de establecer estándares diferentes para contextos territoriales distintos. Existen diferentes estándares de calidad que cada país, región o comunidad adopta según sus criterios de seguridad establecidos.

En México las especificaciones de contaminantes y de calidad se señalan en los “Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001-89” y la “NOM-127-SSA1-1994 “Salud Ambiental, Agua Para Uso y Consumo Humano-Límites Permisibles de Calidad y Tratamiento a que debe Someterse el Agua para su Potabilización”, los cuales presentan gran similitud con los principales lineamientos que en esta materia existen en diversos países tanto de América como de Europa.

3.9 Principales grupos de contaminantes en el agua

El agua recibe diversos agentes contaminantes, en función de múltiples fuentes generadoras, tanto de actividades antrópicas como naturales que se pueden presentar en la cuenca. En las tablas 1 a 5 se enumeran algunos de los principales contaminantes, su principal origen y efectos (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, 2000), así mismo, se describen algunos de los principales procesos de contaminación y sus efectos

Tabla 1. Químicos inorgánicos contaminantes del agua

Contaminante	MNMC ¹ (mg/L) ⁴	NMC ² o TT ³ (mg/L) ⁴	Posibles efectos sobre la salud por exposición que supere el NMC
Arsénico	ninguno ⁵	0.05	Lesiones en la piel; trastornos circulatorios; alto riesgo de cáncer.
Cadmio	0.005	0.005	Lesiones renales.
Cromo (total)	0.1	0.1	Dermatitis alérgica.
Cobre	1.3	Nivel de acción=1.3; TT ⁶	Exposición a corto plazo: molestias gastrointestinales. Exposición a largo plazo: lesiones hepáticas o renales. Aquellos con enfermedad de Wilson deben consultar a su médico si la cantidad de cobre en el agua superara el nivel de acción.
Cianuro (como cianuro libre)	0.2	0.2	Lesiones en sistema nervioso o problemas de tiroides
Flúor	4.0	4.0	Enfermedades óseas (dolor y fragilidad ósea) Los niños podrían sufrir de dientes manchados
Plomo	Cero	Nivel de acción=0.015; TT ⁶	Bebés y niños: retardo en desarrollo físico o mental; los niños podrían sufrir leve déficit de atención y de capacidad de aprendizaje. Adultos: trastornos renales; hipertensión
Mercurio (Inorgánico)	0.002	0.002	Lesiones renales
Nitrato (medido como nitrógeno)	10	10	Los bebés de menos de seis meses que tomen agua que contenga mayor concentración de nitratos que el NMC, podrían enfermarse gravemente; si no se los tratara, podrían morir. Entre los síntomas se incluye dificultad respiratoria y síndrome de bebé cianótico (azul).
Selenio	0.05	0.05	Caída del cabello o de las uñas; adormecimiento de dedos de manos y pies; problemas circulatorios.

Fuente: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, 2000.

Tabla 2. Químicos orgánicos contaminantes del agua

Contaminante	MNMC ¹ (mg/L) ⁴	NMC ² o TT ³ (mg/L) ⁴	Posibles efectos sobre la salud por exposición que supere el NMC
Benceno	cero	0.005	Anemia; trombocitopenia; alto riesgo de cáncer.
Tetracloruro de carbono	cero	0.005	Trastornos hepáticos; alto riesgo de cáncer.

Fuente: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, 2000.

Tabla 3. Microorganismos contaminantes del agua

Contaminante	MNMC ¹ (mg/L) ⁴	NMC ² o TT ³ (mg/L) ⁴	Posibles efectos sobre la salud por exposición que supere el NMC
Coliformes totales (incluye coliformes fecales y <i>E. coli</i>)	cero	5.0% ¹⁰	Por sí mismos, los Coliformes no constituyen una amenaza para la salud; su determinación se usa para indicar si pudiera haber presentes otras bacterias posiblemente nocivas.

Fuente: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, 2000.

Tabla 4. Contaminantes, procesos y fuentes que afectan la calidad del agua

Contaminantes y procesos	Descripción	Fuentes
Contaminantes orgánicos	Se descomponen en el agua y disminuyen el oxígeno disuelto, induciendo la eutrofización.	Fuentes industriales, domésticas, asentamientos humanos.
Nutrientes	Incluyen principalmente fosfatos y nitratos, su incremento en el agua induce a una eutrofización. Se originan de desechos humanos y animales, detergentes y escorrentía de fertilizantes agrícolas.	Fuentes domésticas, industriales, escorrentía agrícola.
Metales pesados	Se originan principalmente alrededor de centros industriales y mineros. También pueden provenir de actividades militares o a través de lixiviados.	Fuentes industriales, mineras, asentamientos humanos, actividades militares.
Contaminación microbiológica	Desechos domésticos no tratados, criaderos de animales (<i>E. coli</i> , protistas, amebas, etc.).	Fuentes municipales.
Compuestos tóxicos orgánicos	Químicos industriales, dioxinas, plásticos, pesticidas agrícolas, hidrocarburos de petróleo, hidrocarburos poli cíclicos generados de la combustión del petróleo. Compuestos orgánicos persistentes (POP) como químicos disruptores endocrinos, cianotoxinas, compuestos órgano estánnicos de pinturas antinscrustantes.	Fuentes industriales, asentamientos humanos, escorrentía agrícola
Químicos traza y compuestos farmacéuticos	Desechos hospitalarios, son sustancias peligrosas no removidos necesariamente por los tratamientos convencionales y han sido reconocidos con disruptores endocrinos y carcinogénicos.	Industria química y farmacia.
Partículas suspendidas	Pueden ser orgánicas o inorgánicas y se originan principalmente de prácticas agrícolas y del cambio en el uso de la tierra, como deforestación, conversión de pendientes en pastizales originando erosión.	Industria, asentamientos humanos, escorrentía agrícola y cambios en el uso de la tierra.
Salinización	Se produce por la presencia de sales en los suelos y drenajes inadecuados. También ocurre por afloramiento de agua proveniente de zonas altas, donde se riega (lavado de sales).	Presencia de sales en los suelos, la que aflora por carecerse de un buen drenaje, irrigación con agua salobre, agua de yacimientos secundarios de petróleo.
Acidificación	Está relacionada con un pH bajo del agua dado por la deposición sulfúrica producida por la actividad industrial y por las emisiones urbanas.	Fuentes industriales y fuentes municipales.

Fuente: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, 2000.

Notas a las tablas:

(Tabla 1) El plomo y el cobre se regulan mediante una Técnica de Tratamiento que exige la implementación de sistemas que controlen el poder corrosivo del agua. El nivel de acción sirve como un aviso para que los sistemas de agua públicos tomen medidas adicionales de tratamiento si los niveles de las muestras de agua superan en más del 10 % los valores permitidos. Para el cobre, el nivel de acción es 1.3 mg/L y para el plomo es 0.015mg/L.

Todos y cada uno de los sistemas de agua deben declarar al estado, por escrito, que si se usa acrilamida y/o epíclorhidrina para tratar agua, la combinación (o producto) de dosis y cantidad de monómero no supera los niveles especificados, a saber: acrilamida = 0.05% dosificada a razón de 1 mg/L (o su equivalente); epíclorhidrina = 0.01% dosificada a razón de 20 mg/L (o su equivalente).

(Tabla 3) En un mes dado, no pueden detectarse más de 5.0% de muestras con Coliformes totales positivas. Para sistemas de agua en los que se recogen menos de 40 muestras de rutina por mes, no puede detectarse más de una muestra con Coliformes totales positiva. Toda muestra que presente Coliformes totales debe analizarse para saber si presenta E. Coli o Coliformes fecales, a fin de determinar si hubo contacto con heces fecales humanas o de animales (Coliformes fecales y E. Coli son parte del grupo de Coliformes totales).

Coliformes fecales y E. coli son bacterias cuya presencia indica que el agua podría estar contaminada con heces fecales humanas o de animales. Los microbios que provocan enfermedades (patógenos) y que están presentes en las heces, causan diarrea, retortijones, náuseas, cefaleas u otros síntomas. Estos patógenos podrían representar un riesgo de salud muy importante para bebés, niños pequeños y personas con sistemas inmunológicos gravemente comprometidos.

3.10 Importancia del análisis de los metales pesados

Los estudios de calidad de las cuencas hidrográficas han adquirido gran interés en las últimas décadas, dado el incremento de población en sus riberas, el creciente grado de industrialización y los aportes del sector primario que se presentan. La importancia que tiene el estudio de metales pesados en aguas y sedimentos está dada por sus características: elevada toxicidad, alta persistencia y rápida acumulación por los organismos vivos (Rosas Rodríguez, 2001).

La investigación de la presencia de metales pesados en determinadas zonas, permite conocer las rutas de contaminantes y su interacción con otras sustancias presentes (Griet Eeckhout, 2006).

El aporte de información contribuye al diagnóstico de cada cuenca y por consiguiente a facilitar la toma de decisiones en proyectos posteriores, sobre todo en decisiones de carácter gubernamental (Rosas Rodríguez, 2001).

3.11 Metales Pesados

3.11.1 Definición y Clasificación

Desde el comienzo de la era industrial, los metales han penetrado lentamente en el ambiente, ocasionando que se acumulen progresivamente en suelos, sedimentos y aguas superficiales. Constituyen el 75% de los elementos conocidos, están caracterizados por ser buenos conductores del calor y la electricidad, poseen alta densidad, y son sólidos en temperaturas normales (excepto el mercurio). Pueden formar aleaciones entre sí y son ampliamente utilizados, por ejemplo, en la fabricación de coches, computadoras, la construcción de autopistas, puentes, etc., así como en la producción de electrodomésticos, y material de laboratorio. Se encuentran en forma de elementos nativos (mineral, geológico) o son producto de actividades antropogénicas (fungicidas, minería y fundición, industrias plásticas, y desechos) (Griet Eeckhout, 2006).

Existen varias definiciones del término "metales pesados". En esta categoría entran prácticamente todos los elementos metálicos de interés económico, por lo tanto, de interés minero (Oyarzun & Higuera, 2009). Por lo general se acepta que son aquellos elementos químicos que presentan ciertas propiedades comunes: conductividad eléctrica y térmica altas, maleabilidad, ductilidad y brillo (Vega y Reynaga, 1990), cuya densidad es mayor a 5g/ml (Cervantes y Moreno, 1999), por lo menos cinco veces mayor que la del agua. Algunos metales pesados son: Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Mercurio (Hg), Níquel (Ni), Plomo (Pb), Estaño (Sn) y Zinc (Zn) (Arce García, 2000).

Los metales pesados se encuentran en forma aislada o combinados formando minerales (Vega y Reynaga, 1990). Pueden encontrarse en mayores cantidades en los extractos profundos de los ríos y en menor proporción en la superficie, los mantos acuíferos no contaminados pueden contener cantidades muy pequeñas (Arce García, 2000).

Dentro de los metales pesados hay dos grupos (Arce García, 2000):

- Oligoelementos o micronutrientes que son los requeridos en pequeñas cantidades, o cantidades traza por plantas y animales, y son necesarios para que los organismos completen su ciclo vital.

Dentro de este grupo están: As, B, Co, Cr, Cu, Mo, Mn, Ni, Se y Zn.

Estos elementos minoritarios se encuentran en muy bajas concentraciones en el suelo y agua. Pasado cierto umbral biológico se vuelven tóxicos. La ausencia de estos micronutrientes causa enfermedades y su exceso intoxicaciones.

- Metales pesados sin función biológica conocida, su presencia en determinadas cantidades en los seres vivos, generan disfunciones en el funcionamiento de sus organismos, produciendo inhibición de las actividades enzimáticas.

Son altamente tóxicos y presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos. A este grupo pertenecen principalmente: Cadmio (Cd), Mercurio (Hg), Plomo (Pb), Cobre (Cu), Níquel (Ni), Antimonio (Sb), Bismuto (Bi). La toxicidad de estos metales se debe a su capacidad de combinarse con una gran variedad de moléculas orgánicas, pero la reactividad de cada metal es diferente y consecuentemente lo es su acción tóxica.

3.11.2 Contaminación por metales pesados.

3.11.3 Origen de los metales pesados en los sistemas acuáticos

En los sistemas acuáticos continentales (ríos, lagos, embalses, etc.) la contaminación se produce, bien por la presencia de compuestos o elementos que normalmente no estarían sin la acción del hombre, o por un aumento o descenso de la concentración normal de las sustancias ya existentes debido a la acción humana (Rosas Rodríguez, 2001).

3.11.4 Origen natural

El contenido en elementos metálicos de un suelo libre de interferencias humanas, depende en primer lugar de la composición de la roca madre originaria y de los procesos erosivos sufridos por los materiales que conforman el mismo (Adriano, 1986). Una alta concentración de metales puede resultar en ciertos casos de su material geológico sin que haya sufrido una contaminación puntual (Murray, 1996; Tam y Yao, 1998).

La acción de los factores medioambientales sobre las rocas y los suelos derivados de ellas son los determinantes de las diferentes concentraciones basales de metales pesados en los sistemas fluviales (aguas, sedimentos y biota) (Adriano, 1986).

3.11.5 Origen antropogénico

Se entiende por contaminación de origen antropogénico a la intervención humana en el ciclo biogeoquímico de los metales pesados. Actualmente es difícil encontrar una actividad industrial o un producto manufacturado en los que no intervenga algún metal pesado (Wittmann, 1981).

En la **tabla 5** están recogidos algunos de los procesos industriales por los que se introducen metales pesados en el medio ambiente.

Tabla 5. Principales orígenes Antropogénico de los metales pesados

Origen	Sb	As	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Pb	Zn
Baterías eléctricas			*	*			*	*	
Cementos y amiantos					*				
Chapados metálicos					*				
Curtidos metálicos				*	*				
Curtidos de pieles				*	*				
Eléctrica y electrónica			*	*	*		*	*	*
Farmacéuticas		*		*	*				*
Fertilizantes		*	*	*	*	*	*	*	*
Fotografía			*	*	*			*	
Fundiciones		*	*	*	*		*	*	*
Galvanizados, electro chapados			*	*	*		*	*	*
Minería	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Motores de vehículos, chapados de aviones			*	*	*				*
Municiones y explosivos				*	*			*	
Papeleras y similares				*	*		*	*	*
Pesticidas		*		*	*	*		*	*
Pigmentos, tintes, tintas, pinturas	*		*	*	*		*	*	*
Plásticos	*		*		*				*
Químicas, petroquímica	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Textiles	*			*	*				*
Vitrocerámica			*				*	*	

Fuente: Wittmann, 1981; MOPU, 1982; Moreno Grau, 2003.

En las zonas de estudio de la presente tesis, el Río Grande de Santiago , los principales orígenes antropogénicos de metales pesados pueden ser agrupados de acuerdo a las principales actividades económicas que se realizan en las poblaciones locales que dependen e inciden directamente en la salud del río: agropecuario (agrícola, ganadero, acuícola), industriales (extracción forestal, bancos de materiales) y doméstico.

Origen agropecuario

Los orígenes agrícolas de los metales pesados en las aguas continentales son los causados por la lixiviación de los terrenos de cultivo en los que se ha producido una acumulación previa de dichos elementos debido al uso o abuso de pesticidas (tablas 5 y 6), fertilizantes y desechos orgánicos susceptibles de ser utilizados como abono (Rosas Rodríguez, 2001), el empleo sistemático de fertilizantes, biocidas, y abonos orgánicos son el principal foco de contaminación difusa de los suelos, así como la eliminación incontrolada de los envases de dichos productos, que generalmente son depositados en vertederos para residuos no peligrosos o abandonados en los campos (Fundación MAPFRE, 1994). Los metales presentes en los terrenos alcanzan los cursos de agua no sólo directamente al ser lixiviados por la escorrentía superficial (aguas de riego y tormentas), sino también indirectamente al infiltrarse desde acuíferos previamente contaminados (Rosas Rodríguez, 2001).

Tabla 6. Proporciones de metales pesados en algunos pesticidas recomendados en agricultura.

Sustancia	Composición Metálica
<i>Insecticidas</i>	
Aceto-arsenito de cobre	2.3% as; 39% Cu
Arsenato de plomo	4.2-9.1% AS; 11-26% Pb
Arsenato de calcio	0.8-26% AS
Sulfato de zinc	20-30% Zn
Cloruro de mercurio	6% Hg
<i>Fungicidas</i>	
Sulfato de cobre-sales de calcio	4-6% Cu
Sales de cobre	2-56% Cu
Metil y fenil de sales de mercúrico	0.6-6% Hg
Acetato fenial mercúrico	6% Hg
Mancozeb	2.6% Mn; 2% Zn
Zineb y Ziram	1-18% Zn

Fuente: Adriano, 1986

Los contaminantes de origen ganadero son los debidos a los desechos de los animales y a los que proceden del lavado de establos y granjas. La concentración de metales en dichos materiales es variable y depende del tipo de ganado del que se trate, de la edad del animal, tipo de establo e incluso del manejo de los desechos (Adriano, 1986).

Origen industrial

Una de las principales fuentes de metales pesados en los sistemas acuáticos son las aguas residuales procedentes de las industrias que utilizan los cauces fluviales como vertederos. A menudo estos vertidos no son gestionados, no se someten a procesos de depuración o su tratamiento es inadecuado (Rosas Rodríguez, 2001). Los contaminantes pueden encontrarse en forma disuelta o en suspensión, y ser orgánicos e inorgánicos por su naturaleza química (Fundación MAPFRE, 1994).

Origen doméstico y urbano

Las aguas residuales de las ciudades son las portadoras de los metales pesados de origen doméstico. Los vertidos domésticos transportan una amplia gama de metales contenidos en las excreciones humanas, en los restos de los alimentos, en las aguas de lavado, etc. (Rosas Rodríguez, 2001). La actividad urbana es también una fuente de contaminación fundamentalmente por la generación de residuos sólidos urbanos, las emisiones de los vehículos a la atmosfera o a la producción de lodos en las depuradoras de aguas residuales (Fundación MAPFRE, 1994).

Las emanaciones gaseosas de los automóviles, no sólo afectan a las ciudades, sino que también lo hacen a las zonas limítrofes de autopistas y carreteras. Los metales así originados incluyen al Cd, Cu, Ni, Pb y Zn siendo el Pb el más abundante proveniente de la combustión de la gasolina y el Zn debido al desgaste de los neumáticos. Estos metales contenidos en las partículas de los humos de combustión y las originadas por el desgaste de neumáticos, pueden llegar a alcanzar los sistemas acuáticos de dos maneras: directamente (precipitación de partículas, por la lluvia) e indirectamente por la lixiviación de los terrenos (calles, carreteras y zonas adyacentes donde previamente se produjo la deposición) debido a la escorrentía superficial de las aguas de tormenta y de los riesgos de las ciudades (Rosas Rodríguez, 2001).

3.11.6 Efectos tóxicos de los metales pesados

Entre los metales que tienen más probabilidades de causar problemas figuran el Cobre (Cu), el Cadmio (Cd), el Mercurio (Hg), el Manganeseo (Mg), el Cobalto (Co) y el Níquel (Ni). Se consideran tóxicos si resulta perjudicial para el crecimiento o el metabolismo de las células al exceder cierta concentración, algunos de ellos constituyen venenos graves incluso a concentraciones muy bajas (Vega y Reynaga, 1990). La toxicidad de estos metales pesados es proporcional a la facilidad de ser absorbidos por los seres vivos, un metal disuelto en forma iónica puede absorberse más fácilmente que estando en forma elemental, y si esta se halla reducida finamente aumenta las posibilidades de su oxidación y retención por los diversos órganos (Rosas Rodríguez, 2001).

La toxicidad de un metal depende de su vía de administración y del compuesto químico al que está ligado. La combinación de un metal con un compuesto orgánico puede aumentar o disminuir sus efectos tóxicos sobre las células.

La toxicidad es el resultado de: a) cuando el organismo se ve sometido a una concentración excesiva del metal durante un periodo prolongado, b) cuando el metal se presenta en forma bioquímica inusitada o c) cuando el organismo lo absorbe por una vía inusitada. También tienen gran influencia otras variables, como la presencia de otras sustancias, la edad, la nutrición o el embarazo (Vega y Reynaga, 1990). Los efectos tóxicos de los metales pesados no se detectan fácilmente a corto plazo, aunque sí puede haber una incidencia muy importante a medio y largo plazo. Los metales son difíciles de eliminar del medio, puesto que los propios organismos los incorporan a sus tejidos y de éstos a sus depredadores, en los que se acaban manifestando (Vega y Reynaga, 1990; Garban, 1996; Rosas Rodríguez, 2001).

3.11.7 Efectos en el ambiente

La peligrosidad de los metales pesados es mayor al no ser química ni biológicamente degradables. Una vez emitidos, pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años. Además, su concentración en los seres vivos aumenta a medida que son ingeridos por otros, por lo que la ingesta de plantas o animales contaminados puede provocar síntomas de intoxicación (Arce García, 2000).

Dicho fenómeno se da con los metales mercurio y aluminio, en mamíferos consumidores de pescado y en pájaros insectívoros respectivamente (Vega y Reynaga, 1990). Se sabe muy poco sobre los efectos de los metales en los ecosistemas. En los lugares en que aguas de drenaje de minas fluyen en cursos de agua dulce se producen con frecuencia efectos ecológicos evidentes como, por ejemplo, una gran reducción de la fauna invertebrada y la ausencia de peces (Vega y Reynaga, 1990).

Los metales disueltos en el medio acuoso son fácilmente absorbidos por la biota acuática; es decir, tienen una alta biodisponibilidad en este medio (capacidad de interacción de un contaminante en el sistema biológico). Los metales que se bioconcentran (concentración del contaminante en los tejidos de la biota con la concentración de ese mismo contaminante en el medio) en las algas marinas son el Aluminio (Al), Cobre (Cu), Mercurio (Hg), Manganeso (Mn), Níquel (Ni), Plomo (Pb) y Zinc (Zn). En la biota acuática se acumulan principalmente el Cadmio (Cd) y el Mercurio (Hg); el Manganeso (Mn) en el esqueleto de los peces.

Esta acumulación depende de la acidez del medio acuoso y de la disminución de la concentración acuática del calcio. De los metales, el más tóxico para los peces es el aluminio. De la concentración total del metal, sólo ciertas formas químicas son tóxicas para los organismos (Vega y Reynaga, 1990). Una vez alcanzadas concentraciones tóxicas, puede necesitarse mucho tiempo para reducir las a niveles no tóxicos. Ningún contaminante actúa en forma aislada sobre un receptor. La capacidad de absorción de metales por las plantas varía con la acidez, el contenido orgánico y otras características del suelo (Vega y Reynaga, 1990).

3.12 Consecuencias de la contaminación de ríos en la Salud Ambiental.

3.12.1 Salud Ambiental

Una definición de salud ambiental ampliamente aceptada fue creada en 1948, al constituirse la Organización Mundial de la Salud (2005): “un estado de completo bienestar físico, mental y social y no simplemente la ausencia de padecimiento o enfermedad”.

La salud ambiental ha sido definida de muchas maneras, que en su conjunto dejan en claro que la salud ambiental es muchas cosas: un campo académico interdisciplinario, un área de investigación y un terreno de práctica para la salud pública aplicada. Por lo tanto entre las definiciones que encontramos de salud ambiental están las siguientes:

- “La salud ambiental comprende aquellos aspectos de la salud humana, incluyendo la calidad de vida, que son determinados por factores físicos, químicos, biológicos, sociales y psicosociales en el ambiente. También se refiere a la teoría y la práctica de la evaluación, corrección, control y prevención de los factores ambientales que pueden afectar negativamente a la salud de generaciones presentes y futuras” (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2004).
- “La salud ambiental es la rama de la salud pública que protege contra los efectos de riesgos ambientales que pueden afectar negativamente la salud o los equilibrios ecológicos esenciales para la salud humana y la calidad ambiental” (Agency for Toxic Substances and Disease Registry, citado por el Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos [DHHS], 1998).
- “La salud ambiental comprende aspectos de salud humana y enfermedad que son determinados por factores ambientales. También se refiere a la teoría y práctica de evaluación y control de factores ambientales que pueden afectar potencialmente la salud. Esto incluye tanto efectos patológicos directos de productos químicos, radiación y algunos agentes biológicos, como efectos (con frecuencia indirectos) sobre la salud y el bienestar del ambiente físico, psicológico, social y estético en sentido amplio, incluyendo vivienda, uso de la tierra en desarrollos urbanos y transporte” (European Charter on Environment and Health, véase OMS, Oficina Regional de Europa, 1990).

La calidad del agua dentro de la salud ambiental es de gran importancia. Una proporción alta de amenazas a la vida y la salud son las infecciones que se transmiten mediante el alimento o el agua contaminados. De hecho, más de 80% de todas las enfermedades en los países de desarrollo se atribuye a la carencia de agua segura y los medios apropiados para la disposición de excretas. Aproximadamente la mitad de la población mundial sufre de enfermedades asociadas con el agua insuficiente o contaminada, que afecta en su mayoría a las personas más pobres en todos los países en desarrollo. Dos mil millones de personas están en riesgos de enfermar por afecciones provocadas por el agua y los alimentos. Las enfermedades diarreicas son la causa principal de aproximadamente cuatro millones de muertes de niños de cada año. Las epidemias de cólera, que son también frecuentemente transmitidas por beber agua contaminada, aumentan en frecuencia.

Los insectos y vectores criados en el agua transmiten otras graves enfermedades como la malaria (267 millones de infectados), la filariasis (90 millones infectados), la oncocercosis (18 millones infectados) y el dengue (30 a 60 millones infectados) (OMS, 1992^a).

Es fundamental para la salud humana y el ambiente, la estimación de los riesgos a la salud debido a peligros ambientales específicos. Debido a ello los peligros ambientales que tienen un efecto sobre la salud humana pueden aparecer tanto en fuentes naturales como en fuentes antropogénicas. Se incluyen los peligros biológicos (bacterias, virus, parásitos y otros organismos patogénicos), peligros químicos (tales como metales tóxicos, contaminantes del aire, disolventes y plaguicidas) y peligros físicos (radiación, temperatura y ruido).

Tabla 7. Peligros biológicos, químicos y físicos por rutas de exposición.

	Biológicos	Químicos	Físicos
Aire Agente /Fuente Rutas Factores vectoriales	Microorganismos Exhalaciones, tos Inhalación, contacto	Humo, polvo, partículas Aire contaminado Ingestión, contacto	Radiaciones, ruido Clima Exposiciones no resguardadas
Agua Agente/ Fuente Factores vectoriales Rutas	Microorganismos Materia orgánica en descomposición Insectos, roedores, Caracoles, excretas de Animales, cadena alimentaria Mordeduras, Ingestión, contacto	Descargas, vertederos, lixiviados Alimentos y agua contaminados ingestión y contacto	Radiación Accidentes; contaminación del agua y alimentos Ingestión y contacto
Tierra Agente/Fuente Factores Vectoriales Rutas	Organismos del suelo Materia orgánica en descomposición, que puede convertirse en fuente de vectores. Contacto, picadas	Sólidos, líquidos Contaminación de alimento y agua alimentos ingestión, contacto	Radiación Accidentes; contaminación del agua y alimentos Contacto, ingestión

Fuente: Salud Ambiental Básico, 2002

Los ríos, por su capacidad de arrastre y el movimiento de las aguas, son capaces de soportar mayor cantidad de contaminantes. Sin embargo, la presencia de tantos residuos domésticos, fertilizantes, pesticidas y desechos industriales altera la flora y fauna acuáticas. En las aguas no contaminadas existe cierto equilibrio entre los animales y los vegetales, que se rompe por la presencia de materiales extraños.

Así, algunas especies desaparecen mientras que otras se reproducen en exceso. Además, las aguas adquieren una apariencia y olor desagradables.

Los ríos constituyen la principal fuente de abastecimiento de agua potable de las poblaciones humanas. Su contaminación limita la disponibilidad de este recurso imprescindible para la vida.

Riesgos existentes por la contaminación de los Ríos se dividen en dos tipos:

- **Riesgos Biológicos:** los peligros biológicos incluyen todas las formas de vida (así como productos no vivientes que ellas producen), las cuales pueden causar efectos adversos a la salud. Estos peligros son plantas, insectos, los roedores y otros animales, hongos, bacterias y virus y una amplia variedad de toxinas y alérgenos.
- Dentro de esta categoría encontramos a **microorganismos patógenos**. Son los diferentes tipos de bacterias, virus, protozoos y otros organismos que transmiten enfermedades como el cólera, tifus, gastroenteritis diversas, hepatitis, etc. En los países en vías de desarrollo las enfermedades producidas por estos patógenos son uno de los motivos más importantes de muerte prematura, sobre todo de niños.

Normalmente estos microbios llegan al agua en las heces y otros restos orgánicos que producen las personas infectadas. Por esto, un buen índice para medir la salubridad de las aguas, en lo que se refiere a estos microorganismos, es el número de bacterias Coliformes presentes en el agua. La OMS (Organización Mundial de la Salud) recomienda que en el agua para beber haya 0 colonias de Coliformes por 100 ml de agua. Las cuales pueden causar enfermedades tales como: diarrea, sangrado intestinal, deficiencia renal e infecciones en ojos, oídos, nariz y garganta al consumir alimentos contaminados (Bartenhagen et al., 1995). Las *E. coli* dañinas o patógenas, o sea que enferman, producen toxinas en el cuerpo, algunas de las cuales hacen que los intestinos liberen fluidos en exceso y, con ello, causen diarrea.

- **Riesgos Químicos** los cuales se dividen en diversas categorías, dentro de las cuales, las más importantes son las siguiente:

Desechos orgánicos: Son el conjunto de residuos orgánicos producidos por los seres humanos, ganado, etc. Incluyen heces y otros materiales que pueden ser descompuestos por bacterias aeróbicas, es decir en procesos con consumo de oxígeno.

Cuando este tipo de desechos se encuentran en exceso, la proliferación de bacterias agota el oxígeno, y ya no pueden vivir en estas aguas peces y otros seres vivos que necesitan oxígeno. Buenos índices para medir la contaminación por desechos orgánicos son la cantidad de oxígeno disuelto (OD), en agua, o la DBO (Demanda Biológica de Oxígeno).

Sustancias químicas inorgánicas: En este grupo están incluidos ácidos, sales y metales tóxicos como el mercurio y el plomo. Si están en cantidades altas pueden causar graves daños a los seres vivos, disminuir los rendimientos agrícolas y corroer los equipos que se usan para trabajar con el agua.

Nutrientes vegetales inorgánicos: Nitratos y fosfatos son sustancias solubles en agua que las plantas necesitan para su desarrollo, pero si se encuentran en cantidad excesiva inducen el crecimiento desmesurado de algas y otros organismos provocando la eutrofización de las aguas. Cuando estas algas y otros vegetales mueren, al ser descompuestos por los microorganismos, se agota el oxígeno y se hace imposible la vida de otros seres vivos. El resultado es un agua maloliente e inutilizable. Causan problemas de salud en los seres humanos y en organismos acuáticos. Cuando los seres humanos consumen los nitratos que se han lixiviado hacia fuentes de agua potable, puede aparecer una grave enfermedad llamada metahemoglobinemia. En medio ambiente también se ve afectado por el incremento de los nitratos. Debido a que el nitrógeno es un nutriente limitante, para las plantas, un incremento en el nitrógeno utilizable puede causar mayor crecimiento de plantas y algas. Este efecto recibe el nombre de eutrofización.

Compuestos orgánicos: Muchas moléculas orgánicas como petróleo, gasolina, plásticos, plaguicidas, disolventes, detergentes, etc. acaban en el agua y permanecen, en algunos casos, largos períodos de tiempo, porque, al ser productos fabricados por el hombre, tienen estructuras moleculares complejas difíciles de degradar por los microorganismos.

Sedimentos y materiales suspendidos: Muchas partículas arrancadas del suelo y arrastradas a las aguas, junto con otros materiales que hay en suspensión en las aguas, son, en términos de masa total, la mayor fuente de contaminación del agua.

La turbidez que provocan en el agua dificulta la vida de algunos organismos, y los sedimentos que se van acumulando destruyen sitios de alimentación o desove de los peces, rellenan lagos o pantanos y obstruyen canales, ríos y puertos.

Sustancias radiactivas: Isótopos radiactivos solubles pueden estar presentes en el agua y, a veces, se pueden ir acumulando a lo largo de las cadenas tróficas, alcanzando concentraciones considerablemente más altas en algunos tejidos vivos que las que tenían en el agua.

Contaminación térmica: El agua caliente liberada por centrales de energía o procesos industriales eleva, en ocasiones, la temperatura de ríos o embalses con lo que disminuye su capacidad de contener oxígeno y afecta a la vida de los organismos.

3.12.2 Efectos en la salud humana por la exposición de metales pesados

En la **tabla 8** se describen los posibles efectos a la salud que producen los metales pesados

Tabla 8. Efectos a la salud humana

METALES PESADOS	POSIBLES EFECTOS SOBRE LA SALUD
Elemento	
Arsénico	Lesiones en la piel; trastornos circulatorios; alto riesgo de cáncer.
Cadmio	Lesiones renales.
Cobalto	(*) La exposición a altos niveles de radiación de cobalto puede producir alteraciones en el material genético en el interior de las células, lo que puede conducir al desarrollo de ciertos tipos de cáncer.
Cromo (total)	Dermatitis alérgica.
Cobre	Exposición a corto plazo: molestias gastrointestinales. Exposición a largo plazo: lesiones hepáticas o renales.
Mercurio (Inorgánico)	Lesiones renales.
Níquel	(*) Fallos respiratorios. Cáncer de pulmón, nariz, y laringe. Reacciones alérgicas en la piel. Desordenes del corazón. Embolia de pulmón.
Plomo	Bebés y niños: retardo en desarrollo físico o mental; los niños podrían sufrir leve déficit de atención y de capacidad de aprendizaje. Adultos: trastornos renales; hipertensión.
Estaño	(*) Irritación en piel y ojos. Dolores de estómago, anemia, y alteraciones del hígado y los riñones. Inhalar compuestos orgánicos de estaño puede interferir con el funcionamiento del sistema nervioso y el cerebro. En casos graves, causa la muerte.
Zinc	(*) Pérdida del apetito, disminución de la sensibilidad, el sabor y el olor. Irritación en la piel, pequeñas llagas y erupciones cutáneas. Defectos de nacimiento.

Fuente: Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, 2000

(*): Agency for Toxic Substances & Disease Registry (ATSDR).

4

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La importancia de cuidar y conservar los cuerpos de agua radica en el papel que estos tienen en los ecosistemas, ya que ayudan como suministro de agua de ciudades y cabeceras municipales, pesca, recreación, belleza del entorno, regulador de clima, hábitat de especies endémicas y migratorias, control de inundaciones y generación hidroeléctrica. El desarrollo y la industrialización suponen un mayor uso de agua, utilizan el medio principalmente para enfriar o limpiar maquinaria, procesar materia prima o alimentos, desechos agrícolas, fertilizantes y aguas negras, generan una gran cantidad de residuos muchos de los cuales van a parar al agua. Las descargas de estas pueden contener elementos de difícil remoción y asimilación en los sistemas de tratamiento biológico y en los ecosistemas acuáticos.

El Río Grande de Santiago forma parte de una de las cuencas hidrológicas más importantes del estado de Jalisco y Nayarit por ello es necesario realizar estudios en términos del agua dadas las condiciones de contaminación en el río, tomando en cuenta, además, que en su camino atraviesa la zona metropolitana de Guadalajara así como sus alrededores, por lo que se plantea en este proyecto la evaluación de la calidad del agua en este sistema de cuenca hidrológica, que ya presenta daños importantes a la calidad. Conocer esto constituye un aporte de información de carácter ambiental y contribuye al diagnóstico de cada una de sus cuencas.

Además con ello se pretende analizar los impactos a la salud ambiental a los que se encuentran expuestos las habitantes de esta cuenca, al mismo tiempo se pretende hacer conciencia de la importancia de cuidar nuestros cuerpos de agua.

5

OBJETIVOS

5.1 Objetivo General

Realizar un análisis espacio-temporal del monitoreo de la calidad del agua del Río Grande de Santiago, y cuáles son sus implicaciones a la salud ambiental, (mayo 2009 a noviembre 2010).

5.2 Objetivos Particulares

1. Identificar la contaminación Fisicoquímica y Bacteriológica del Río Grande de Santiago.
2. Calcular el Índice de Calidad del Agua (ICA) para los sitios estudiados.
3. Evaluar los resultados con la normativa vigente, enumerando las limitantes de uso derivados de la calidad del agua estudiada.
4. Establecer las limitantes de uso derivadas de la calidad del agua evaluada, y los posibles impactos en salud ambiental.

METODOLOGÍA

Las características metodológicas del proyecto comprenden tres grandes fases: (1) muestreo de agua los puntos seleccionados, (2) análisis de agua, (3) la integración y evaluación de resultados, estadística descriptiva y graficación.

A continuación la Figura 4. Se muestra el diagrama de flujo del diseño metodológico de la investigación

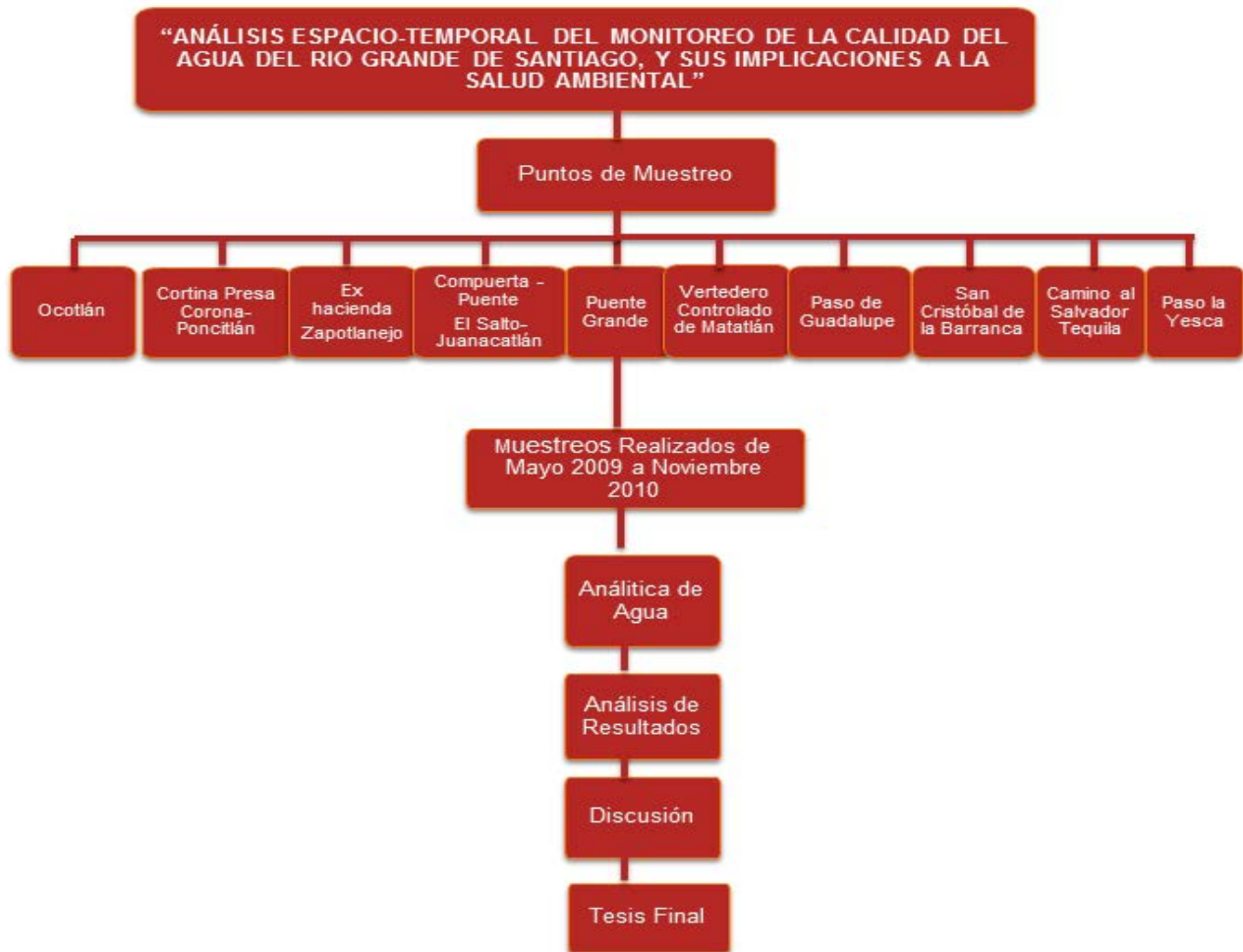


Figura 4. Diagrama de Flujo

6.1 Localización del Área de Estudio

La cuenca Lerma-Chapala-Santiago es una de las más importantes del país, con una extensión de 125,370 Km². Abarca amplias porciones de ocho Estados como México, norte de Michoacán, sureste de Querétaro, sur de Guanajuato, centro y norte de Jalisco, Aguascalientes, sur de Zacatecas, sureste de Durango y desemboca en el estado de Nayarit. El río Lerma-Chapala-Santiago se extiende en áreas de un elevado índice demográfico y una intensa actividad agrícola e industrial.

En el Estado de Jalisco se encuentra el Río Grande de Santiago también denominado Santiago Totolotlán o simplemente Santiago motivo del presente estudio, está localizado en el Occidente de México. Nace en el lago de Chapala a una altitud 1,524m y discurre por los estados de Jalisco y Nayarit, siendo su frontera a lo largo de 30 km. Tiene una longitud de 562 km y abarca 77,185 km² (CNA, 1990), drena una cuenca de 76,400 km².

Considerando una de sus fuentes, el río Lerma (708 km), el sistema fluvial río Lerma-lago Chapala-río Santiago, es el segundo río más largo de México, con 1.281 km si se considera desde su nacimiento hasta la desembocadura en el océano Pacífico. Poco después de salir del lago de Chapala pasa por Ocotlán, y poco antes de pasar cerca de Guadalajara forma la cascada o salto de Juanacatlán. Es aquí donde comienza a formar una serie de barrancos, que se extiende hasta casi salir de la sierra Madre Occidental. Luego pasa por la presa de Santa Rosa, poco después pasa a 6 km de Tequila donde se le conoce como Lerma-Santiago.

Tiene numerosos afluentes por la margen derecha entre los que destacan: el río Verde, el río Juchipila (Zacatecas), el río Huaynamota (Nayarit), y el río Bolaños (límite estatal) entre otros. Los ríos del estado de Jalisco pertenecen a la vertiente exterior o exorreica del Océano Pacífico sección central, por lo que escurren al oeste de las principales sierras de la entidad. Los ríos del norte y noreste forman la cuenca del río Santiago como son: el Verde y el Bolaños. Otros pertenecen a la cuenca del río Armería y son los de la parte media del sur de Jalisco como el río Ayuquila, el Tuxcacuesco y el Jiquilpan.

6.1.1 Descripción del Área de Estudio.

El río Santiago inicia su escurrimiento en el lago de Chapala, en su parte noreste, a unos 4 km al suroeste de Ocotlán, y cuenta con una longitud total aproximada de 500 km, desembocando en el Océano Pacífico en el estado de Nayarit, cruzando en su recorrido, además de este estado, el de Jalisco. En su recorrido, el cauce escurre al oriente y nor-oriente de la Zona Conurbada de Guadalajara (ZCG).

El río Santiago se ubica en su totalidad dentro del estado de Jalisco, y es utilizado en muchos casos para la delimitación municipal. De esta manera, el río Santiago inicia su trayecto en el lago de Chapala, en el municipio de Ocotlán, posteriormente la corriente cruza los municipios de Poncitlán y Zapotlán del Rey, delimitados por el cauce. De igual manera sucede más adelante, donde el río cruza una pequeña porción del municipio de Chapala en su colindancia con el municipio de Juanacatlán, al que también cruza, y que a su vez colinda con los municipios de Ixtlahuacán de los Membrillos, una pequeña porción de Tlajomulco de Zúñiga, y El Salto. Posteriormente, el cauce se ubica en los municipios de Zapotlanejo, Tonalá y Guadalajara. Continúa su cauce por la Presa Arcediano, hasta llegar a la localidad de Paso de Guadalupe. La elevación sobre el nivel del mar al inicio del río Santiago es la 1,528.0, mientras que en la confluencia con el río Verde se tiene la elevación 990.0 y al final del tramo se tiene una elevación de 900 m.s.n.m.

Al inicio de su trayecto, en los primeros 66 km el cauce del río Santiago cruza una amplia zona de planicies agrícolas, para posteriormente, en los siguientes 400 km, penetrar en una abrupta barranca con profundidades de hasta 500 m, la cual inicia muy cerca de la ZCG, un poco aguas abajo de la población de Puente Grande. En la zona de la ciudad, este accidente topográfico es conocido como Barranca de Oblatos y Barranca de Huentitán, y le sirve de límite a la misma en esa zona.

Finalmente, los últimos 50 km de esta corriente se ubican en la planicie costera del Océano Pacífico, a donde descarga sus caudales, previamente regulados en la presa Aguamilpa.

El río Zula tiene su origen al Noreste de la cabecera municipal de Arandas, cerca de la localidad de Santiaguito de Velázquez de la unión de varios arroyos, manantiales y nacimientos de agua (2,100 msnm); recorre alrededor de 100 a 115 km hacia el sur de Arandas y Atotonilco el Alto en la cota de 1,600 msnm.

Posteriormente recibe las aguas del Arroyo el Chico, aguas residuales y escurrimientos de la cabecera del municipio de Tototlán para seguir hacia el municipio de Ocotlán hasta desembocar en el río Santiago en una cota de 1,530 msnm. (CEA Jalisco, 2006, AyMa Ingeniería y Consultoría, 2006).

El cauce del río Verde se ubica en el occidente del país, nace en el estado de Zacatecas, cruza el de Aguascalientes y recorre las regiones Altos Norte y Altos Sur del estado de Jalisco hasta su confluencia con el río Santiago. Esta corriente inicia aproximadamente a 40 km al sur de la ciudad de Zacatecas, capital del estado del mismo nombre, en el nivel 2,340 msnm, zona donde se le conoce como río San Pedro, el cual cambia de nombre a río Aguascalientes una vez que ingresa a este estado y hasta la confluencia con el río de Lagos, y desde ahí adquiere el nombre de río Verde hasta su parte final.

El río Santiago en su tramo en estudio cuenta con diversas corrientes tributarias. Estas corrientes son descritas de una manera general en esta sección, principalmente en lo referente a su confluencia con el río Santiago.

Tabla 9. Corrientes tributarias del río Santiago

Corriente	Municipio(s) de procedencia	Margen del río Santiago por la que se recibe su aportación
Arroyo Agua Fría	Zapotlán del Rey	Derecha
Arroyo La Cañada	Zapotlán del Rey	Derecha
Arroyo Los Sabinos	Ixtlahuacán de Los Membrillos	Izquierda
Arroyo El Ahogado	Zapopan, Tlaquepaque, Tlajomulco, El Salto	Izquierda
Río La Laja	Zapotlanejo	Derecha
Río Zapotlanejo	Tepatitlán de Morelos, Acatic, Zapotlanejo	Derecha
Río Calderón	Zapotlanejo	Derecha

(IMTA) Actualización del estudio de calidad del agua del río Santiago 2010.

Iniciando en el lago de Chapala, la primera aportación que recibe el río Santiago es la del río Zula, el cual confluye por la margen derecha a la altura de la ciudad de Ocotlán, muy cerca del inicio del cauce del Santiago. El río Zula es uno de los tributarios más importantes del río Santiago en esta región, aunque dada la cercanía de esta confluencia con el lago de Chapala, aunada al control de los niveles y extracciones del lago que se da en la Presa Poncitlán, las aportaciones de este río se consideran directamente hacia el lago de Chapala.

A continuación aguas abajo de esta confluencia, un poco más adelante de la población de Poncitlán, se tienen dos aportaciones, ambas por la margen derecha del río Santiago, que son el arroyo Agua Fría y de mayor importancia, por su caudal aportado, el arroyo La Cañada, cuyo cauce pasa muy cerca de la población de Zapotlán del Rey.

Después de estas corrientes, las aportaciones al río Santiago son muy pequeñas, en la mayoría de los casos se trata de escurrimientos intermitentes, hasta finalmente recibir una aportación de mayor importancia cerca de la localidad de La Capilla por su margen izquierda que es el arroyo Los Sabinos, y más adelante se recibe, aguas arriba de la población de El Salto, y también por la margen izquierda, la aportación del arroyo El Ahogado, cuya importancia estriba en ser el drenaje principal de la cuenca del mismo nombre en cuyo interior se asienta una gran porción de la parte sur de la ZCG, además de algunas otras localidades cercanas a la urbe.

Posteriormente y continuando con el trayecto del río Santiago, el siguiente punto de confluencia importante se ubica aguas abajo de la población de Puente Grande, en la zona en que el río se interna en la barranca, donde se recibe la aportación del río La Laja por la margen derecha del río. Después de esta confluencia, se reciben las aportaciones de los ríos Zapotlanejo y Calderón, los cuales llegan por la margen derecha del río Santiago y descargan a este cauce en un punto que prácticamente es compartido por ambos afluentes. Se considera de mayor importancia el río Zapotlanejo, por aportar un mayor caudal y conducir la descarga de la población del mismo nombre, ya que el buena parte del escurrimiento del río Calderón se almacena en la presa Calderón

En último lugar, se tienen diversas aportaciones por ambas márgenes del río Santiago, la mayoría de las recibidas por la margen izquierda provienen de las descargas de agua residual de la ciudad de Guadalajara, como son: Tonalá, Coyula, San Gaspar de Las Flores, el arroyo Osorio, el arroyo San Andrés, entre otros, hasta finalmente recibir por su margen derecha al río Verde.

6.1.2 Infraestructura Hidráulica.

La cuenca del río Santiago cuenta con una diversidad de elementos que forman parte de la infraestructura hidráulica, en su mayoría utilizados para riego de cultivos, así como para generación de energía eléctrica. En el área de estudio se cuenta principalmente con presas tanto de almacenamiento como derivadoras, y con canales de conducción, sin olvidar la laguna de Cajititlán que es un almacenamiento natural que también queda enmarcado dentro de la cuenca motivo de estudio.

La infraestructura de este tipo que se ubica en la cuenca del río Santiago se enlista en la Tabla 10, considerando para el caso de presas de almacenamiento, las de capacidad mayor a 3.0 mm³. Como se presenta en la Tabla 10, el tramo en estudio del río Santiago cuenta con varias obras para el aprovechamiento del escurrimiento que se genera en su cuenca.

Tabla 10. Obras de infraestructura hidráulica en la cuenca del río Santiago

Nombre de la obra	Corriente aprovechada	Tipo de obra	Uso del agua	Capacidad (Mm ³)	Municipio
Poncitlán	Río Santiago	Regulación	Diversos		Poncitlán
La Colonia	Arroyo La Cañada	Almacenamiento	Riego	5.75	Zapotlán del Rey
Corona	Río Santiago	Derivadora	Diversos		Chápala (Atequiza)
Atequiza	Río Santiago	Canal	Doméstico y riego		Chápala (Atequiza)
Zapotlanejo	Río Santiago	Canal	Riego		Juanacatlán
El Ahogado	Arroyo El Ahogado	Almacenamiento	Riego	5.00	
El Salto	Río Santiago	Derivadora	Riego, generación energía eléctrica		El Salto
Aurora	Río Santiago	Canal	Riego		El Salto
Puente Grande	Río Santiago	Almacenamiento	Generación de energía eléctrica	1.00	Tonalá
Colimilla	Río Santiago	Almacenamiento	Generación de energía eléctrica	6.75	Tonalá

Intermedia	Río Santiago	Almacenamiento	Generación de energía eléctrica	1.55	Tonalá
Las Juntas	Río Santiago	Almacenamiento	Generación de energía eléctrica	Tonalá	
La Joya	Arroyo La Joya	Almacenamiento	Riego	3.00	Zapotlanejo
Calderón (Elías González Chávez)	Río Calderón	Almacenamiento	Doméstico	100.00	Zapotlanejo
La Red	Río Calderón	Almacenamiento	Riego	15.00	Tepatitlán

(IMTA) Actualización del estudio de calidad del agua del río Santiago 2010

En él se encuentran las presas El Cajón (2007), Aguamilpa (1994) y Santa Rosa (1964), Agua Prieta. La reguladora San Rafael y la derivadora El Gileño.

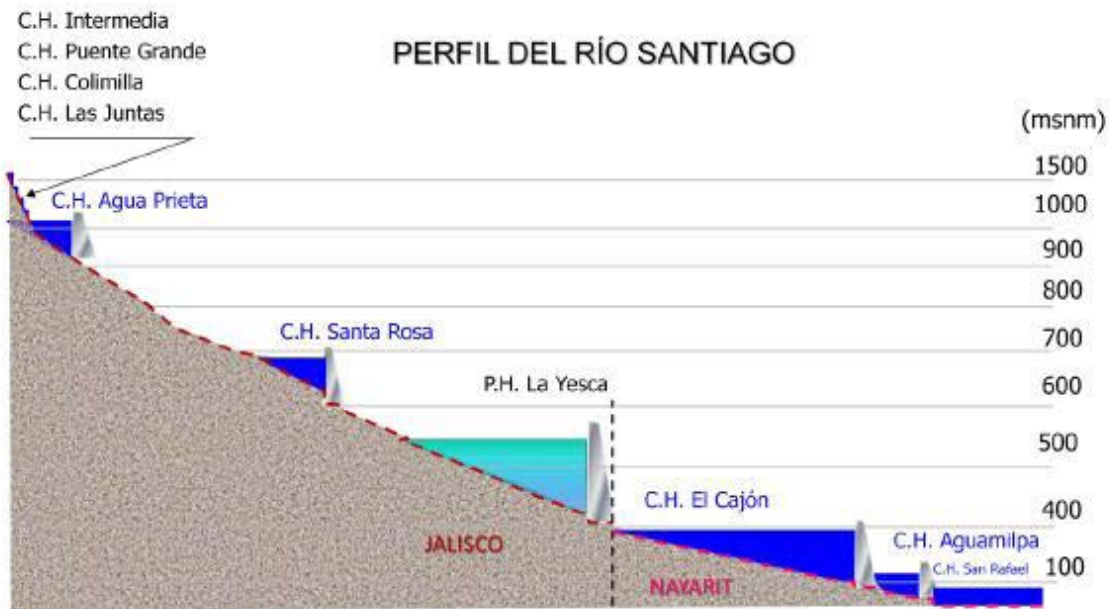


Figura 5. Perfil del Río Santiago, (IMTA) Actualización del estudio de calidad del agua del río Santiago 2010

6.1.3 Factores antropológicos que afectan la calidad ambiental e integridad del ecosistema.

La información disponible sobre las descargas de contaminantes a la zona de estudio está casi en su totalidad relacionada y descrita en documentos técnicos de distintas dependencias (CEAS Jalisco, 2003, CONAGUA, 2008).

Los datos disponibles están mayormente orientados hacia los ríos Santiago y Verde, cuencas en donde se presentan las mayores concentraciones, urbanas, industriales, agrícolas y pecuarias importantes del estado de Jalisco.

La cuenca del río Santiago comprende una superficie de 77,500 km², donde se encuentra asentada la zona metropolitana de Guadalajara y otros grandes centros de población que provocan un alto índice de aprovechamiento de las aguas superficiales y bajo escurrimiento, además de múltiples descargas sin tratamiento.

Las descargas urbanas, agrícolas, industriales de diversos giros, ingenios cañeros, granjas porcícolas y drenajes pluviales mezclados, causan un alto deterioro al río Santiago, además de la posible presencia de los lixiviados provenientes de los basureros (“rellenos sanitarios”) y de la probable contaminación del suelo en los sitios donde funcionaron plantas hidroeléctricas. (U de G y CEAS, 2004 y OPS, 2007).

El deterioro de la calidad del agua del río Santiago se aceleró a finales de la década de los años setenta por la contaminación ambiental en las zonas de Juanacatlán y El Salto, debido a la creación de las zonas industriales. Casi el 50% de la industria localizada en la cuenca del Río Santiago es de los giros Químico o Petroquímico, 15% son giros metalmeccánico y metalúrgico. La industria textil, la automotriz y la electrónica en conjunto representan el 12%. La alimenticia cuenta con un 10% de participación y la química-farmacéutica con un 5%. Otro rubro importante es el de la celulosa y papel (1.5%) (OPS, op cit). En Guadalajara un censo realizado por (Martínez, 1994) señaló 1,241 descargas de industrias aportando un volumen mensual de 1, 042,806 m³ de agua sin tratamiento. La información recabada en los municipios más afectados, señaló 305 descargas municipales, industriales y pecuarias que descargan a los ríos Zula y Santiago, distribuidas 41 en Tototlán, 29 en Poncitlán, 15 en Juanacatlán y 220 en el municipio de El Salto (CEAS, 2008). En cuanto a las descargas industriales en la cuenca del Zula, casi el 60% son tequileras y un 27% de alimentos.

6.2 Protocolo de Muestreo

6.2.1 Localización de puntos de muestreo.

Dentro del estudio realizado por la Comisión Estatal de Agua (CEA) se tiene que para los muestreos se seleccionaron 13 puntos representativos del área de estudio, diez puntos en el Río Santiago y dos en Arroyo El Ahogado y uno en el Río Zula. Se realizaron 17 muestreos mensuales a partir del mes de mayo del 2009 al mes de noviembre del 2010, dentro de los cuales los meses de diciembre del 2009 y abril del 2010 no se realizaron por ser estos periodos vacacionales dentro de la CEA.

A continuación se muestran los puntos de muestreo, su ubicación y coordenadas.

Tabla. 11 Ubicaciones de los puntos de muestreo y sus coordenadas.

No.	Punto de muestreo	Ubicación	Coordenadas
1	Río Santiago 1	Ocotlán (puente vías del tren)	N 20°21'000, W 102°46'962
2	Río Santiago 2	Cortina Pres Corona –Poncitlán	N 20°23'936, W103°05'394
3	Río Santiago 3	Ex hacienda Zapotlanejo	N 20°27'006, W 103°09'292
4	Río Santiago 4	Compuerta-Puente El Salto-Juanacatlán	N 20°30'750, W 103°10'516
5	Río Santiago 5	Puente Grande	N 20°34'155, W 103°08'359
6	Río Santiago 6	Vertedero Controlado Matatlán	N 20°39'966, W103°11'357
7	Río Santiago 7	Paso De Guadalupe	N 20°50'502, W 103°19'568
8	Río Santiago 8	San Cristóbal De La Barranca	N 21°02'259, W 103°25'539
9	Río Santiago 9	Camino Al Salvador Tequila	N 20°54'685, W 100°42'691
10	Río Santiago 10	Paso La Yesca	N 21°11'353, W 104°04'336
11	Arroyo El Ahogado 1	Carretera Chapala Antes Del Aeropuerto	N 20°32'233, W 103°17'772
12	Arroyo El Ahogado 2	Puente Localidad El Muelle	N 20°29'840',W 103°12'983
13	Río Zula	Puente Carretera Guadalajara-La Barca	N 20°20'644, W102°46'418

Comisión Estatal del Agua Jalisco (CEA) 2009.

Para el presente trabajo solo se seleccionaron los puntos de muestreo correspondientes al monitoreo del Río Santiago, siguiendo la dirección del río y aportes de cargas contaminantes de las poblaciones.

Ubicación del área y los puntos de muestreo realizados en el estudio.



Figura 6. Localización del área de estudio

6.2.2 Diseño metodológico del muestreo

Se seleccionó 10 puntos de muestreo en el Río Santiago (**figura 6**), cuya distribución espacial se considera representativa de cada zona lacustre, atendiendo a factores externos que pueden influenciar la calidad a determinar como son el ingreso cercano de aguas residuales tanto urbanas como industriales, agropecuarias y de escorrentías temporales, la realización de pesca y actividades recreativas y el uso directo de recursos hídricos.

A continuación se presentan los meses y las fechas, de los muestreos realizados. Los cuales corresponden a muestreos realizados de manera puntual.

La programación de las campañas de muestreo se determinó considerando el objetivo de evaluar la variabilidad estacional (ciclo completo de 1 año) de la calidad del agua.

Tabla 12. Meses y fechas de muestreo

No.	Meses del muestreo	Fecha
1	Mayo 2009	25/05/2009
2	Junio 2009	30/06/2009
3	Julio 2009	28/07/2009
4	Agosto 2009	12/08/2009
5	Septiembre 2009	09/09/2009
6	Octubre 2009	20/10/2009
7	Noviembre 2009	11/11/2009
8	Enero 2010	26/01/2010
9	Febrero 2010	16/02/2010
10	Marzo 2010	08/03/2010
11	Mayo 2010	25/05/2010
12	Junio 2010	15/06/2010
13	Julio 2010	20/07/2010
14	Agosto 2010	17/08/2010
15	Septiembre 2010	29/09/2010
16	Octubre 2010	27/10/2010
17	Noviembre 2010	18/11/2010

Comisión Estatal del Agua Jalisco (CEA) 2009 y 2010.

Se determinó en cada estación de muestreo la fecha, hora, nubosidad (cobertura y tipo), viento (dirección y velocidad), temperatura del aire, en el agua la corriente (dirección y velocidad), materia flotante (presencia y tipo), transparencia, olor y color. La determinación de temperatura, conductividad, pH y oxígeno disuelto en cada estación se realizó mediante un medidor multi parámetros de la marca es **Hach Q 501**.

6.2.3 Protocolo de muestreo de agua y preservación del agua.

Dentro del programa de monitoreo del Río Grande de Santiago se realiza un muestreo puntual de 10 puntos dentro del Rio Santiago, dos en el Arrollo el Ahogado y uno en el Rio Zula. El muestreo se realiza de acuerdo al Norma Mexicana NMX-AA-014-1980. Cuerpos Receptores- Muestreo.

Esta norma establece los lineamientos generales y recomendaciones para el muestreo en cuerpos receptores de aguas superficiales, excluyendo aguas estuarinas y aguas marinas, con el fin de determinar sus características físicas, químicas, bacteriológicas, debiéndose observar las modalidades indicadas en las Normas de Métodos de Prueba correspondientes.

Las especificaciones técnicas para cada uno de los parámetros a evaluar se resumen en la tabla 13.

Tabla 13. Especificaciones técnicas de muestreo y preservación del agua.
NOM-AA-14-1980. Abreviaturas; p (plástico), pH (potencial de hidrogeno), s (vidrio enjuagado con solventes orgánicos; interior de la tapa del envase recubierta con teflón), v (vidrio) ne (no especificado en la norma).

Parámetro	Material de envase	Volumen mínimo (ml)	Preservación	Tiempo máx. De almacén.
Alcalinidad total	p,v	200	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	14 d
Aluminio	p,v	1000	Enjuagar el envase con HNO3 1 + 1; adicionar HNO3 a pH<2; para metales disueltos, filtrar inmediatamente y adicionar HNO3 a pH<2	180 d
Arsénico	p,v	200	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	14 d
Cadmio	p,v	1000	Enjuagar el envase con HNO3 1 + 1; adicionar HNO3 a pH<2; para metales disueltos, filtrar inmediatamente y adicionar HNO3 a pH<2	180 d
Cloruros	p,v	200	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	48 h
Coliformes				
Conductividad	p,v	200	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	28 d
Cromo	p,v	1000	Enjuagar el envase con HNO3 1 + 1; adicionar HNO3 a pH<2; para metales disueltos, filtrar inmediatamente y adicionar HNO3 a pH<2	180 d
DBO5	ne			
DQO	ne			
Dureza total	p,v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	14 d
Fósforo	ne			
Grasas y aceites	ne			
Hierro	p,v	1000	Enjuagar el envase con HNO3 1 + 1; adicionar HNO3 a pH<2; para metales disueltos, filtrar inmediatamente y adicionar HNO3 a pH<2	180 d
Manganeso	p,v	1000	Enjuagar el envase con HNO3 1 + 1; adicionar HNO3 a pH<2; para metales disueltos, filtrar inmediatamente y adicionar HNO3 a pH<2	180 d
Metales en general	p,v	1000	Enjuagar el envase con HNO3 1 + 1; adicionar HNO3 a pH<2; para metales disueltos, filtrar inmediatamente y adicionar HNO3 a pH<2	180 d
Nitratos	p,v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	48 h
Nitritos	p,v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	48 h
Nitrógeno amoniacal	p,v	500	Adicionar H2SO4 a pH<2 y refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	28 d
Nitrógeno Total	p,v	500	Adicionar H2SO4 a pH<2 refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	28 d
pH	p,v	---	Analizar inmediatamente	---
Plomo	p,v	1000	Enjuagar el envase con HNO3 1 + 1;	180 d

			adicionar HNO ₃ a pH<2; para metales disueltos, filtrar inmediatamente y adicionar HNO ₃ a pH<2	
Sólidos Totales	p,v	1000	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	7 d
Sólidos Disueltos Totales	p,v	1000	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	7 d
Sólidos sedimentables	p,v	1000	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	7 d
Sólidos suspendidos Totales	p,v	1000	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	7 d
Sulfatos	p,v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	28 d
Sustancias activas al azul metileno	p,v	200	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	48 h
Temperatura	p,v	---	Determinar inmediatamente	---
Turbiedad	p,v	100	Refrigerar de 4 a 10° C y en la oscuridad	48 h

Fuente: NOM-AA-14-1980 "Cuerpos receptores, muestreo".

6.3 Analítica de agua

6.3.1 Análisis fisicoquímicos

Las muestras de agua se analizaron conforme a los procedimientos establecidos para cada parámetro en la normativa oficial mexicana, así como a los métodos establecidos por la APHA-AWWA-WDCF (1992). Los parámetros a evaluar y la metodología realizada se presentan en la **Tabla 14**.

En cada uno de los parámetros analizados se determinó previamente el límite mínimo de detección, así como las pruebas correspondientes a la precisión y exactitud, procediendo a su aplicación de acuerdo a los lineamientos que para cada caso en particular existen en la literatura. La descripción de los métodos analíticos aplicados se presenta en la **Tabla 15**

Tabla 14. Parámetros evaluados en agua

Parámetro	Unidad	Método de análisis
Alcalinidad total	mg/L CaCO ₃	NMX-AA-36-2001*
Aluminio	mg/L	EPA-6010B
Arsénico	mg/L	EPA-6010B
Cadmio	mg/L	EPA-6010B

Calcio	mg/L	EPA-6010B
Cloruros	mg/L	NMX-AA-073-SCFI-2001
Coliformes	NMP/100ml	NOM-112-SSA1-1994
Conductividad	µS/cm	NMX-AA-093-SCFI-2000
Cromo total	mg/L	EPA-6010B
D.Q.O.	mg/L	NMX-AA-30-SCFI-2001
DBO5	mg/L	NMX-AA-028-SCFI-2001
Durezas	mg/L CaCO ₃	NMX-AA-072-SCFI-2001
Fósforo	mg/L	NMX-AA-063-SCFI-2001
Grasas y Aceites	mg/L	NMX-AA-005-SCFI-2000
Manganeso	mg/L	EPA-6010B
Mercurio	mg/L	EPA-6010B
Nitratos	mg/L N-NO ₃	NOM-AA-079-SCFI-2001
Nitritos	mg/L N-NO ₂	EPA-354.1
Nitrógeno amoniacal	mg/L	NMX-AA-026-SCFI-2001
Nitrógeno total	mg/L	NMX-AA-026-SCFI-2001
Oxígeno Disuelto	mg/L	EPA 4500-O-C*
pH	pH	NMX-AA-008-SCFI-2001
Plomo	mg/L	EPA-6010B
S.A.A.M.	mg/L	NMX-AA-039-SCFI-2001
Sólidos Totales	mg/l	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sólidos Disueltos Totales.	mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2001

Sólidos sedimentables	mg/L	NMX-AA-004-2000
Sólidos Suspendidos Totales.	Mg/L	NMX-AA-034-SCFI-2001
Sulfatos	mg/L SO4	NMX-AA-074-1981
Temperatura	°C	EPA 2550-B*
Turbiedad	UTN	NMX-AA-038-SCFI-2001

(*) APHA, AWWA-WDCF, 1992,

Tabla 15. Descripción de métodos analíticos en agua

Parámetro	Método Analítico
Alcalinidad Total	Método Volumétrico, la alcalinidad presente en el agua se mide por titulación con una solución valorada de un ácido mineral diluido en presencia de un indicador de color (Anaranjado de Metilo)
Cloruros	Método Argentométrico de Morh, también llamado de nitrato de plata, la determinación se basa en la formación de cromato de plata de color rojizo insoluble, esto ocurre cuando se adicionan al agua iones cromato como indicador e iones de plata como reactivo precipitante.
Conductividad	Método Electrométrico, se trata de una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica, capacidad que dependerá del tipo de iones presentes en la disolución de una concentración y naturaleza, así como de la temperatura a la que se efectúe la medida.
Cromo +6	Método Espectrofotométrico de la difenilcarbazida.
Demanda Química De Oxígeno	Método de la oxidación ácida, se basa en la oxidación enérgica de la materia orgánica y de la inorgánica oxidable que se encuentra en el agua, en un medio fuertemente ácido, con una solución valorada de dicromato de potasio. El exceso del agente oxidante se titula con una solución valorada de sulfato ferroso amoniacal en presencia de un complejo ferroso de ortofenantrolina como indicador interno.
Dureza Total Dureza Calcica Dureza Magnesica	Método del EDTA, en este método los alcalinotérreos presentes en el agua forman un complejo con la sal disódica del ácido etilen-diaminotetracético EDTA, se emplea como indicador el negro de erio cromo T, el cual al ser agregado a una solución que contenga iones calcio y magnesio, reacciona formando complejos de un color rojo vino. Después se adiciona la sal disódica del ácido etilen-diaminotetracético EDTA, que remueve los iones calcio y magnesio de los complejos coloridos formando complejos solubles. Cuando ha sido agregada suficiente solución de EDTA, para liberar todos los iones calcio y magnesio, el indicador regresa a su color azul original. En un medio adecuadamente tamponado para evitar la precipitación del magnesio, el método permite determinar la suma de los iones calcio y magnesio.
Fósforo (Ortofosfatos)	Método del Ácido Ascórbico, en el cual el ortofosfato reacciona con molibdato en solución ácida para formar un complejo amarillo de fosfomolibdato. Este complejo es reducido por el ácido ascórbico para formar una especie de molibdeno de color azul, cuya intensidad es medida espectrofotométricamente.
Fósforo Total	Método de digestión ácida y valoración por el método del ácido ascórbico

Metales	Método de digestión ácida. El método de absorción atómica se basa en hacer pasar un haz de luz monocromática de una frecuencia tal que puede ser absorbido por el analito que se encuentra presente en forma de vapor atómico. La medida de la intensidad luminosa antes y después de su paso por el vapor atómico permite determinar el porcentaje de absorción. La cantidad de absorción aumenta con la concentración de los átomos en el medio absorbente, es decir, la medida de la absorción aumenta con la concentración del elemento en la muestra, ya sea que esté en su condición original o sujeta a pretratamiento. La determinación se realiza en un espectrómetro de absorción atómica adaptado con horno de grafito para Cd, Cr, Pb y Ni, con flama para Al, Cu, Fe, Mn y Zn, y con generador de hidruros en frío para As y Hg.
Nitrógeno De Nitratos	Método colorimétrico de la reducción con cadmio, reduciendo los nitratos a nitritos.
Nitrógeno De Nitritos	Método Espectrofotométrico de la Diazotización. El principio del método consiste en que los nitritos presentes reaccionan en medio ácido (pH = 1.9 a 2.5), por diazotación con la sulfanilamida para formar una sal de diazonio, la cual por copulación con el dihidrocloruro de N-(1-Naftil) etilendiamina forma un colorante azoico de color púrpura rojizo que se mide espectrofotométricamente a 543 nm.
Oxígeno Disuelto	Método electrométrico, utilizando un electrodo de membrana unible al oxígeno, en determinaciones de campo. En laboratorio se aplica el método iodométrico de Winkler.
pH	Método Electrométrico, se basa en la determinación de la actividad de los iones hidrógeno medidos en un potenciómetro usando un electrodo de vidrio y otro de referencia. La fuerza electromotriz producida por el sistema de electrodos es proporcional al pH de la solución problema.
S.A.A.M. (Detergentes)	Método espectrofotométrico del Azul de Metileno, se basa en la reacción de las sustancias surfactantes con el azul de Metileno, que da lugar a la formación de una sal azul, soluble en cloroformo, cuya intensidad de color es directamente proporcional a su concentración, se mide a 650 nm.
Sólidos Disueltos Totales.	Método Gravimétrico, se basa en la evaporación y calcinación de la muestra, en donde los residuos de una y otra operación sirven de base para el cálculo del contenido de sólidos.
Sólidos Suspendidos Totales.	Método Gravimétrico, son aquellos retenidos en filtros de fibra de vidrio, se secan en estufa a 103-105 °C y se pesan.
Sólidos Sedimentables	Método Volumétrico, se llena un cono imhoff con 1 l de muestra y se observa el material sedimentado a las 2 horas.
Sólidos Totales	Método Gravimétrico. Se realiza tras evaporar en placa de porcelana la muestra y secarla a 103-105 °C.
Sulfatos	Método turbidimétrico, los sulfatos son precipitados con cloruro de bario, formando un precipitado de sulfato de bario que se determina turbidimétricamente.
Temperatura	Método Visual, mediante termómetro de mercurio.
Turbiedad	Método Nefelométrico, el procedimiento se basa en la comparación de la intensidad de la luz dispersada por la muestra bajo condiciones definidas, con la intensidad de la luz dispersada por una suspensión de referencia estándar (Polímero de formazina), en condiciones semejantes.
Turbiedad Secchi	Método Visual, mediante el uso del disco metálico de Secchi, determinando la distancia mínima observable.

Nota: La parte de muestreo y analítica de las muestras fue realizada por parte del laboratorio de la Comisión Estatal del Agua (CEA) de Jalisco, bajo una estricta disciplina y responsabilidad.

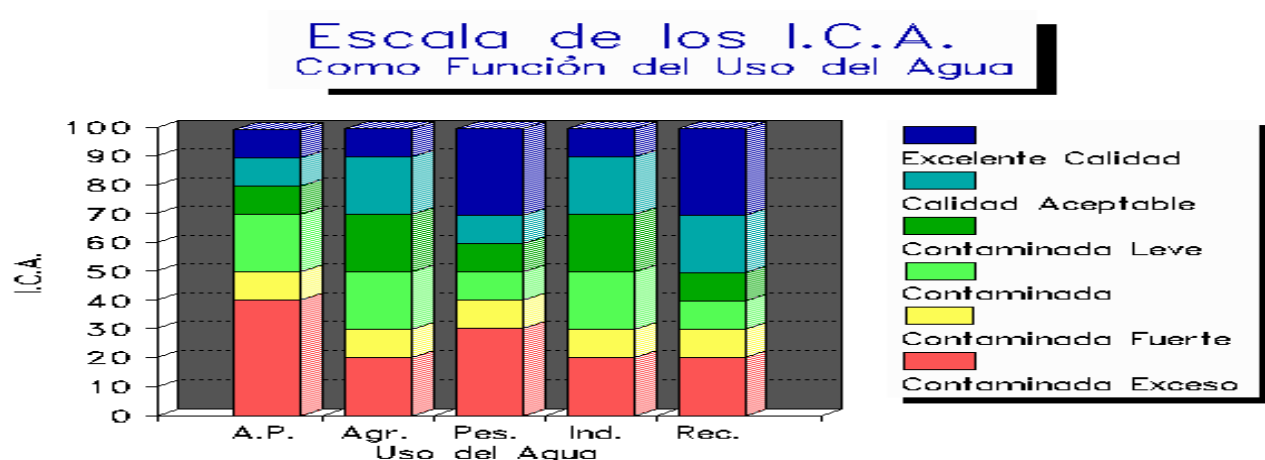
6.4 Metodología de Cálculo del Índice de Calidad de Aguas (ICAS).

Se presentará un sistema indicador de la calidad del agua, que agrupa los parámetros contaminantes más representativos dentro de un marco unificado, como un instrumento que permita identificar el deterioro o mejora de la calidad a lo largo del Río Santiago. Así como también el riesgo tóxico ambiental que pueda existir por la calidad que presente en los sitios contaminados.

Para el cálculo del índice de calidad del agua, ICA, se utilizara la metodología propuesta por Martínez de Bascaran (1979), que es unas de las metodologías más utilizadas, permite obtener un valor variable de 0 a 100 como ICA y define la situación de forma que si el agua es buena, su valor será próximo a 100, y cuanto peor sea, más bajo será dicho número.

El índice proporciona un valor global de la calidad del agua, en función de los valores individuales de una serie de parámetros, para lo cual se realizan varias transformaciones numéricas en cada uno de los resultados a integrar. Para elaborar el ICA, se seleccionaron aquellos parámetros de calidad del agua más usuales en la evaluación de lagos y que se enumeran en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (CE-CCA-001-89) así como los utilizados en la NOM-127-SSA1-1994 y son: pH, Cloruros, Conductividad, S.A.A.M. (Detergentes), Dureza Total, Turbiedad, Nitratos, Sulfatos, Nitritos, Coliformes Totales, Oxígeno Disuelto, Sólidos Disueltos Totales, Fósforo Total y Temperatura, entre otros. Se utilizaron los datos microbiológicos de Castañeda et a., (1997).

La metodología aplicada se detalla con más precisión en el **Anexo 1** del presente trabajo.



Gráfica 1 Rangos de cuantificación del ICA en función al uso del agua.

6.5 Legislación Utilizada en el Análisis

6.5.1 Análisis Toxicológico

El análisis toxicológico se hará con fuentes bibliográficas de trabajos ya realizados sobre toxicología ambiental. Apoyándonos en las Leyes y Normas Oficiales Mexicanas vigentes, que establecen los límites de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para uso y consumo humano, como son:

- **NOM-127-SSA1-1994**, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.
- **NOM-014-SSA1-1994**, Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano, en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados.
- **Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001-89** Fecha de publicación en Diario Oficial 13 de diciembre de 1989, Fecha de entrada en vigor 14 de diciembre de 1989.

6.6 Procedimientos para el análisis de resultados

Los resultados obtenidos se analizan de la siguiente manera: se realiza un análisis de cada uno de los 10 puntos de muestreo a lo largo del río Santiago, pero al mismo tiempo se obtienen datos de los 17 meses de muestreo. Por lo tanto tendremos como resultado la variabilidad espacial y temporal de cada uno de los parámetros a lo largo de todo el muestreo.

6.6.1 Variabilidad por punto de muestreo para parámetros fisicoquímicos.

Los resultados se tabularon y se estimó la media aritmética y la desviación estándar para cada punto de muestreo. La variabilidad global de cada uno de los 10 puntos de muestreo se expresa como la media aritmética y la desviación estándar típica. Los cálculos estadísticos se realizaron aplicando el programa SPSS® versión 20 para Windows®.

6.6.2 Variabilidad por mes de muestreo para parámetros fisicoquímicos.

Los resultados se tabularon y se estimó la media aritmética y la desviación estándar para cada mes de muestreo. La variabilidad global de cada uno de los 17 meses de muestreo se expresa como la media aritmética y la desviación estándar típica. Los cálculos estadísticos se realizaron aplicando el programa SPSS® versión 20 para Windows®.

6.6.3 Variabilidad por punto de muestreo para metales pesados.

Los resultados se tabularon y se estimó la media aritmética y la desviación estándar para cada punto de muestreo. La variabilidad global de cada uno de los 10 puntos de muestreo se expresa como la media aritmética y la desviación estándar típica. Los cálculos estadísticos se realizaron aplicando el programa SPSS® versión 20 para Windows®.

6.6.4 Variabilidad por mes de muestreo para metales pesados.

Los resultados se tabularon y se estimó la media aritmética y la desviación estándar para cada mes de muestreo. La variabilidad global de cada uno de los 17 meses de muestreo se expresa como la media aritmética y la desviación estándar típica. Los cálculos estadísticos se realizaron aplicando el programa SPSS® versión 20 para Windows®.

6.6.5 Variabilidad por punto de muestreo para materia orgánica

Los resultados se tabularon y se estimó la media aritmética y la desviación estándar para cada punto de muestreo. La variabilidad global de cada uno de los 10 puntos de muestreo se expresa como la media aritmética y la desviación estándar típica. Los cálculos estadísticos se realizaron aplicando el programa SPSS® versión 20 para Windows®.

6.6.6 Variabilidad por mes de muestreo para materia orgánica.

Los resultados se tabularon y se estimó la media aritmética y la desviación estándar para cada mes de muestreo. La variabilidad global de cada uno de los 17 meses de muestreo se expresa como la media aritmética y la desviación estándar típica. Los cálculos estadísticos se realizaron aplicando el programa SPSS® versión 20 para Windows®.

6.6.7 Procedimientos para el análisis de resultados en agua

El análisis de resultados incluye la representación gráfica de la variabilidad estacional y espacial de los parámetros de calidad del agua, se incluye la graficación del ICA obtenido.

6.6.8 Cálculo de variabilidad espacial y temporal en agua

Los resultados obtenidos para cada parámetro se tabularon y se estimó la media aritmética y la desviación estándar para cada punto y mes de muestreo. La variabilidad global de cada una de las 10 y 17 campañas de muestreo respectivamente se expresa como la media aritmética y la desviación estándar típica. Los cálculos estadísticos se realizaron aplicando el programa SPSS® versión 20 para Windows®.

6.6.9 Evaluación de los resultados con la normatividad vigente

Los resultados obtenidos se evaluarán con la normatividad vigente, enumerando con esta las limitantes de uso derivados de la calidad del agua en estudio. Al mismo tiempo se establecen las limitantes de uso derivadas de la calidad del agua evaluada y los posibles impactos a la salud ambiental.

RESULTADOS

7.1 Análisis de agua

En el análisis de los resultados obtenidos se ha considerado para la estimación de los valores promedio de cada uno de los parámetros evaluados sólo a las estaciones del RS1 a la RS10, ya que la AA1, AA2 y RZ1 corresponde al Arroyo el Ahogado y al Río Zula respectivamente, y como tal refleja condiciones de calidad del agua que no son propias del Río Santiago sino de un afluente al mismo.

7.1.1 Análisis fisicoquímicos, metales pesados y microbiológicos, variabilidad espacial y estacional.

7.1.2 Alcalinidad total

La figura 7 muestra los valores promedios de alcalinidad total y su variabilidad (desviación estándar) espacial en los 17 meses de muestreo. Se aprecia un valor promedio homogéneo en el río entre las estaciones (RS1, RS2, RS3 y las RS7, RS8, RS9, RS10), mientras que las estaciones (RS4, RS5, RS6) muestran la influencia de los procesos urbanos e industriales que se encuentran en los puntos de muestreo del agua, ya que se presentan valores de alcalinidad mayores en el agua a diferencia del resto de los puntos de muestreo.

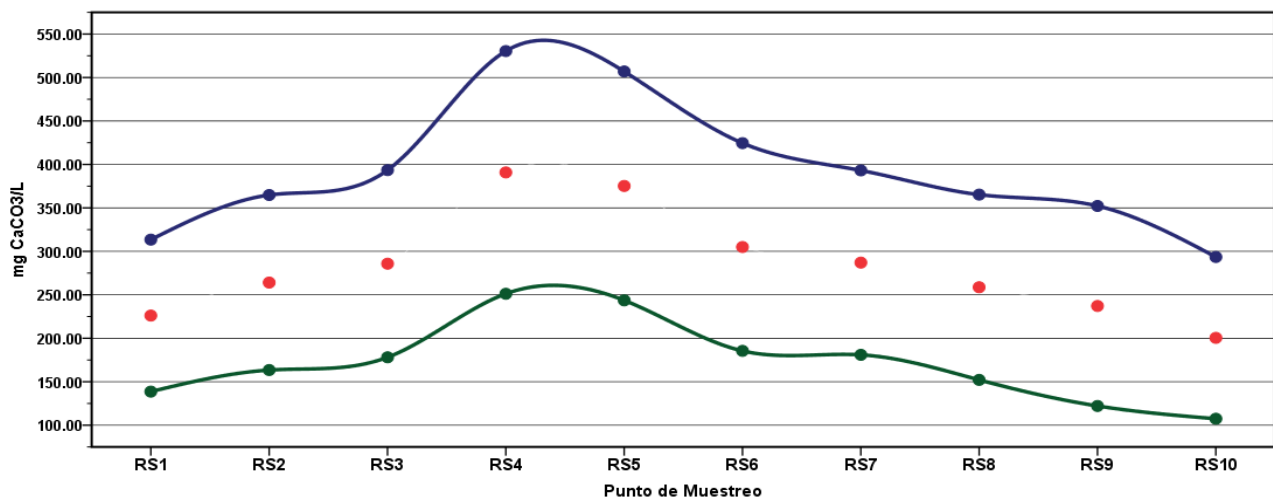


Figura 7. Alcalinidad total, variabilidad promedio espacial de 10 puntos de muestreo

La figura 8 muestra la variabilidad promedio estacional de la alcalinidad total en los 17 meses de muestreo, se observa como en los meses (**Mayo 2009, Junio 2009, Julio 2009, Agosto 2009, Septiembre 2009, Octubre 2009**) que corresponden al periodo de mayor ingreso de agua la variabilidad es mayor, y en los meses (**Noviembre 2009, Enero 2010, Febrero 2010, Marzo 2010**) que corresponden al periodo de menor ingreso de agua la variabilidad es menor y dados los valores heterogéneos de alcalinidad que se presentan. El agua del Rio Santiago presenta una alcalinidad total elevada, con un promedio en el seguimiento de 238 ± 05 mg/L CaCO₃, y con tendencia ascendente.

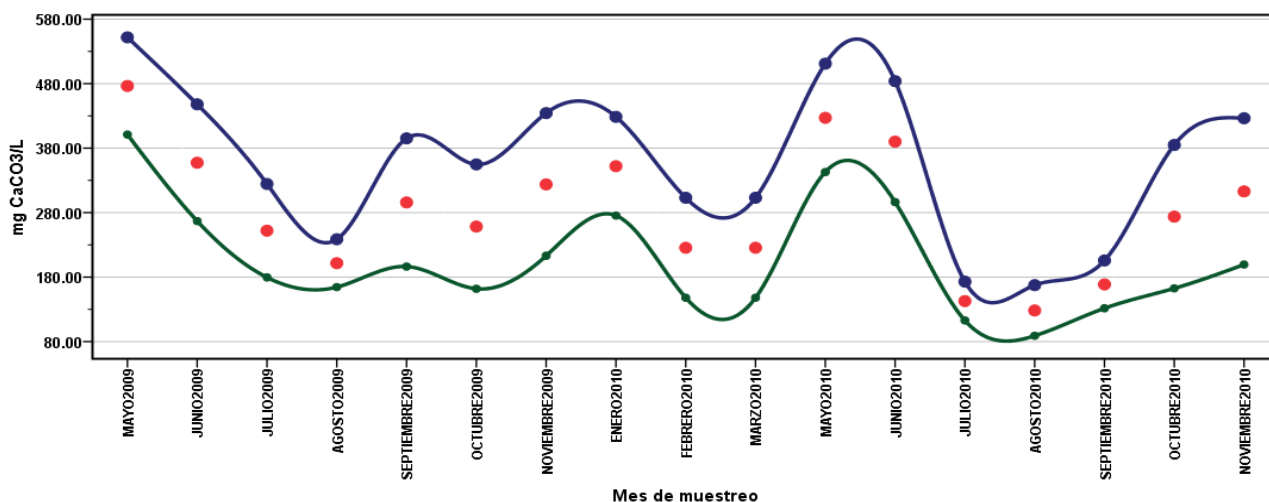


Figura 8. Alcalinidad total, variabilidad promedio estacional de 17 meses

La alcalinidad de un agua expresa su capacidad para neutralizar ácidos y constituye la suma de todas las bases titulables. La alcalinidad de las aguas naturales depende primordialmente de su contenido en carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, por lo que suele tomarse como una indicación de la concentración de estos componentes, hay que señalar que los valores señalados pueden incluir también la contribución de cloratos, fosfatos, silicatos y otras bases, cuando se hallan presentes. La alcalinidad se determina ya sea a punto final de pH 4.6 (Total) o bien a pH 8.3 (Fenolftaleína), estas dos determinaciones permiten un medio de clasificación estequiométrica de las tres formas principales de alcalinidad presentes estableciendo lo siguiente:

1.- La alcalinidad de carbonato se presenta cuando la de la fenolftaleína no es 0, sino menor que la total.

2.- La alcalinidad de hidróxido se presenta si la de la fenolftaleína supera la mitad de la total.

3.- La alcalinidad de bicarbonato se presenta si la de la fenolftaleína supera la mitad de la total.

Estas relaciones pueden calcularse mediante el esquema de la tabla 28, donde P es la alcalinidad de la Fenolftaleína y T la total.

Tabla 26. Algoritmos de especiación de la alcalinidad

Resultado de la titulación	Alcalinidad de hidróxidos como CaCO_3	Alcalinidad de carbonatos como CaCO_3	Alcalinidad de bicarbonatos como CaCO_3
$P = 0$	0	0	T
$P < \frac{1}{2} T$	0	2P	T-2P
$P = \frac{1}{2} T$	0	2P	0
$P > \frac{1}{2} T$	2P-T	2(T-P)	0
$P = T$	T	0	0

Fuente: APPA-AWWA-WDCF, 1992.

La interpretación y clasificación del agua en atención a sus capacidades productivas a partir de la alcalinidad se muestra en la tabla 30.

Tabla 37. Clasificación del agua en función de la alcalinidad

Alcalinidad total	Clase	Interpretación
$T < 25$	1	Alc. excesivamente débil, aguas muy poco productivas
$25 < T < 50$	2	Alc. muy débil, aguas dulces poco productivas
$50 < T < 100$	3	Alc. débil, productividad media
$100 < T < 150$	4	Alc. débil, productividad mayor
$150 < T < 250$	5	Alc. media, aguas muy productivas
$250 < T < 350$	6	Alc. Fuerte, aguas contaminadas
$T > 350$	7	Alc. Muy fuerte, aguas muy contaminadas

Fuente: Nisbet y Verneaux, 1970.

Al comparar los valores promedio obtenidos en cada punto de muestreo, se puede observar cómo evoluciona la calidad del agua de la clase 5 a la clase 7.

En cambio los valores promedios obtenidos por cada mes de muestreo, se puede observar cómo evoluciona la calidad de acuerdo a la dilución del agua y como va en aumento de la clase 4 a la clase 7.

Los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001-89 establecen valores límite de alcalinidad total según los usos del agua, siendo de $\geq 25\%$ Alcalinidad Natural para protección a la vida acuática en agua dulce y de 400 mg/L CaCO₃ para fuente de abastecimiento público. Por lo que los niveles encontrados en el agua del Río Santiago con promedio en el seguimiento de 238 ± 05 mg/L CaCO₃ permiten la utilización del agua para dichos usos. No obstante se deberán de considerar los puntos de muestreo y los meses para el uso de la misma.

7.1.3 Cloruros Totales

La figura 9 muestra los valores promedios de cloruros y su variabilidad (desviación estándar) espacial en los 17 meses de muestreo. Se aprecia un valor promedio homogéneo a lo largo del Río (RS1 al RS10), mientras que los puntos (RS3, RS4, RS7) muestran un aumento considerable, probablemente esto se deba por la influencia de algunos factores externos pertenecientes a la zona de muestreo, ya que se presentan valores de cloruros menores en el agua del influente.

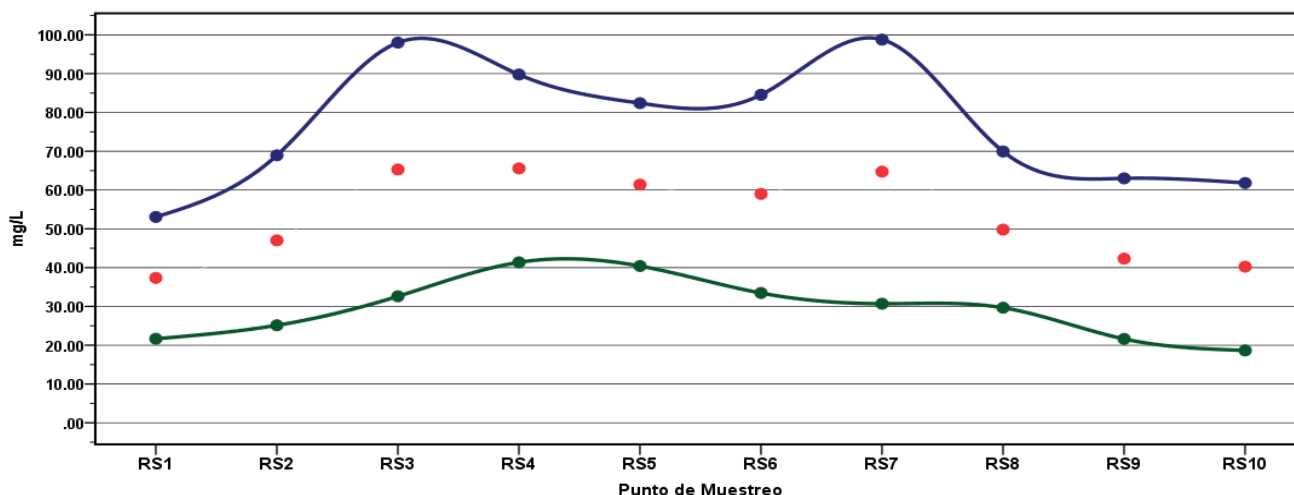


Figura 9. Cloruros, variabilidad promedio espacial de 10 puntos de muestreo.

La Figura 10 muestra la variabilidad promedio estacional de cloruros en los 17 meses de muestreo, se observa como al inicio del muestreo se observan concentraciones altas de cloruros estas se mantienen hasta (Agosto 2009) debido a la entrada de agua de la temporada de lluvia, la concentración continua de manera ascendente hasta finales de (Enero 2010) en donde se vuelve apreciar un descenso en la concentración aumentando

este de nuevo en los meses de (**Mayo 2010, Junio 2010**) respectivamente. Se aprecia cómo influyen los procesos de dilución a lo largo del periodo de muestreo.

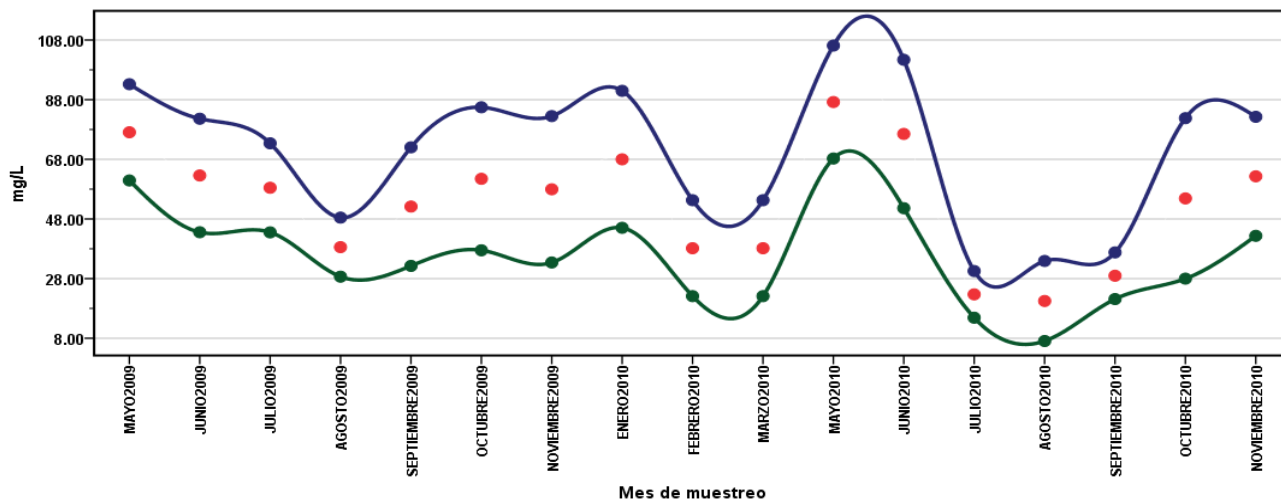


Figura 10. Cloruros, variabilidad promedio estacional de 17 meses de muestreo.

El ión cloruro es uno de los aniones inorgánicos principales en el agua natural. Tiene la capacidad de proveer al agua un sabor salado y depende de la composición química del agua, si el catión presente en el agua que acompaña al cloruro es sodio, se presenta un sabor salado con una concentración de 250 mg/L, en cambio, si el catión predominante es el calcio y el magnesio el sabor puede estar ausente hasta concentraciones de 1000 mg/L. El ión cloruro en exceso en el agua afecta el crecimiento vegetal, así como dañar estructuras metálicas y conducciones, y limita el uso del agua en actividades industriales y alimenticias. La interpretación y clasificación del agua a partir de la concentración de cloruros se muestra en la tabla 28.

Tabla 28. Clasificación del agua en función de cloruros

Cloruros	Clase	Interpretación
Cl < 2	1	Aguas dulces, carentes de contaminación
2 < Cl < 5	2	
5 < Cl < 10	3	Aguas de cursos de pre montaña, en regiones calizas principalmente
10 < Cl < 20	4	
20 < Cl < 50	5	Aguas muy productivas
50 < Cl < 100	6	Aguas contaminadas

Fuente: Nisbet y Verneaux, (1970)

Al comparar los valores promedio de cloruros evaluados de 53.27 mg/L en el periodo de muestreo, se observa que el agua se encuentra en la clase 5 con evolución hacia la clase 6, esto principalmente por la disminución de los aportes estacionales de agua y el aumento de concentración por evaporación y/o re suspensión.

Los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CCA-001-89 para protección a la vida acuática en agua dulce, así como la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 “Salud Ambiental, Agua Para Uso y Consumo Humano-Límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que Debe Someterse el Agua Para su Potabilización”, establecen valores límite de cloruros según los usos del agua, siendo de 250 mg/L para fuente de abastecimiento público y para protección a la vida acuática marca el mismo limite. Por lo que los límites encontrados permiten la utilización del agua en ambos usos.

7.1.4 Conductividad

La **Figura 11** muestra los valores promedios de conductividad y su variabilidad (desviación estándar) espacial en los 17 meses de muestreo. Se aprecia desde el primer punto de muestreo **RS1** como va aumentando la conductividad teniendo como punto más alto el **RS4** perteneciente al Salto de Juanacatlán, se observa como después de este punto hay una disminución considerable hasta llegar al **RS10**.

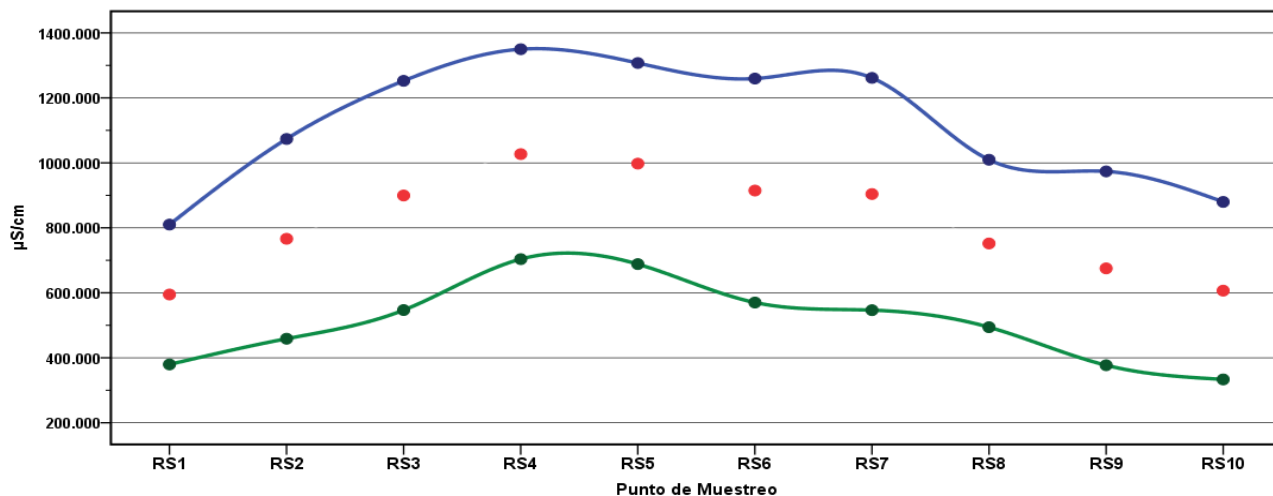


Figura 9. Conductividad, variabilidad promedio espacial de 10 puntos de muestreo.

La **Figura 12** muestra la variabilidad promedio estacional de la conductividad en los 17 meses de muestreo, se observa como al inicio del muestreo en el mes de **(Mayo 2009)** se tienen una conductividad mayor la cual va en descenso con la entrada de agua por el temporal de lluvias, hasta en los meses de **(Noviembre 2009, Enero 2010, Mayo 2010 y Junio 2010)** en donde se observa claramente que existe un aumento el cual se puede deber a la disminución en la entrada de agua. Se aprecia una tendencia estacional que va relacionada con el temporal de lluvias a lo largo del muestreo.

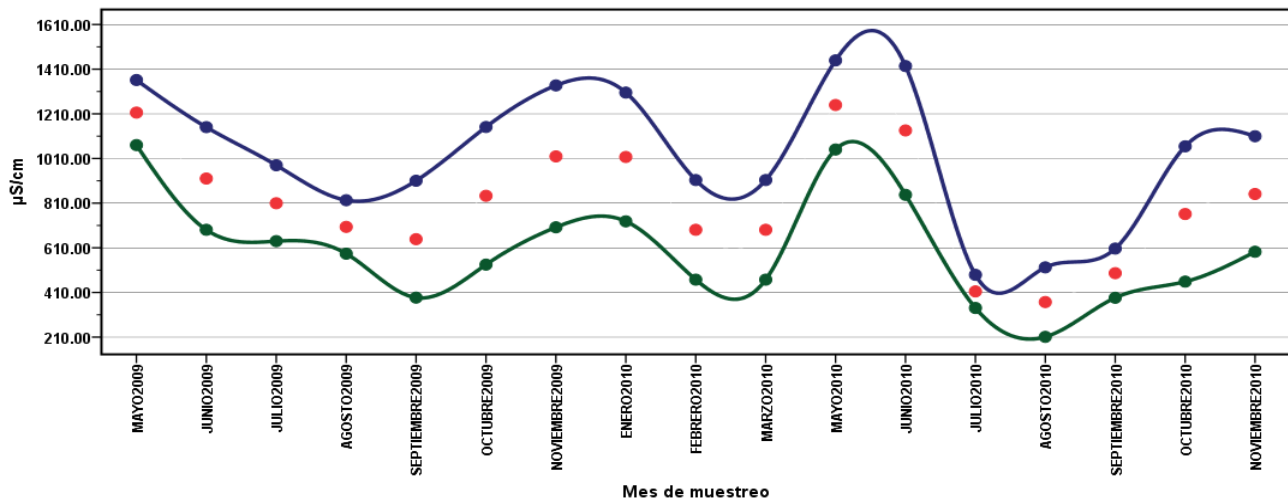


Figura 12. Conductividad, variabilidad promedio estacional de 17 meses de muestreo.

La conductividad es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones y de su concentración total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas, así como de la temperatura de la medición.

La conductividad se mide como resistividad, de la cual el recíproco de ésta es la conductancia, que mide la capacidad para conducir una corriente y se expresa en ohmios recíprocos o mhos, siendo más frecuente la expresión micromhos por centímetro cuadrado ($\mu\text{mhos}/\text{cm}^2$). En el Sistema Internacional de Unidades (SIU), el recíproco del ohmio es el Siemen (S) y la conductividad se expresa en milisiemens por metro (mS/m); $1 \text{ mS}/\text{m} = 10 \mu\text{mhos}/\text{cm}$. Para expresar resultados en unidades SIU se dividen $\mu\text{mhos}/\text{cm}$ por 10.

Las aguas naturales y potables oscilan generalmente entre 50 y 1.500 $\mu\text{mhos}/\text{cm}$, mientras que algunos residuos industriales, metálicos principalmente llegan a tener 10.000 $\mu\text{mhos}/\text{cm}$. En el agua la conductividad elevada puede intervenir en los equilibrios químicos, efectos fisiológicos en plantas y animales, tasas de corrosión, etc. Se suele presentar una correlación entre los valores de conductividad y sólidos disueltos, llegando incluso a obtener factores de proporcionalidad en ciertos cuerpos de aguas. La clasificación de las aguas según su salinidad, se presenta en la tabla 29.

Tabla 29. Clasificación del agua en función de conductividad

Conductividad Eléctrica µmhos/cm	Alcalinidad Total mg/L	Tipo de Agua
40-700	0-40	Dulces, Blandas
40-700	41-200	Dulces, Duras
300-18.000	>200	Salobres
3.500-100.000	>200	Saladas

Fuente: Canadian Forestry Service, 1969.

Los valores estimados en el seguimiento muestran un valor promedio de conductividad en el agua de 813.76 µmhos/cm, lo que le permite considerarle de acuerdo al cuadro anterior como un salobre, provocada por la elevada presencia de iones conductores de la electricidad, principalmente los causantes de la dureza y los metálicos como Al, Fe, Mn, etc.

No se establece límites para la Conductividad, tanto en Los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001-89 para la protección a la vida acuática en agua dulce como en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 “Salud Ambiental, Agua Para Uso y Consumo Humano-Límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que Debe Someterse el Agua Para su Potabilización”.

7.1.5 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La figura 13 muestra los valores promedio de Demanda Química de Oxígeno y su variabilidad (desviación estándar) espacial en los 17 meses de muestreo. Se aprecia un valor promedio homogéneo a lo largo del Río (RS1 a RS10), a excepción del RS7 que muestra un aumento significativo, probablemente se deba la entrada de agua proveniente del Río Verde Grande.

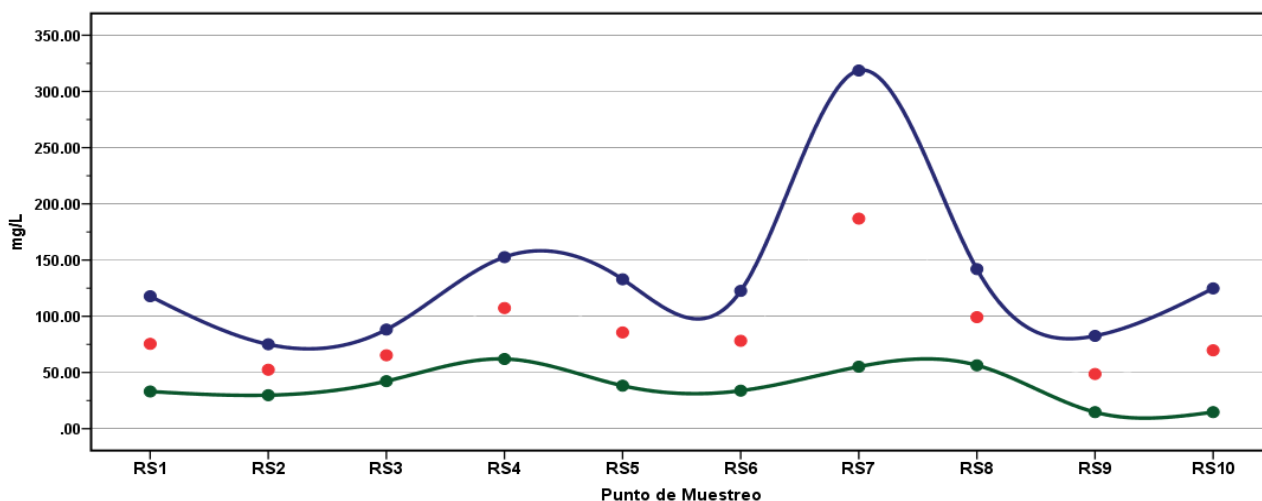


Figura 13. Demanda Química de Oxígeno (DQO), variabilidad promedio espacial de 10 puntos de muestreo.

La figura 14 muestra la variabilidad promedio estacional de la Demanda Química de Oxígeno en los 17 meses de muestreo, se observa un comportamiento homogéneo en los meses de muestreo a excepción de (Mayo 2009, Junio 2010 y Octubre 2010) los cuales se observa un aumento por el inicio de las lluvias, cuyos aportes de materia orgánica son mayores, así como la re suspensión de materia orgánica por factores meteorológico.

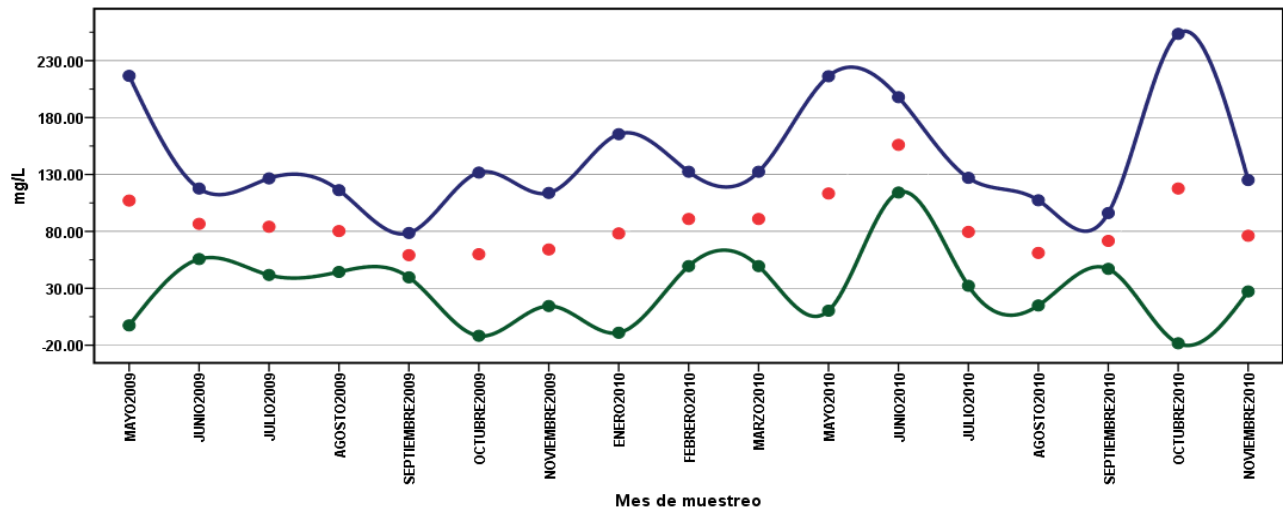


Figura 14. Demanda Química de Oxígeno (DQO), variabilidad promedio estacional de 17 meses de muestreo.

La DQO se utiliza como una medida del equivalente de oxígeno del contenido de materia orgánica de una muestra susceptible de oxidación por un oxidante químico. Para cuerpos de agua específicos, la DQO puede relacionarse empíricamente con la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), el Carbono Orgánico, o la Materia Orgánica.

No se establece límites para la Demanda Química de Oxígeno, tanto en Los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001-89 para la protección a la vida acuática en agua dulce, como en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 “Salud Ambiental, Agua Para Uso y Consumo Humano-Límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que Debe Someterse el Agua Para su Potabilización”.

7.1.6 Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5)

La figura 15 muestra los valores promedios de Demanda Biológica de Oxígeno y su variabilidad (desviación estándar) espacial en los 17 meses de muestreo. Se aprecia un valor promedio homogéneo a lo largo del Río (RS1 a RS10), a excepción del RS7 que muestra un aumento significativo, probablemente se deba la entrada de materia orgánica proveniente del Río Verde Grande.

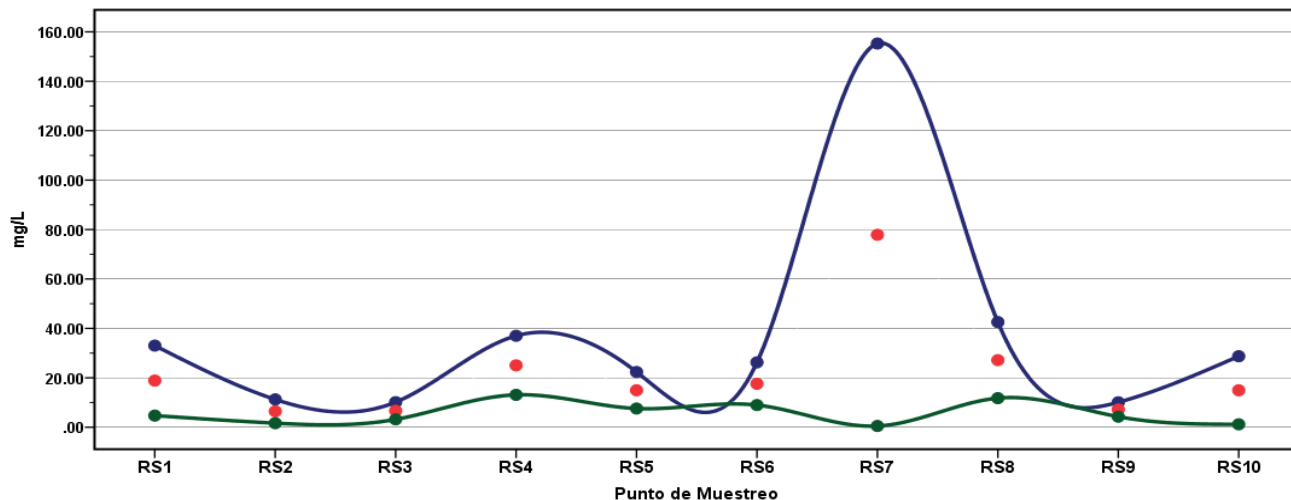


Figura 15. Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5), variabilidad promedio espacial de 10 puntos de muestreo.

La figura 16 muestra la variabilidad promedio estacional de la Demanda Biológica de Oxígeno en los 17 meses de muestreo, se observa un comportamiento homogéneo en los meses de muestreo a excepción de (Mayo 2009, Enero 2010, Mayo 2010 y Octubre 2010) los cuales se observa un aumento por el inicio de las lluvias, cuyos aportes de materia orgánica son mayores, así como la re suspensión de materia orgánica por factores meteorológico

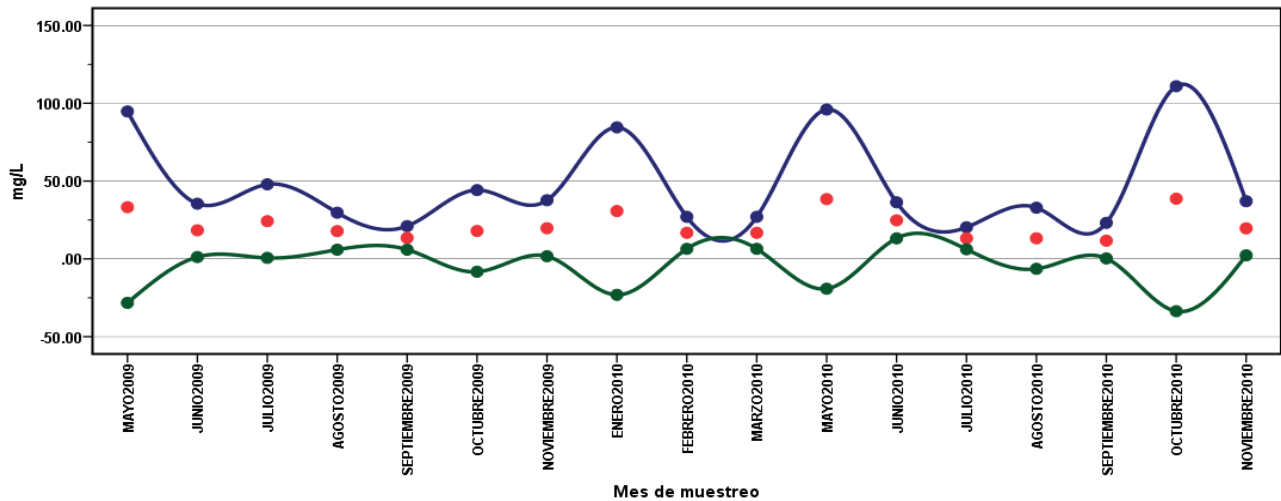


Figura 16. Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5), variabilidad promedio estacional de 17 meses de muestreo.

La demanda 'bioquímica' de oxígeno (DBO), es un parámetro que mide la cantidad de materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, disuelta o en suspensión. Se utiliza para medir el grado de contaminación, normalmente se mide transcurridos cinco días de reacción (DBO5), y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mgO₂/l). El método de ensayo se basa en medir el oxígeno consumido por una población microbiana en condiciones en las que se ha inhibido los procesos fotosintéticos de producción de oxígeno en condiciones que favorecen el desarrollo de los microorganismos.

No se establece límites para la Demanda Biológica de Oxígeno, tanto en Los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001-89 para protección a la vida acuática en agua dulce, como en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 "Salud Ambiental, Agua Para Uso y Consumo Humano-Límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que Debe Someterse el Agua Para su Potabilización

7.1.7 Dureza Total

La figura 17 muestra los valores promedios de Dureza Total y su variabilidad (desviación estándar) espacial en los 17 meses de muestreo. Se aprecia un valor promedio homogéneo en una parte del Río (RS1 a RS5), mientras que los puntos de muestreo (RS6 a RS10) se observa un descenso en la dureza total probablemente por la dilución que genera la entrada de agua del Río Verde Grande.

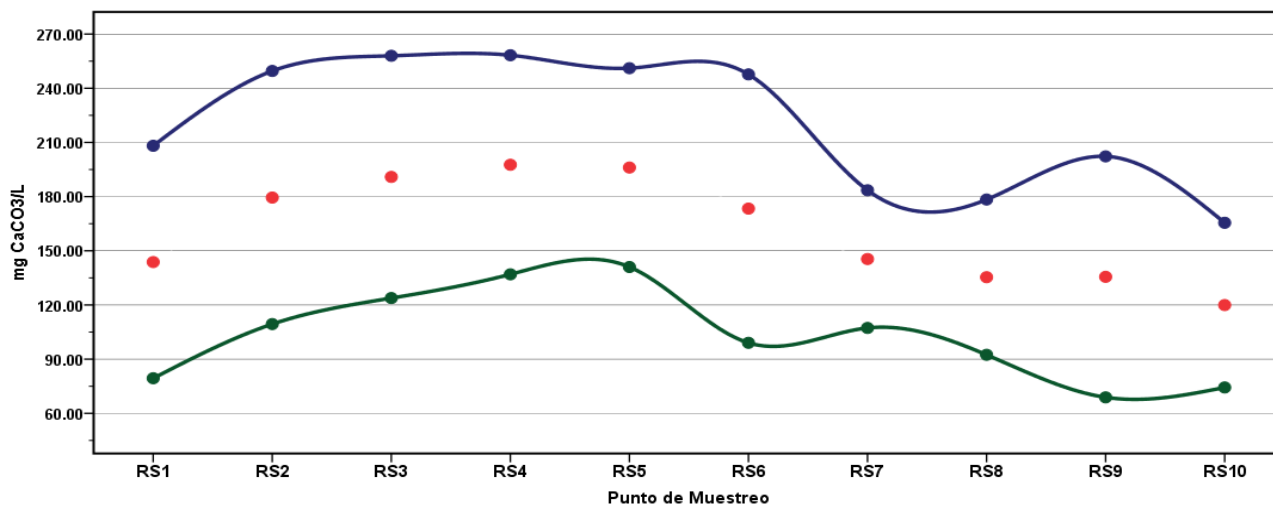


Figura 17. Dureza Total, variabilidad promedio espacial de 10 puntos de muestreo.

La figura 18 muestra la variabilidad promedio estacional de la Dureza Total en los 17 meses de muestreo, se observa como a lo largo del monitoreo de presenta un diferencia muy significativa en la concentración, en donde se puede observar que el aumento corresponde al periodo de menor ingreso de agua, la variabilidad es mayor, mientras que en los meses con menor ingreso de mayor ingreso de agua la variabilidad en menor y tiende a ser homogénea.

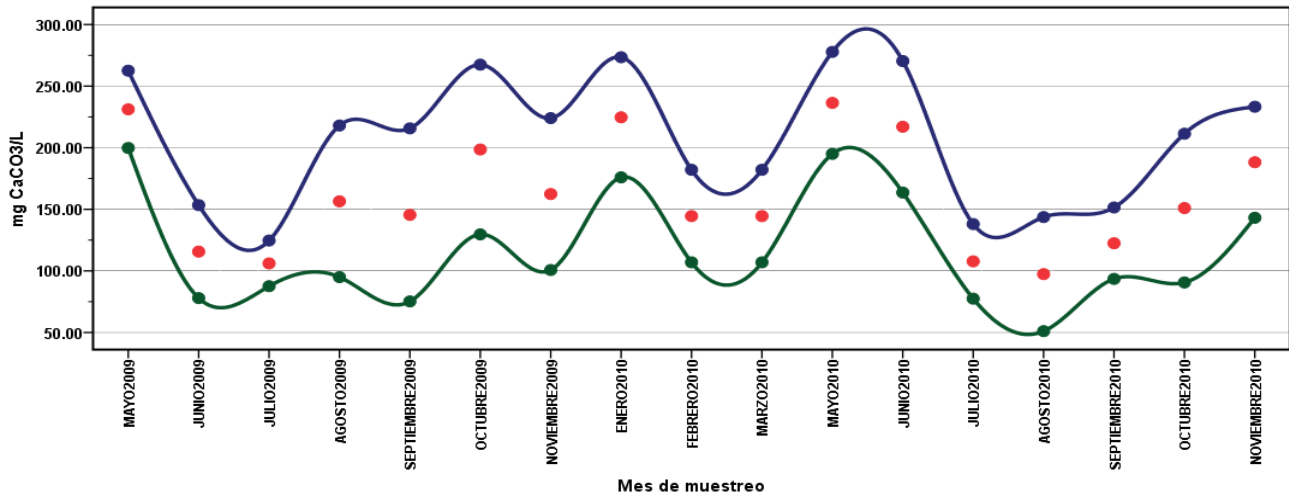


Figura 18. Dureza Total, variabilidad promedio estacional de 17 meses de muestreo.

Originalmente, la dureza del agua se interpretó como una medida de su capacidad para precipitar el jabón, el cual es precipitado preferentemente por los iones calcio y magnesio. Otros cationes polivalentes tienen también esta capacidad, aunque suelen encontrarse en formas complejas como compuestos orgánicos y su influencia en la dureza puede ser difícil de determinar.

De acuerdo con los criterios actuales, la dureza total de un agua se define como la suma de las concentraciones de calcio y magnesio, ambos expresados como carbonato de calcio, en mg/L. La interpretación y clasificación del agua a partir de la dureza se muestra en la tabla 30.

Tabla 30. Clasificación del agua a partir de la concentración de dureza

Dureza	Clase	Interpretación
$D < 10$	1	Aguas muy pobres, poco piscícolas (Oligotrofia)
$10 < D < 20$	2	Productividad débil
$20 < D < 40$	3	Productividad mediocre
$40 < D < 80$	4	Productividad media
$80 < D < 110$	5	Aguas piscícolas típicas, muy productivas (Eutrofia)
$110 < D < 150$	6	Aguas duras
$D > 150$	7	Aguas incrustantes muy duras.

Fuente: Nisbet y Verneaux, 1970.

Los resultados estimados en el seguimiento muestran un valor promedio de dureza total en el agua de 161.75 ± 58.49 mg/L CaCO₃, lo que permite considerarle de acuerdo al cuadro anterior como un agua incrustante y muy dura, típica de sistemas eutróficos.

No se establecen límites para la dureza total en Los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001-89, para protección a la vida acuática en agua dulce, mientras que en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 "Salud Ambiental, Agua Para Uso y Consumo Humano-Límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que Debe Someterse el Agua Para su Potabilización", se establece un valor límite de 500 mg/L CaCO₃.

7.1.8 Fluoruros

La figura 19 muestra los valores promedio de los Fluoruros y su variabilidad (desviación estándar) espacial en los 17 meses de muestreo. Se aprecia un valor promedio homogéneo a lo largo del Río (RS1 a RS10). Con un aumento en la concentración en ciertos puntos del río no siendo significativo para la variabilidad espacial.

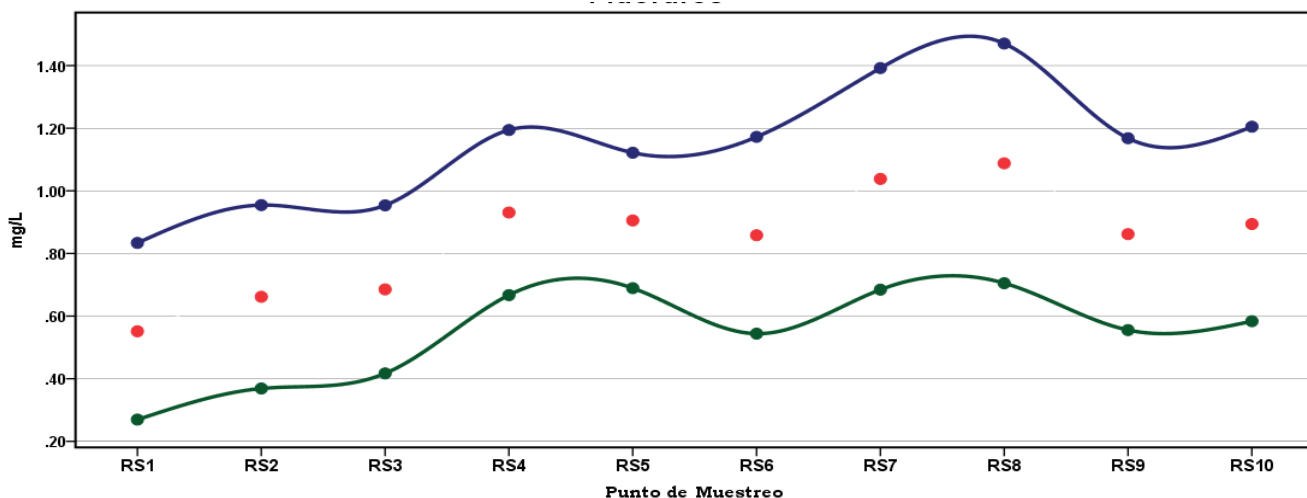


Figura 19. Fluoruros, variabilidad promedio espacial de 10 puntos de muestreo.

La figura 20 muestra la variabilidad promedio estacional de los Fluoruros en los 17 meses de muestreo, se observa como a lo largo del monitoreo de presenta un diferencia muy significativa en la concentración, en donde se puede observar que el aumento corresponde al periodo de menor ingreso de agua (**Mayo 2009, Junio 2009, Enero 2010, Febrero 2010, Mayo 2010, Junio 2010, Octubre y Noviembre 2010**), la variabilidad es mayor, mientras que en los meses de mayor ingreso de agua la variabilidad es menor y tiende a ser homogénea.

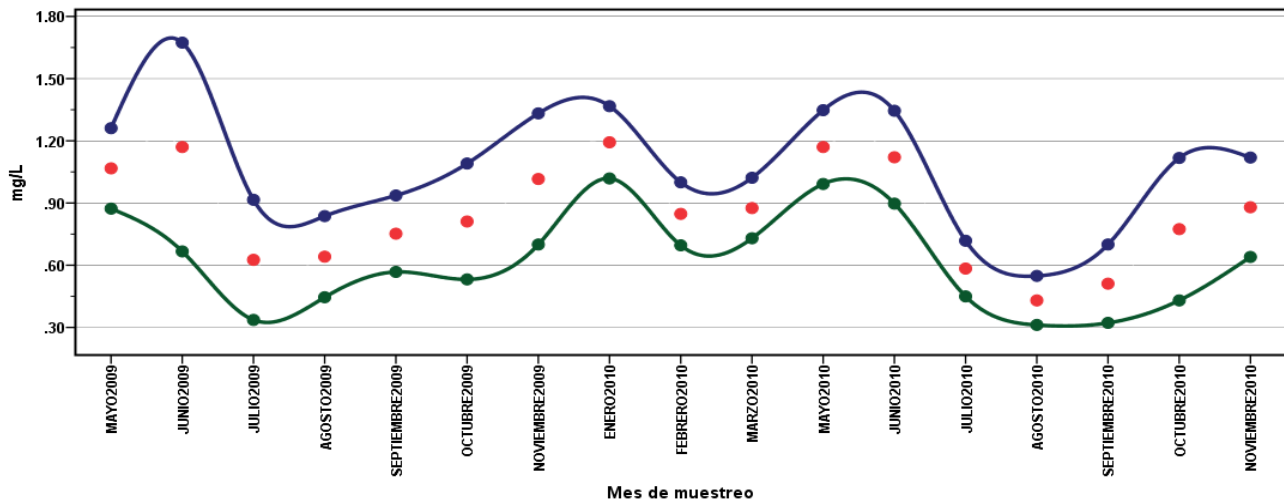


Figura 20. Fluoruros, variabilidad promedio estacional de 17 meses de muestreo.

Los iones fluoruro se encuentran en forma natural en el agua. El fluoruro forma complejos con silicio, aluminio y boro. Estos complejos pueden existir en el agua debido al uso de compuestos fluorados por la industria.

En muchas comunidades la fluoración de aguas potables se utiliza para la prevención de caries dental. Sin embargo en muchas regiones los niveles de fluoruro exceden con mucho los límites máximos permisibles y su presencia (natural) se convierte en un problema de salud pública. La determinación de fluoruros ha incrementado su importancia con el crecimiento de las prácticas de fluoración de aguas como una medida de salud pública. La mayoría de las aguas no contienen más allá de 0.3 mg/L de fluoruros, excepto cuando se contaminan con desechos industriales o aguas negras, sobre todo si provienen de industrias del acero, aluminio, fertilizantes, de la elaboración de esmaltes y vidrios, en la fabricación de gomas y almidones adhesivos así como del pre tratamiento de cueros y pieles.

Se establecen límites para los Fluoruros en Los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001-89, el límite permisible para protección a la vida acuática en agua dulce es de 1.0 mg/L mientras que en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 “Salud Ambiental, Agua Para Uso y Consumo Humano-Límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que Debe Someterse el Agua Para su Potabilización”, se establece un valor límite de 1.50 mg/L.

7.1.9 Fosforo Total

La figura 21 muestra los valores promedios de Fósforo Total y su variabilidad (desviación estándar) espacial en los 17 meses de muestreo. Se presenta una variabilidad muy macada en los puntos (RS4, RS5, RS6) en donde se presentan concentraciones más altas que en los otros puntos del muestreo, probablemente por la presencia de zonas agrícolas y en donde se hace el uso de fertilizantes.

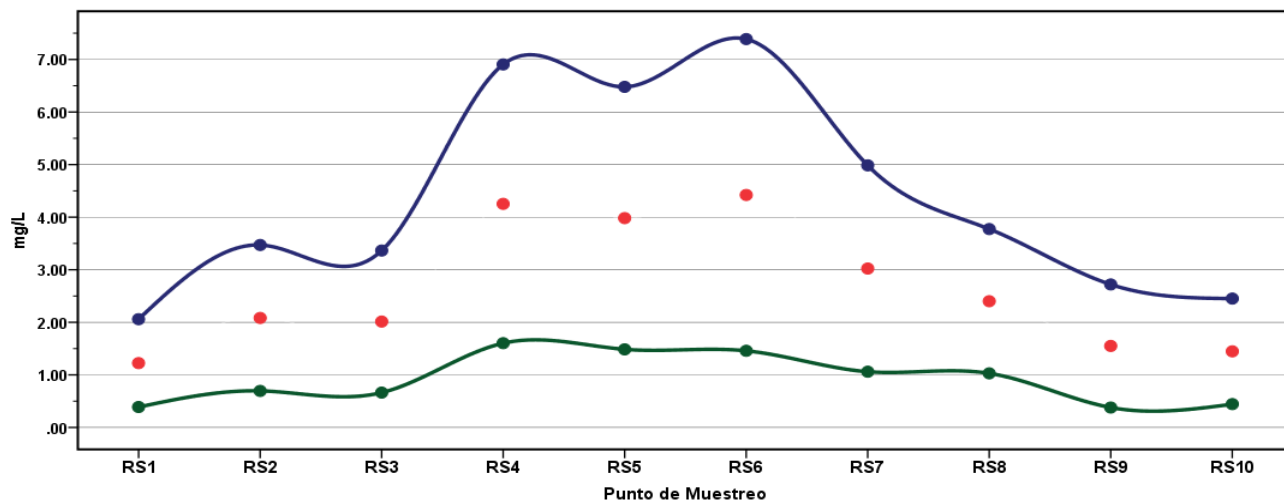


Figura 21. Fosforo Total, variabilidad promedio espacial de 10 puntos de muestreo.

La figura 22 muestra la variabilidad promedio estacional de Fósforo Total en los 17 meses de muestreo, se observa como a lo largo del monitoreo de presenta un diferencia muy significativa en la concentración, en donde se puede observar que el aumento corresponde al periodo de menor ingreso de agua (Junio 2009, Octubre 2009, Mayo 2010, Junio 2010, Octubre y Noviembre 2010), la variabilidad es mayor, mientras que en los meses de mayor ingreso de agua la variabilidad en menor y tiende a ser homogénea.

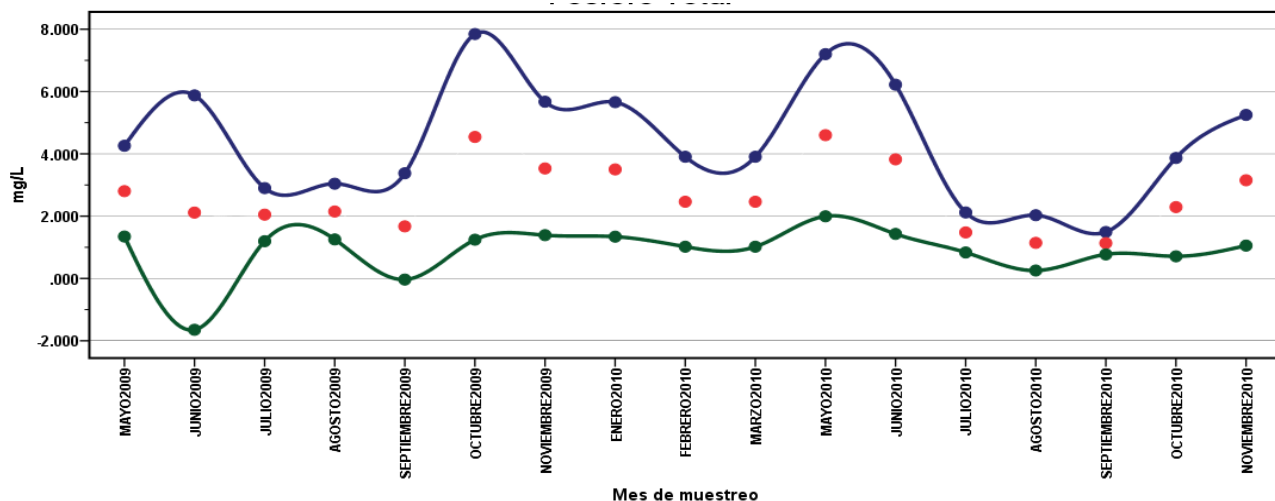


Figura 22. Fosforo Total, variabilidad promedio estacional de 17 meses de muestreo.

El fósforo se encuentra en las aguas naturales y residuales casi exclusivamente en forma de fosfatos, clasificados en ortofosfatos, fosfatos condensados y otros polifosfatos, y los ligados orgánicamente. El fósforo es esencial para el crecimiento de los organismos y puede ser el nutriente limitador de la productividad primaria en un cuerpo de agua. Una de las principales fuentes de fósforo para el agua lo constituyen los ortofosfatos utilizados como fertilizantes en la agricultura y en las formulaciones de detergentes. Los fosfatos orgánicos se forman principalmente en procesos biológicos y son aportados a las aguas naturales principalmente por las aguas residuales urbanas. La interpretación y clasificación del agua a partir del fósforo total se muestra en la tabla 31.

Tabla 31. Clasificación del agua a partir de la concentración de Fósforo Total

Fósforo Total	Clase	Interpretación
$P < 0.01$	1	Aguas muy poco productivas. Lagos oligotróficos.
$0.01 < P < 0.05$	2	Aguas poco productivas
$0.05 < P < 0.15$	3	Productividad media
$0.15 < P < 0.30$	4	Gran productividad, Eutrofia
$0.30 < P < 0.50$	5	Aguas contaminadas
$P > 0.50$	6	Aguas claramente contaminada o muy eutróficas

Fuente: Nisbet y Verneaux, 1970

Los resultados estimados en el seguimiento muestran un valor promedio de Fósforo Total en el agua de 2.640 ± 1.011 mg/L, lo que le permite considerarle de acuerdo al cuadro anterior como un agua típicamente eutrófica, con contaminación clara, hay que señalar que en los 10 puntos de muestreo a lo largo del estudio se superó el valor de 0.0001 mg/L, denotando una clara contaminación por fósforo.

En el muestreo a lo largo de los meses se tienen valores de fósforo superiores lo cual indica con certeza que la contaminación se presenta a lo largo del río.

Los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001-89 establecen valores límite de fósforo para protección a la vida acuática en agua dulce establece que los fosfatos totales, medidos como fósforo, no deberán exceder de 0.0001 mg/L en influentes de lagos o embalses ni de 0.025 mg/L dentro del lago o embalse, para prevenir el desarrollo de especies biológicas indeseables y para controlar la eutrofización acelerada. La Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 “Salud Ambiental, Agua Para Uso y Consumo Humano- Límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que Debe Someterse el Agua Para su Potabilización” no establece un valor límite para este parámetro.

7.1.10 Grasas y Aceites

La figura 23 muestra los valores promedios de Grasas y Aceites y su variabilidad (desviación estándar) espacial en los 17 meses de muestreo. Se presenta una variabilidad muy macada en los puntos (RS5 y RS7) en donde se presentan concentraciones más altas que en los otros puntos del muestreo, probablemente por la presencia de zonas Industriales.

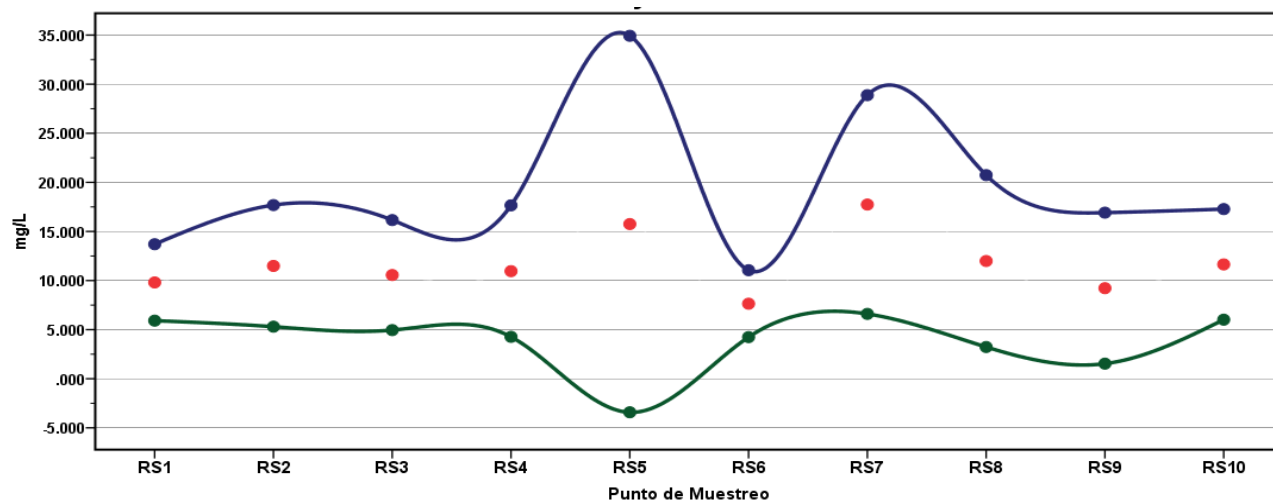


Figura 23. Grasas y Aceites, variabilidad promedio espacial de 10 puntos de muestreo.

La figura 24 muestra la variabilidad promedio estacional de Grasas y Aceites en los 17 meses de muestreo, se observa como a lo largo del monitoreo de presenta un diferencia muy significativa en la concentración, en donde se puede observar que el aumento corresponde al periodo de mayor ingreso de agua (**Julio 2010, Agosto 2010, Septiembre 2010, Octubre 2010**) , probablemente se deba a que hay una mayor concentración en las descargas industriales y a pesar de la dilución que presenta el agua por la temporada de lluvia esta no le beneficia en lo absoluto pues en los meses anteriores se observa claramente la homogeneidad que las Grasas y Aceite presenta.

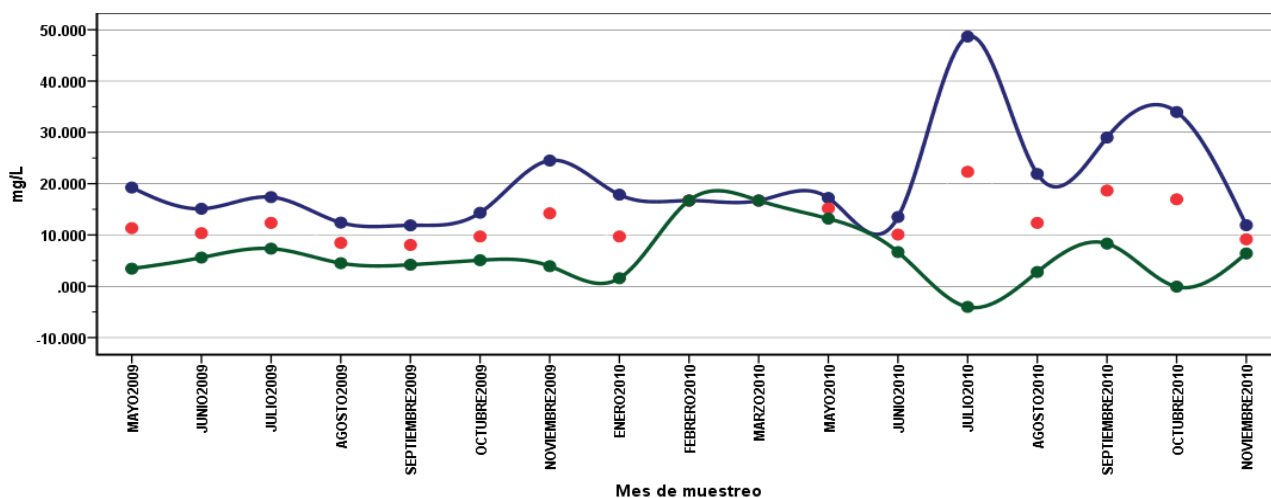


Figura 24. Grasas y Aceite, variabilidad promedio estacional de 17 meses de muestreo.

Las Grasas y Aceites son los compuestos orgánicos constituidos principalmente por ácidos grasos de origen animal y vegetal, así como de hidrocarburos del petróleo que son extraídos de la muestra utilizando hexano como disolvente.

Las sustancias grasas se clasifican en grasas y aceites. Teniendo en cuenta su origen, pueden ser animales o vegetales.

- Grasas animales, como el sebo extraído del tejido adiposo de bovinos y ovinos, grasa de cerdo, la manteca, etc.
- Aceites animales, entre los que se encuentran los provenientes de peces como sardinas y salmones, del hígado del tiburón y del bacalao, o de mamíferos marinos como el delfín o la ballena; de las patas de vacunos, equinos y ovinos se extraen también aceites usados como lubricantes e impermeabilizantes.

- Aceites vegetales, el grupo más numeroso; por sus usos pueden ser clasificados en alimenticios, como los de girasol, algodón, maní, soja, oliva, uva, maíz y no alimenticios, como los de lino, coco y tung.

Algunas de sus características más representativas son baja densidad, poca solubilidad en agua, baja o nula biodegradabilidad. Por ello, si no son controladas se acumulan en el agua formando natas en la superficie del líquido.

Las principales fuentes aportadoras de grasas y aceites son los usos domésticos, talleres automotrices y de motores de lanchas y barcos, industria del petróleo, rastros, procesadoras de carnes y embutidos e industria cosmética.

Los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001-89 establecen valores límite de Grasas y Aceites de 10.00 mg/L para protección a la vida acuática en agua dulce. La Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 "Salud Ambiental, Agua Para Uso y Consumo Humano-Límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que Debe Someterse el Agua Para su Potabilización" no establece un valor límite para este parámetro. Tomando como referencia con respecto a la media aritmética representativa en todo el muestreo se tiene que sobre pasa el valor promedio, teniendo como valor representativo 11.68mg/L.

7.1.11 Nitrógeno Amoniacal

La figura 25 muestra los valores promedios de Nitrógeno Amoniacal y su variabilidad (desviación estándar) espacial en los 17 meses de muestreo. Se observa un aumento en la concentración muy significativo a partir del punto de muestreo (RS4 al RS9) probablemente se deba a la descarga clandestina de aguas residuales urbanas pues estos puntos de muestreo pertenecen a zonas de asentamiento urbanos.

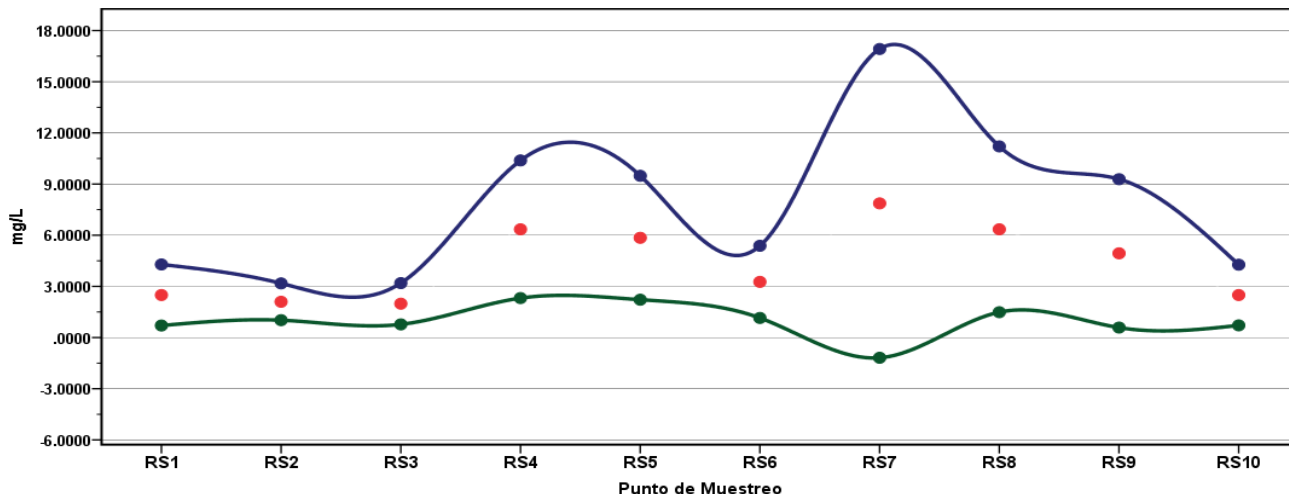


Figura 25. Nitrógeno Amoniacal, variabilidad promedio espacial de 10 puntos de muestreo.

La figura 26 muestra la variabilidad promedio estacional de Nitrógeno Amoniacal en los 17 meses de muestreo, se observa como a lo largo del monitoreo de presenta un diferencia muy significativa en la concentración, en donde se puede observar que el aumento corresponde al periodo de menor ingreso de agua (Mayo 2009, Octubre 2009, Noviembre 2009, Enero 2010, Mayo 2010, Noviembre 2010) , observando con esto que probablemente por el temporal de lluvias, las concentraciones bajen y mantengan una homogeneidad mientras que en los meses en los cuales no se presentan la lluvias, la concentración tienen a subir de manera significativa, indicando con esto una alta incidencia en descargas de aguas residuales urbanas a lo largo del muestreo.

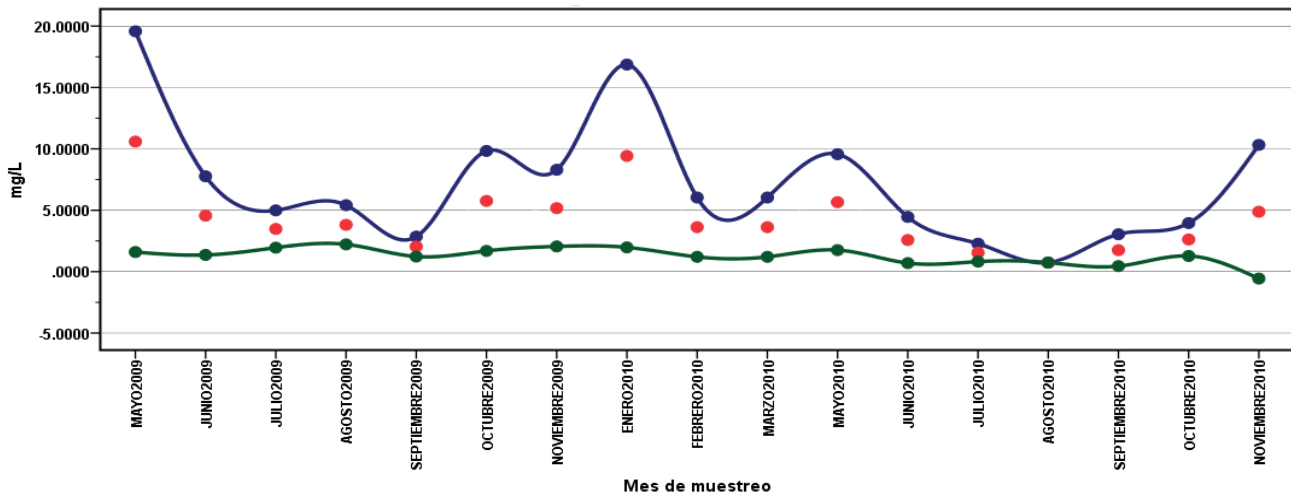


Figura 26. Nitrógeno Amoniaco, variabilidad promedio estacional de 17 meses de muestreo.

Los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001-89 establecen valores límite de Nitrógeno Amoniaco de 0.06 mg/L para protección a la vida acuática de agua dulce. A lo largo del monitoreo se presenta una concentración media de 4.36 mg/L, comprobando con esto los altos niveles de Nitrógeno Amoniaco presentes a lo largo del Río.

La Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 “Salud Ambiental, Agua Para Uso y Consumo Humano-Límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que Debe Someterse el Agua Para su Potabilización” establece un valor límite para este parámetro de 0.50 mg/L, un valor muy diferente al que marca los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua, aun con esto la concentración sigue siendo extremadamente alta.

7.1.12 Nitrógeno de Nitratos

La figura 27 muestra los valores promedios de Nitrógeno de Nitratos y su variabilidad (desviación estándar) espacial en los 17 meses de muestreo. Se observa un aumento en la concentración muy significativo a partir del punto de muestreo (RS6 al RS10) probablemente se deba a la descarga clandestina de aguas residuales urbanas pues estos puntos de muestreo pertenecen a zonas de asentamiento urbanos y a zonas agrícolas las cuales también aportan una cantidad significativa de Nitrógeno en forma de Nitratos.

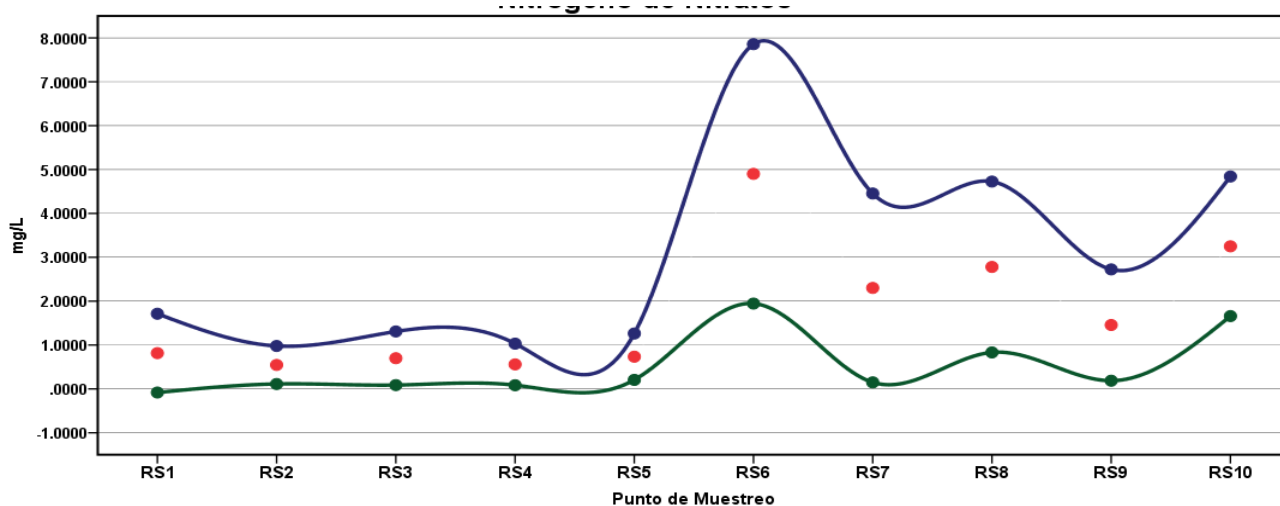


Figura 27. Nitrógeno de Nitratos, variabilidad promedio espacial de 10 puntos de muestreo.

La figura 28 muestra la variabilidad promedio estacional de Nitrógeno de Nitratos en los 17 meses de muestreo, se observa como a lo largo del monitoreo el comportamiento del parámetro se mantiene homogéneo durante el temporal de lluvias, observándose un aumento significativo al principio y final de este (Septiembre 2009, Octubre 2009, Mayo 2010, Julio 2010, Octubre 2010), esto probablemente por la falta de ingreso de agua.

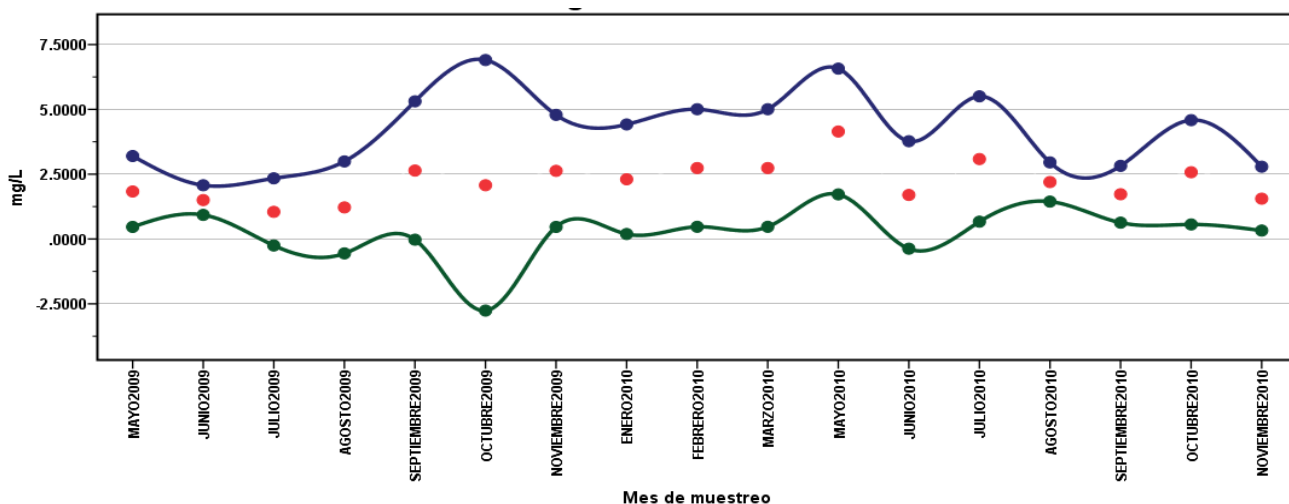


Figura 28. Nitrógeno de Nitratos, variabilidad promedio estacional de 17 meses de muestreo.

Las formas de nitrógeno de mayor interés en las aguas naturales y residuales son, por orden decreciente de su estado de oxidación los nitratos, nitritos, amoníaco y nitrógeno orgánico. Todas estas formas de nitrógeno, lo mismo que el nitrógeno gaseoso N_2 son interconvertibles bioquímicamente y forman parte del ciclo del nitrógeno.

El nitrógeno oxidado total es la suma del nitrógeno de nitrito y de nitrato, siendo las formas más abundantes y de mayor importancia al evaluar la calidad del agua, ya que las fuentes principales de estas formas químicas son las descargas de aguas residuales industriales y urbanas, así como los diversos compuestos de nitrato empleados como fertilizantes en la agricultura. Al ser el nitrógeno un nutriente esencial, su presencia en grandes concentraciones en los cuerpos de agua refleja su capacidad productiva y nivel trófico.

Los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001-89 establecen valores límite de nitrógeno de nitratos según los usos del agua, para protección a la vida acuática en agua dulce, no se encuentra un límite establecido.

La Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 "Salud Ambiental, Agua Para Uso y Consumo Humano-Límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que Debe Someterse el Agua Para su Potabilización" establecen valores límite de nitrógeno de nitratos de 10 mg/L, siendo el agua apta para dichos usos de acuerdo a los resultados obtenidos.

7.1.13 Nitrógeno de Nitritos

La figura 29 muestra los valores promedios de Nitrógeno de Nitritos y su variabilidad (desviación estándar) espacial en los 17 meses de muestreo. Se observa un aumento en la concentración muy significativo a partir del punto de muestreo (RS5 al RS10) probablemente se deba a la descarga clandestina de aguas residuales urbanas pues estos puntos de muestreo pertenecen a zonas de asentamiento urbanos y a zonas agrícolas las cuales también aportan una cantidad significativa de Nitrógeno en forma de Nitritos.

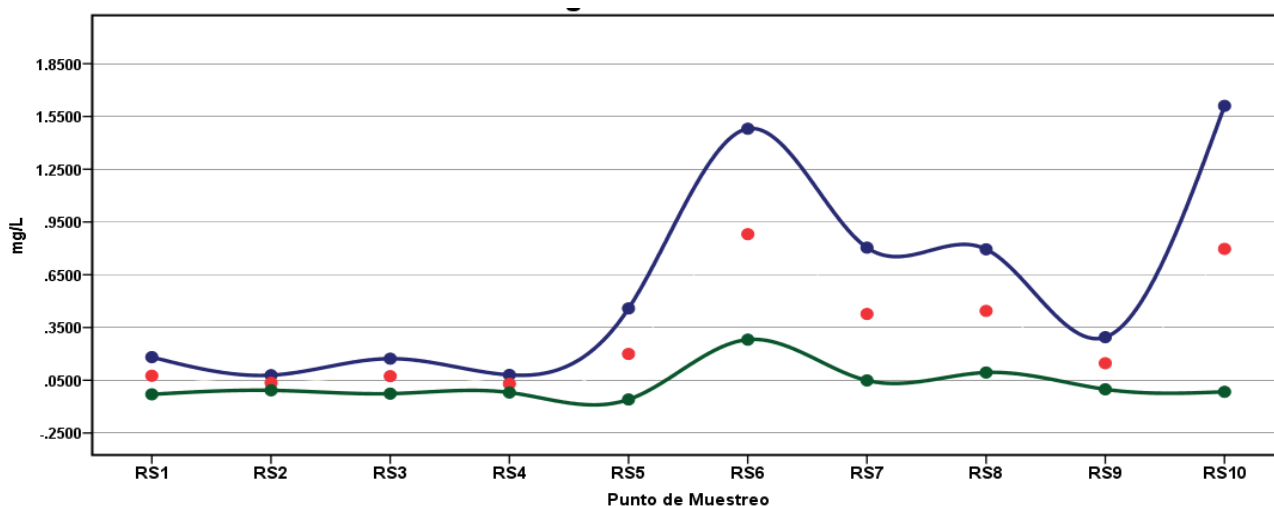


Figura 29. Nitrógeno de Nitritos, variabilidad promedio espacial de 10 puntos de muestreo.

La figura 30 muestra la variabilidad promedio estacional de Nitrógeno de Nitritos en los 17 meses de muestreo, se observa como a lo largo del monitoreo el comportamiento del parámetro se mantiene homogéneo durante el temporal de lluvias, observándose un aumento significativo (Mayo 2010), esto probablemente por la falta de ingreso de agua y por qué hubo una descarga considerable de aguas residuales o de fertilizantes. Se puede observar una tendencia espacial homogénea casi en todo el periodo de muestreo.

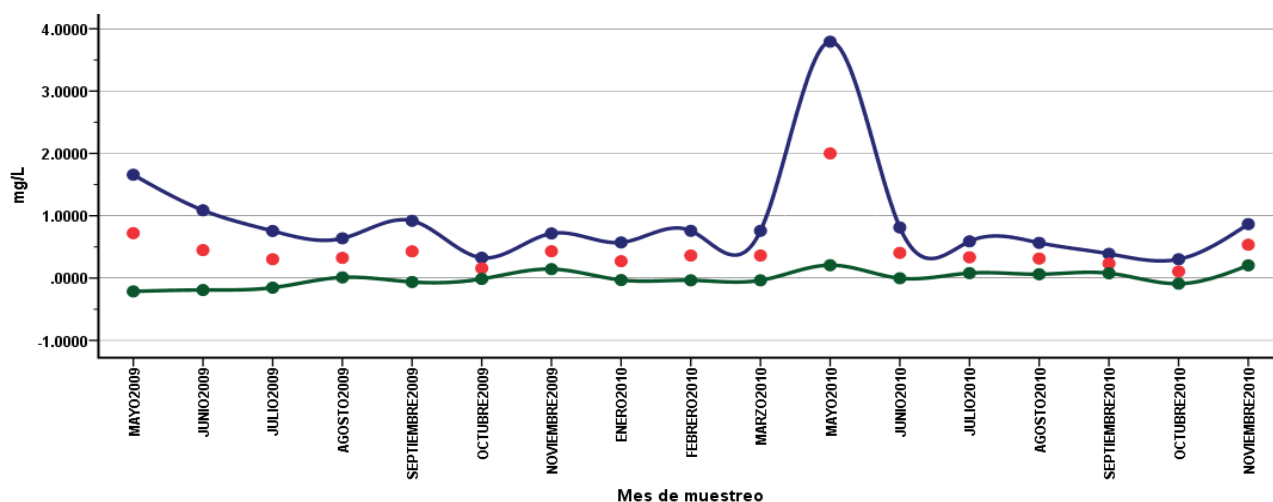


Figura 30. Nitrógeno de Nitritos, variabilidad promedio estacional de 17 meses de muestreo.

El nitrógeno de nitrito es un estado intermedio de la oxidación del nitrógeno, tanto en la oxidación del amoníaco (principalmente de origen urbano) a nitrato. Se ha establecido que puede ocasionar la patología denominada metahemoglobinemia infantil, así como el ácido nitroso formado a partir del nitrito en soluciones ácidas, puede reaccionar con aminas secundarias dando lugar a nitrosaminas, muchas de las cuales son agentes carcinógenos reconocidos.

La interpretación y clasificación del agua a partir de los nitritos se muestra en la tabla 32, en la cual se observa que los niveles encontrados indican una amenaza de contaminación y perturbación del ciclo del nitrógeno, las aguas del Rio Santiago se encuentran dentro de la clase 2.

Tabla 32. Clasificación del agua a partir de la concentración de nitritos

Nitritos	Clase	Interpretación
$N < 0,01$	1	Aguas puras o autodepuración activa.
$N < 0,10$	2	Amenaza de contaminación. Perturbación del ciclo del nitrógeno.
$N < 1,00$	3	Contaminación sensible
$N > 1,00$	4	Estado crítico de contaminación

Fuente: Nisbet y Verneaux, 1970.

Los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001-89 establecen valores límite de nitrógeno de nitritos según los usos del agua, para protección a la vida acuática en agua dulce, no se encuentra un límite establecido.

La Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 "Salud Ambiental, Agua Para Uso y Consumo Humano-Límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que Debe Someterse el Agua Para su Potabilización" establecen valores límite de nitrógeno de nitritos de 1.00 mg/L, siendo el agua apta para dichos usos de acuerdo a los resultados obtenidos.

7.1.14 Oxígeno Disuelto

La figura 31 muestra los valores promedios de Oxígeno Disuelto y su variabilidad (desviación estándar) espacial en los 17 meses de muestreo. Se observa un aumento en la concentración muy significativo a partir del punto de muestreo (RS3 al RS10). Teniendo como la concentración más alta los puntos (RS6, RS10) en los cuales la concentración excede los límites marcados en la norma.

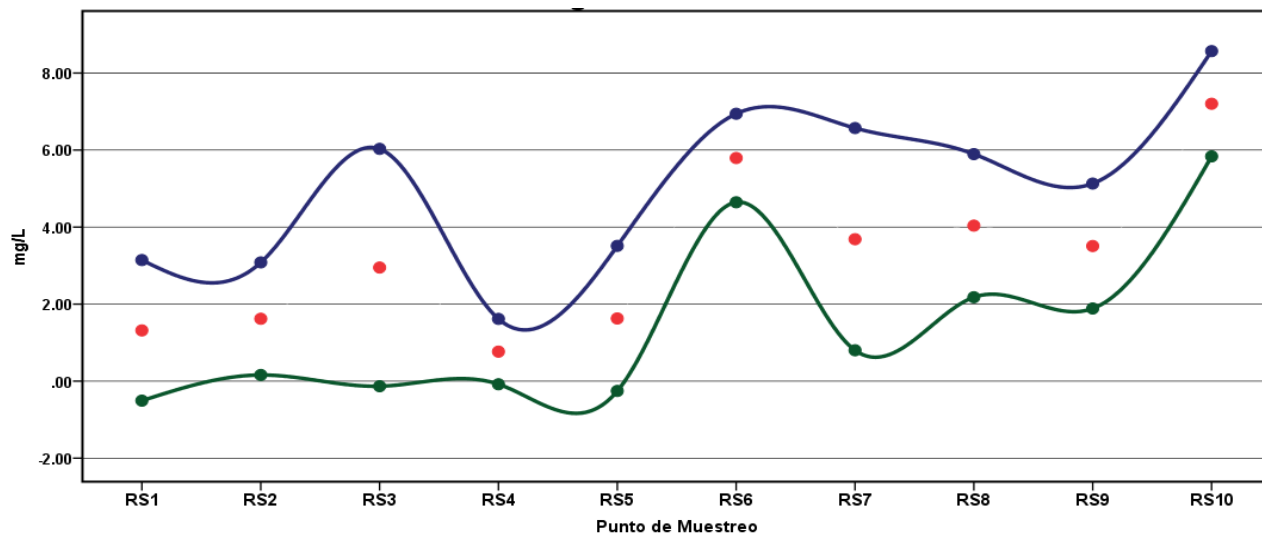


Figura 31. Oxígeno Disuelto, variabilidad promedio espacial de 10 puntos de muestreo.

La figura 32 muestra la variabilidad promedio estacional de Oxígeno Disuelto en los 17 meses de muestreo, se observa a lo largo del monitoreo una variabilidad del parámetro homogénea. Se puede observar una tendencia espacial homogénea casi en todo el periodo de muestreo. Considerando con esto una tendencia estacional a lo largo de todo el Río Santiago.

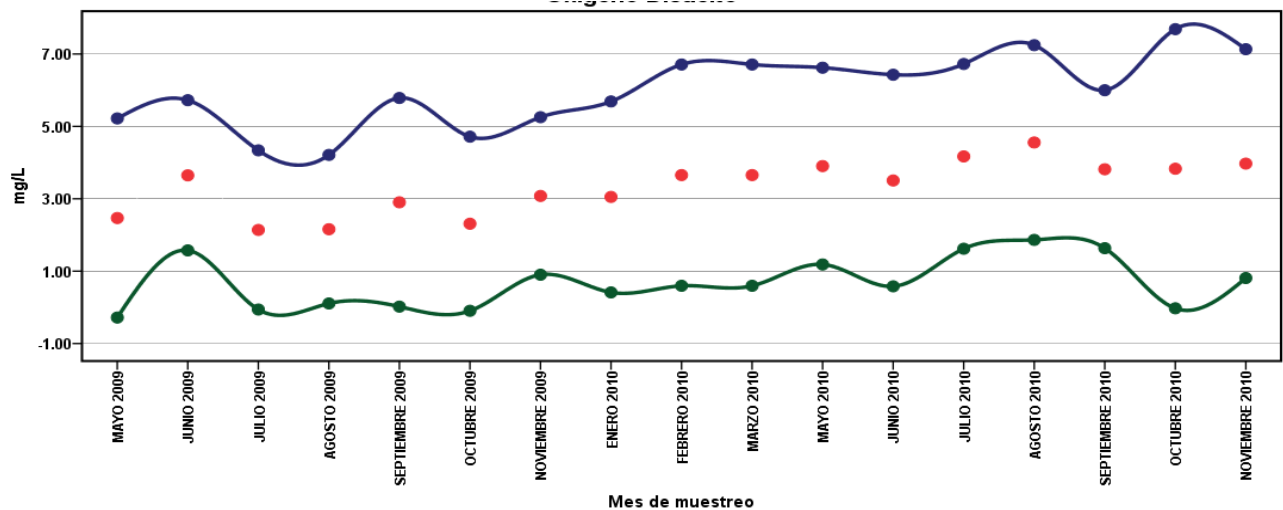


Figura 32. Oxígeno Disuelto, variabilidad promedio estacional de 17 meses de muestreo.

Los niveles de Oxígeno Disuelto (OD) en aguas naturales dependen de la actividad física, química y bioquímica del sistema de aguas. El análisis de OD es una prueba clave en la contaminación del agua, ya que los niveles de OD condiciona la actividad tanto aeróbica como anaerobia de los organismos presentes en el cuerpo de agua, la concentración y porcentaje de saturación de oxígeno dependen de la temperatura del agua, de la salinidad y de la presión atmosférica.

En los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001-89 se establece valores límite de Oxígeno Disuelto según los usos del agua, siendo de 5.0 mg/L para protección a la vida acuática en agua dulce. La Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 “Salud Ambiental, Agua Para Uso y Consumo Humano-Límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que Debe Someterse el Agua Para su Potabilización” no establece límites de concentración de oxígeno disuelto.

El valor promedio encontrado en el Rio Santiago para el oxígeno disuelto fue de 3.25 ± 1.79 mg/L, por lo cual respecto a las normativas vigentes, tiene un valor normal y su uso en diversas actividades está permitido.

7.1.15 Potencial de Hidrogeno (pH)

La figura 33 muestra los valores promedios de pH y su variabilidad (desviación estándar) espacial en los 17 meses de muestreo. Se observa un aumento en las unidades de pH muy significativo a lo largo del Rio Santiago (**RS1 al RS10**). Teniendo como los puntos (**RS6, RS10**) los más alcalinos probablemente por el vertido de sustancias altamente alcalinas como pueden ser las vertidas en el punto **RS6** pues se encuentran justo a la orilla del vertedero controlado de Matatlán.

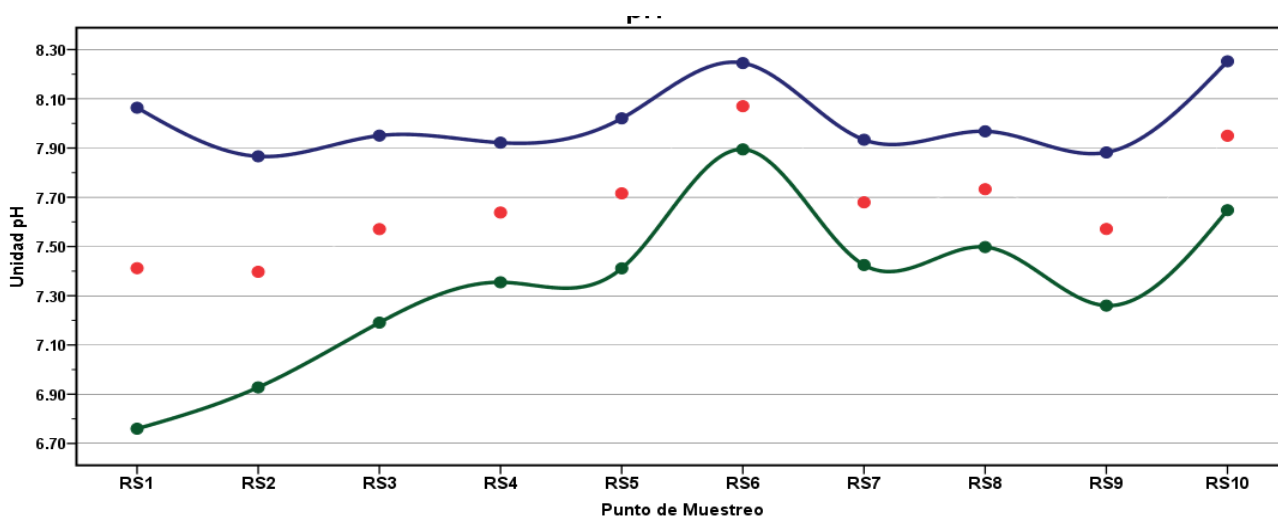


Figura 33. pH, variabilidad promedio espacial de 10 puntos de muestreo.

La figura 34 muestra la variabilidad promedio estacional de pH en los 17 meses de muestreo, se observa a lo largo del monitoreo un aumento muy considerable en las unidades de pH. Se observa como en los meses de (**Mayo 2009, Agosto 2009, Septiembre 2009, Mayo 2010 y Julio 2010**) hay un incremento en el pH debido a la alta concentración de sustancias alcalinas y probablemente por la falta de dilución debido a que no es temporada de lluvias. En lo que corresponde a la época de lluvias se observa una variabilidad homogénea a lo largo del muestreo.

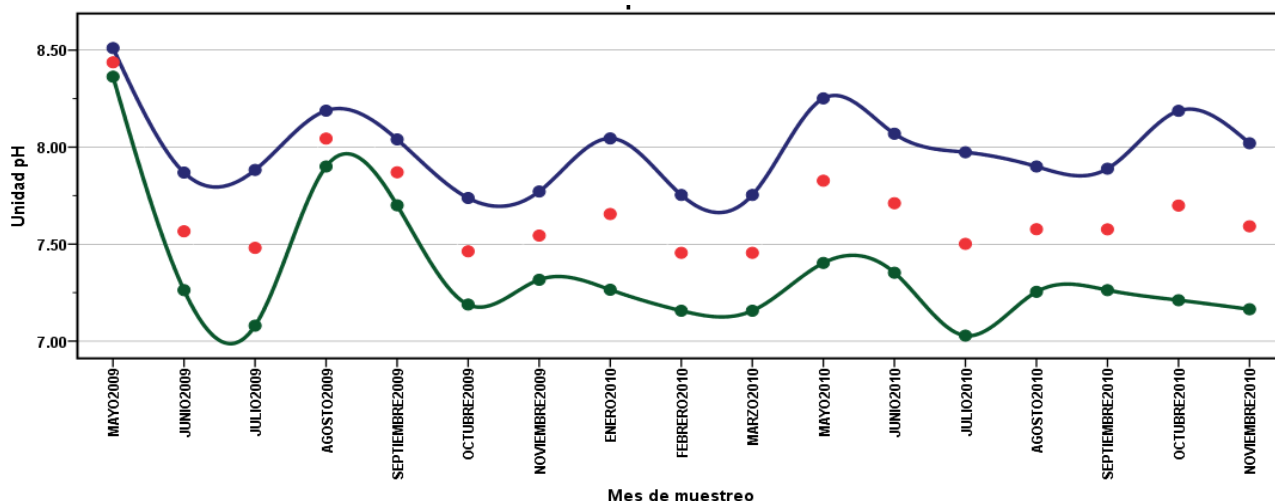


Figura 34. pH, variabilidad promedio estacional de 17 meses de muestreo.

La estimación del pH es una de las pruebas más importantes y frecuentes utilizadas en el análisis químico del agua. A una temperatura determinada, la intensidad del carácter ácido o básico de una solución viene dada por la actividad del ión hidrogeno o pH. La alcalinidad y acidez son las capacidades neutralizantes de ácidos y bases de un agua y normalmente se expresan como miligramos de CaCO₃ por litro.

El valor del pH en las aguas naturales normalmente tienen valores de 4 a 9, y la mayoría son ligeramente básicas debido a la presencia de bicarbonatos y carbonatos de los metales alcalinos y alcalino térreos. El control del pH en las aguas naturales es muy importante ya que es un factor determinante en la mayoría de reacciones químicas que se desarrollan tanto en el agua como en los seres vivos que habitan ésta, los cuales presentan rangos de tolerancia a los pH generalmente muy pequeños. La interpretación y clasificación del agua a partir del pH se muestra en la tabla 33.

Tabla 33. Clasificación del agua a partir de la concentración de pH

pH	Clase	Interpretación
pH < 5	1	Acidez fuerte, manantiales y arroyos de regiones graníticas, de turberas o forestales.
5 < pH < 6	2	Acidez media
6 < pH < 7	3	Acidez débil
7 < pH < 7,5	4	Neutra, mayoría de las aguas piscícolas, regiones calcáreas.
7,5 < pH < 8	5	Alcalinidad débil
8 < pH < 9	6	Alcalinidad alta, aguas cerradas o asimiladas.
pH > 9	7	Alcalinidad fuerte, aguas poco piscícolas.

Fuente: Nisbet y Verneaux, 1970.

Los valores promedio estimados en el seguimiento muestran un valor promedio de pH en el agua del Rio Santiago de 7.67 ± 0.33 unidades de pH, lo que permite considerarle de acuerdo al cuadro anterior como un agua de tipo neutra. Las variaciones encontradas en el pH superan al valor máximo permitido de 0,2 unidades en varias estaciones.

Los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001-89 establecen valores límite de pH según los usos del agua en este caso para protección a la vida acuática en agua dulce, establece que para el potencial de hidrógeno (pH), los niveles establecidos deben considerarse como mínimos y máximos y no podrá haber variaciones mayores a 0.2 unidades de pH, tomando como base el valor natural estacional.

La Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 “Salud Ambiental, Agua Para Uso y Consumo Humano-Límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que Debe Someterse el Agua Para su Potabilización” no establecen valores límite de pH.

7.1.16 Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)

La figura 35 muestra los valores promedios SAAM y su variabilidad (desviación estándar) espacial en los 17 meses de muestreo. Se observan puntos muy significativos a lo largo del Rio Santiago (**RS4 y RS7**), muestra altos niveles de concentración, debido a la presencia de zonas urbanas, las cuales generan una cantidad importante de SAAM, la cual a simple vista se puede observar al pasar por los puntos debido a la espuma que estos generan.

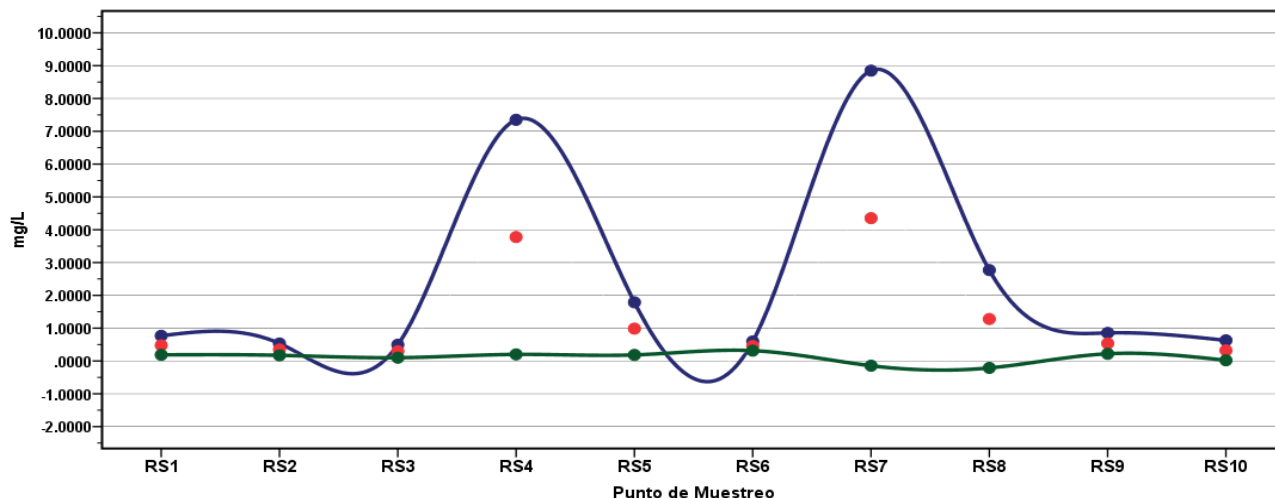


Figura 35. SAAM, variabilidad promedio espacial de 10 puntos de muestreo.

La figura 36 muestra la variabilidad promedio estacional de SAAM en los 17 meses de muestreo, se observa a lo largo del monitoreo un aumento muy considerable ocasionado probablemente por la falta de ingreso de agua al Río. Se observa como en los meses de **(Mayo 2009, Junio 2009, Julio 2009, Noviembre 2009, Enero 2010, Mayo 2010, Junio 2010, Octubre 2010 y Noviembre 2010)** hay un incremento en las concentraciones por la falta de dilución debido a que no es temporada de lluvias. En lo que corresponde a la época de lluvias se observa una variabilidad homogénea a lo largo del muestreo.

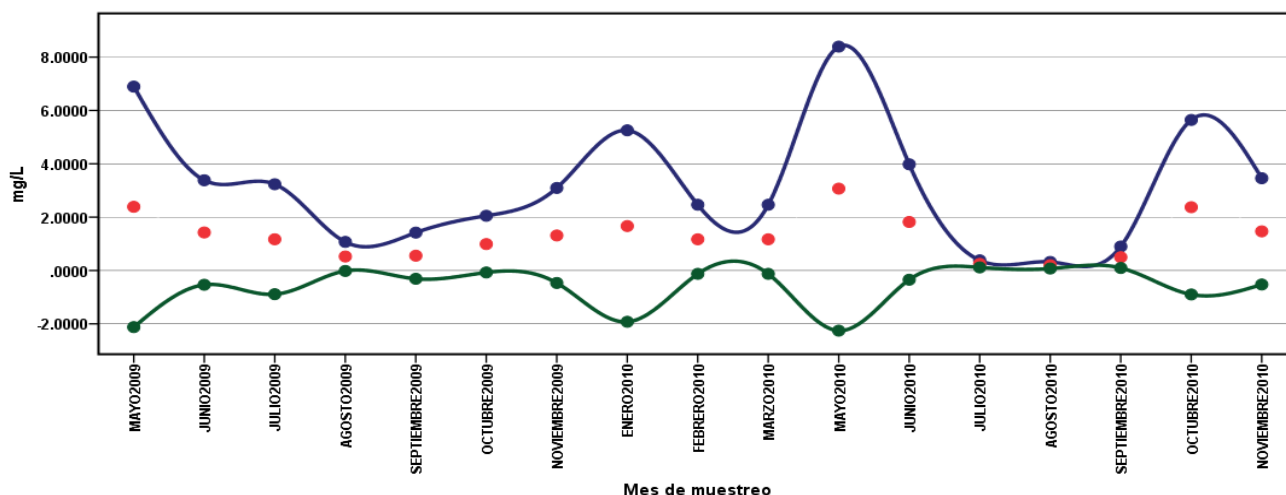


Figura 36. SAAM, variabilidad promedio estacional de 17 meses de muestreo.

Las sustancias activas al azul de metileno incluyen una extensa lista de compuestos químicos, los cuales tiene la propiedad de interaccionar con el azul de metileno. Se les denomina genéricamente surfactantes o detergentes, por sus propiedades y aplicaciones más usuales, siendo estos catiónicos e iónicos, según el tipo de carga eléctrica que presentan, existiendo también los aniónicos, los cuales presentan un grupo hidrófilo.

Los surfactantes suelen utilizarse como desinfectantes, en el ablandamiento textil, además de como detergentes. Tienen la capacidad de acumularse en las interfaces entre el medio acuoso y las otras fases del sistema, como aire, líquidos oleosos y partículas, impartiendo por tanto propiedades tales como formación de espuma, emulsificación y suspensión de partículas, con los consiguientes efectos al ecosistema (principalmente disminución del recambio de gases agua-aire, impacto a cadenas tróficas primarias disminuyendo la movilidad, nivel fótico, aumento de sólidos en suspensión, etc.).

Los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001-89 establecen valores límite de sustancias activas al azul de Metileno de 0.10 mg/L para protección a la vida acuática en agua dulce. La Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 "Salud Ambiental, Agua Para Uso y Consumo Humano-Límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que Debe Someterse el Agua Para su Potabilización", establece un valor límite para sustancias activas al azul de metileno de 0.50 mg/L.

7.1.17 Solidos Disueltos Totales

La figura 37 muestra los valores promedios para Solidos Disueltos Totales y su variabilidad (desviación estándar) espacial en los 17 meses de muestreo. Se observan una concentración homogénea a largo del Rio Santiago a partir del (RS1 al RS10).

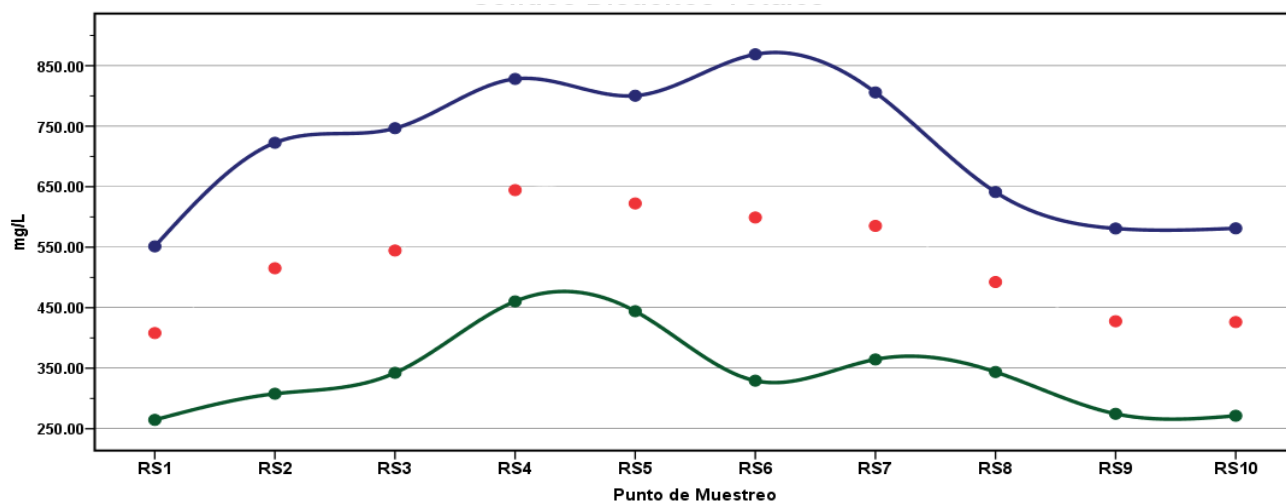


Figura 37. Solidos Disueltos Totales, variabilidad promedio espacial de 10 puntos de muestreo.

La figura 38 muestra la variabilidad promedio estacional de Solidos Disueltos Totales en los 17 meses de muestreo, se observa a lo largo del monitoreo un aumento muy considerable ocasionado probablemente por la falta de ingreso de agua al Rio. Se observa como en los meses de (Mayo 2009, Junio 2009, Enero 2010, Mayo 2010, Junio 2010, Octubre 2010 y Noviembre 2010) hay un incremento en las concentraciones por la falta de dilución debido a que no es temporada de lluvias por lo tanto los Solidos Disueltos tienden a tener una concentración mayor.

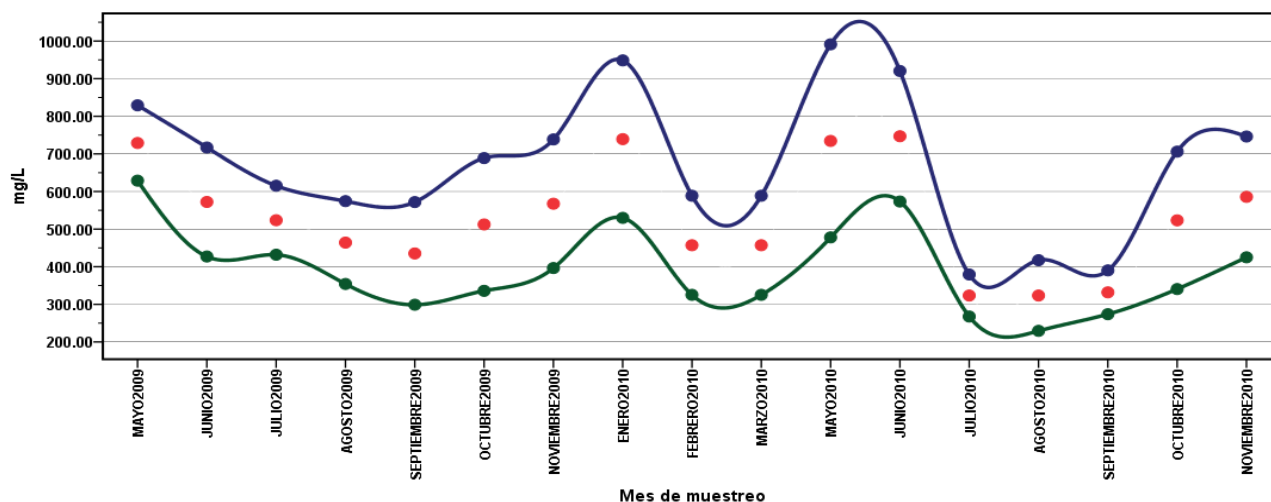


Figura 38. Solidos Disueltos Totales, variabilidad promedio estacional de 17 meses de muestreo.

7.1.18 Solidos Suspendidos Totales

La figura 39 muestra los valores promedios para Solidos Suspendidos Totales y su variabilidad (desviación estándar) espacial en los 17 meses de muestreo. Se observan puntos muy significativos a lo largo del Rio Santiago a partir del (RS6 al RS8 y RS10), muestra altos niveles de concentración, debido a la presencia de zonas urbanas, las cuales generan una cantidad importante de Solidos Suspendidos Totales lo cuales se van arrastrando a lo largo del Rio.

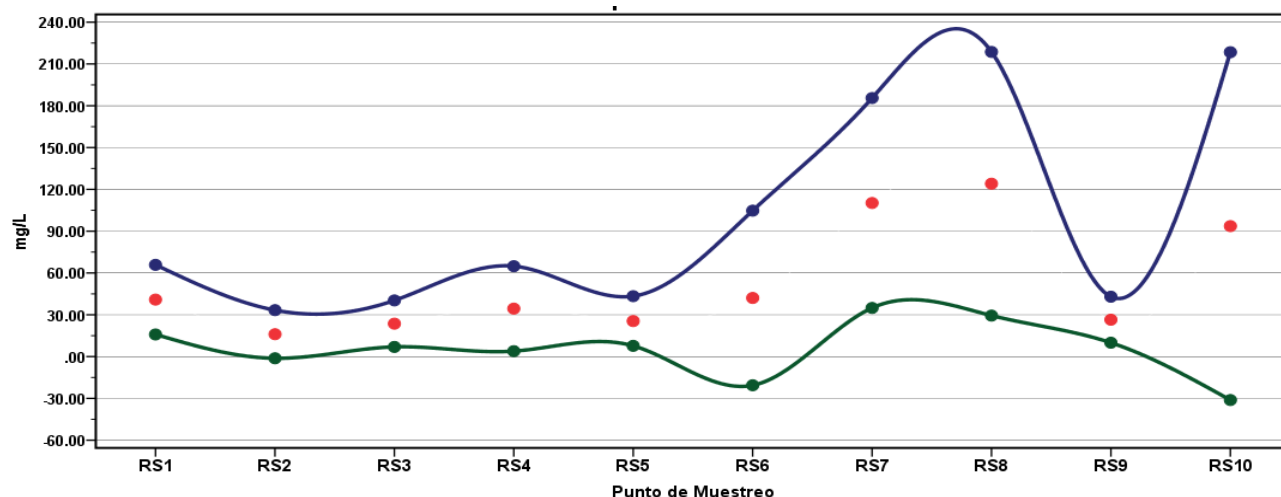


Figura 39. Solidos Suspendidos Totales, variabilidad promedio espacial de 10 puntos de muestreo.

La figura 40 muestra la variabilidad promedio estacional de Sólidos Suspendidos Totales en los 17 meses de muestreo, se observa a lo largo del monitoreo un aumento muy considerable ocasionado probablemente el ingreso de agua al Río, el cual genera un aumento en los sólidos suspendidos pues van arrastrándose a lo largo del Río. Se observa como en los meses de **(Mayo 2009, Junio 2009, Julio 2009, Agosto 2009, Septiembre 2009, Noviembre 2009, Mayo 2010, Junio 2010, Julio 2010, Agosto 2010)** hay un incremento en las concentraciones por la saturación debido a que es temporada de lluvias por lo tanto los Sólidos Suspendidos tienden a tener una concentración mayor.

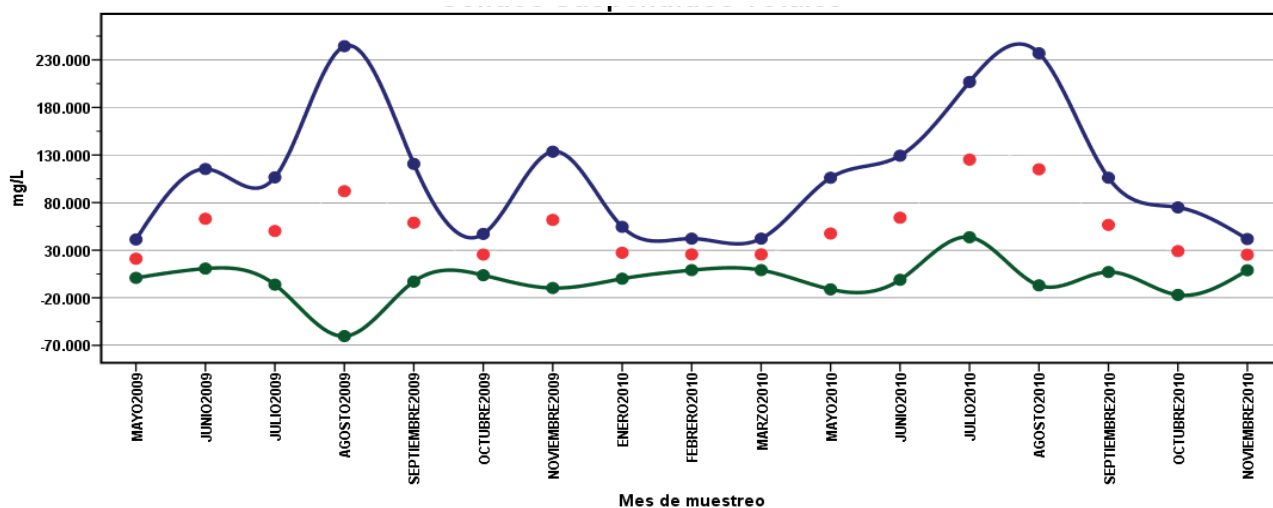


Figura 40. Sólidos Suspendidos Totales, variabilidad promedio estacional de 17 meses de muestreo.

Los sólidos totales incluyen los sólidos suspendidos totales, o porción de sólidos totales retenida por un filtro, y los sólidos disueltos totales, o porción que atraviesa el filtro. La estimación de los sólidos presentes en el agua y que tienen la capacidad de sedimentar (sedimentables) se evalúan en función del tiempo y se expresan en mg/L. Los sólidos en sus diferentes formas son producto de la presencia de iones metálicos naturales (hierro y manganeso), de humus y turbas, de plancton, de restos vegetales y de residuos industriales. Los sólidos pueden afectar negativamente a la calidad del agua, tanto en el aspecto biológico como en su aceptación y uso tanto en fuente de abastecimiento de agua y en uso agrícola o pecuario.

Los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001-89 establecen valores límite de sólidos de la siguiente forma:

- Para sólidos disueltos totales, para protección de la vida acuática en agua dulce, no se establece un límite mínimo permisible.
- Para sólidos suspendidos totales, para protección a la vida acuática en agua dulce, los sólidos suspendidos (incluyendo sedimentables) en combinación con el color, no deben reducir la profundidad del nivel de compensación de la luz para la actividad fotosintética en más de 10% a partir del valor natural.

La Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 “Salud Ambiental, Agua Para Uso y Consumo Humano-Límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que Debe Someterse el Agua Para su Potabilización” sólo establece un valor límite para sólidos disueltos totales de 1000 mg/L. Para sólidos disueltos totales los valores promedio estimados muestran un valor promedio de 526.49 ± 186.18 mg/L, por lo que de acuerdo a los niveles permitidos, no se puede determinar si es apta para la protección a la vida acuática en agua dulce pues no existe un límite específico. Mas sin embargo es apta para uso y consumo humano, siempre y cuando esta sea sometida a un tratamiento antes de ser utilizada para este fin. Para sólidos suspendidos totales los valores promedio en el seguimiento muestran un valor de 53.69 ± 48.11 mg/L, por lo que su utilización para fuente de abastecimiento no es permisible. La interpretación y clasificación del agua a partir de los sólidos suspendidos se muestra en la tabla 34, en la cual se establece un agua con situación aceptable.

Tabla 34. Clasificación del agua a partir de la concentración de sólidos suspendidos

Sólidos suspendidos	Clase	Interpretación
S < 10	1	Situación muy buena
10 < S < 25	2	Situación normal
25 < S < 50	3	Buena situación
50 < S < 75	4	Buena situación
75 < S < 150	5	Situación media
150 < S < 300	6	Situación mediocre, agua contaminada
300 < S < 500	7	Situación anormal, productividad piscícola mínima
S > 500	8	Estado crítico de contaminación

Fuente: Nisbet y Verneaux, 1970.

7.1.19 Sulfatos

La figura 41 muestra los valores promedios para Sulfatos y su variabilidad (desviación estándar) espacial en los 17 meses de muestreo. Se observan puntos muy homogéneos a lo largo del Rio Santiago, solo en el punto (RS3), se muestra con altos niveles de concentración, debido a la presencia de zonas urbanas y rurales, las cuales generan una concentración importante de sulfatos, los cuales se van arrastrando a lo largo del Rio.

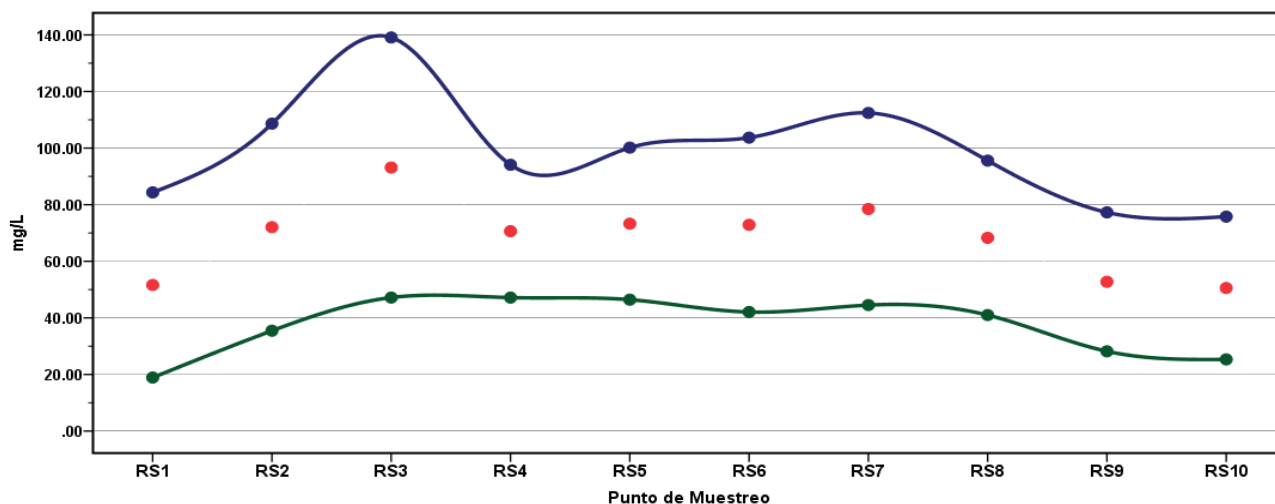


Figura 41. Sulfatos, variabilidad promedio espacial de 10 puntos de muestreo.

La figura 42 muestra la variabilidad promedio estacional de Sulfatos en los 17 meses de muestreo, se observa al inicio del monitoreo un aumento muy considerable, ocasionado probablemente por poco el ingreso de agua al Rio, el cual genera un aumento en las concentraciones del Rio. Se observa como en los meses de (Mayo 2009, Junio 2009, Enero 2010, Mayo 2010, Junio 2010) hay un incremento en las concentraciones por la saturación debido a que es inicio de la temporada de lluvias y por lo tanto los Sulfatos tienden a tener una concentración mayor.

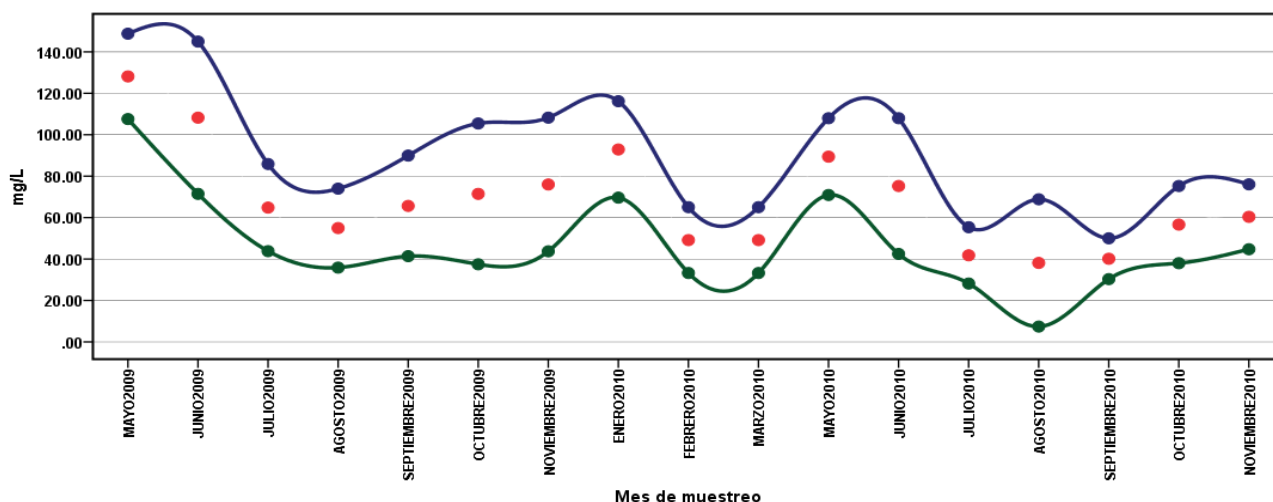


Figura 42. Sulfatos, variabilidad promedio estacional de 17 meses de muestreo.

El sulfato se distribuye ampliamente en la naturaleza y su presencia en el agua puede presentar concentraciones que van desde unos pocos a varios miles de miligramos por litro. Las principales formas son los sulfatos de sodio, calcio, magnesio, potasio y aluminio, y muchos de éstos ejercen una acción catalítica en diversos procesos biológicos y biogeoquímicos. Los principales aportes de sulfatos ocurren con los procesos de lixiviación de cuencas altamente sulfatadas y carbonatadas, así como los vertidos de aguas residuales industriales y de procesos extractivos en minería. La interpretación y clasificación del agua a partir de los sulfatos se muestra en la tabla 35.

Tabla 35. Clasificación del agua a partir de la concentración de sulfatos

Sulfatos	Clase	Interpretación
$S < 10$	1	Situación muy buena
$10 < S < 20$	2	Situación normal
$20 < S < 40$	3	Situación especial:
$40 < S < 60$	4	Aguas contaminadas
$60 < S < 120$	5	o selenitosas
$120 < S < 250$	6	Límite de potabilidad, aguas muy selenitosas
$S > 250$	7	Estado crítico de contaminación

Fuente: Nisbet y Verneaux, 1970.

La concentración de sulfatos encontrada en los 10 puntos de estudio muestra, según la tabla anterior, que existe una contaminación por sulfatos importante.

Los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001-89 establecen valores límite de sulfatos de 0.005 mg/L para Protección de la Vida Acuática en Agua Dulce. La Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 “Salud Ambiental, Agua Para Uso y Consumo Humano-Límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que Debe Someterse el Agua Para su Potabilización” establece un valor límite para sulfatos de 400 mg/L.

Los resultados estimados en el seguimiento muestran un valor promedio de sulfatos en el agua del Rio Santiago de $68,36 \pm 30,74$ mg/L, lo que permite su utilización como fuente de abastecimiento y pero no para la vida acuática.

7.1.20 Sulfuros

La figura 43 muestra los valores promedios para Sulfuros y su variabilidad (desviación estándar) espacial en los 17 meses de muestreo. Se observan puntos muy significativos a lo largo del Rio Santiago a partir del (RS1 al RS4), muestra altos niveles de concentración, debido a la presencia de zonas urbanas e industriales tales como las curtidoras, y los rastros municipales, las cuales generan una cantidad importante de Sulfuros, lo cuales se van arrastrando y diluyendo a lo largo del Rio.

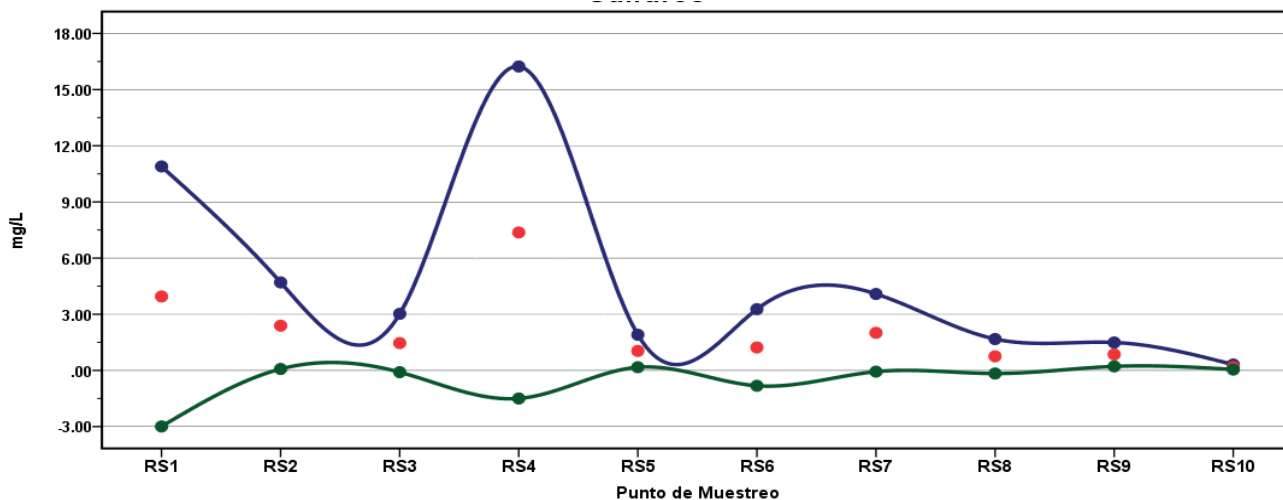


Figura 43. Sulfuros, variabilidad promedio espacial de 10 puntos de muestreo.

La figura 44 muestra la variabilidad promedio estacional de Sulfuros en los 17 meses de muestreo, se observa a lo largo del monitoreo un aumento muy considerable ocasionado probablemente por el poco ingreso de agua al Rio, el cual genera un aumento en los sulfuros pues al tener menos cantidad de agua la concentración aumenta. Se observa como en los meses de **(Enero 2010, Febrero 2010, Marzo 2010, Junio 2010, y Julio 2010)** hay un incremento en las concentraciones debido a que no es temporada de lluvias por lo tanto los Sulfuros tienden a concentrarse en el agua.

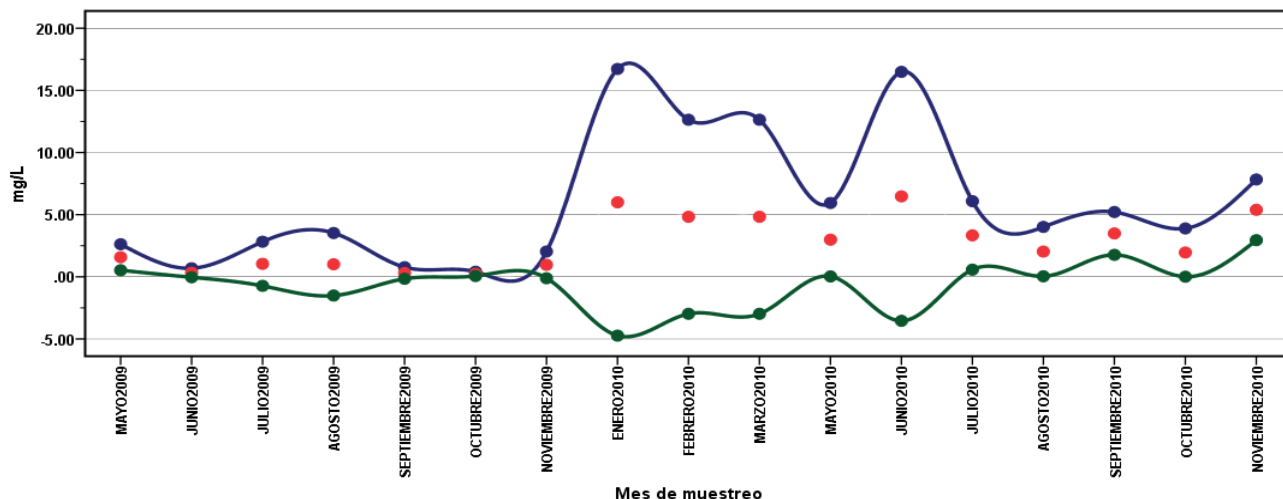


Figura 44. Sulfuros, variabilidad promedio estacional de 17 meses de muestreo.

Los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001-89 establecen valores límite de sulfuros de 0.002 mg/L para Protección a la Vida Acuática en Agua Dulce. La Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 “Salud Ambiental, Agua Para Uso y Consumo Humano- Límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que Debe Someterse el Agua Para su Potabilización” no establece un valor límite para sulfuros.

Los resultados estimados en el seguimiento muestran un valor promedio de sulfuros en el agua del Rio de 2.12 ± 2.63 mg/L, con lo cual no es apta para la vida acuática en agua dulce, pues pone en riesgo el desarrollo de la misma.

7.1.21 Temperatura

La figura 45 muestra los valores promedios para Temperatura y su variabilidad (desviación estándar) espacial en los 17 meses de muestreo. Se observan puntos homogéneos a lo largo del Rio Santiago (**RS1 al RS10**), se observa que en la temperatura no existe una variación significativa a lo largo del muestreo.

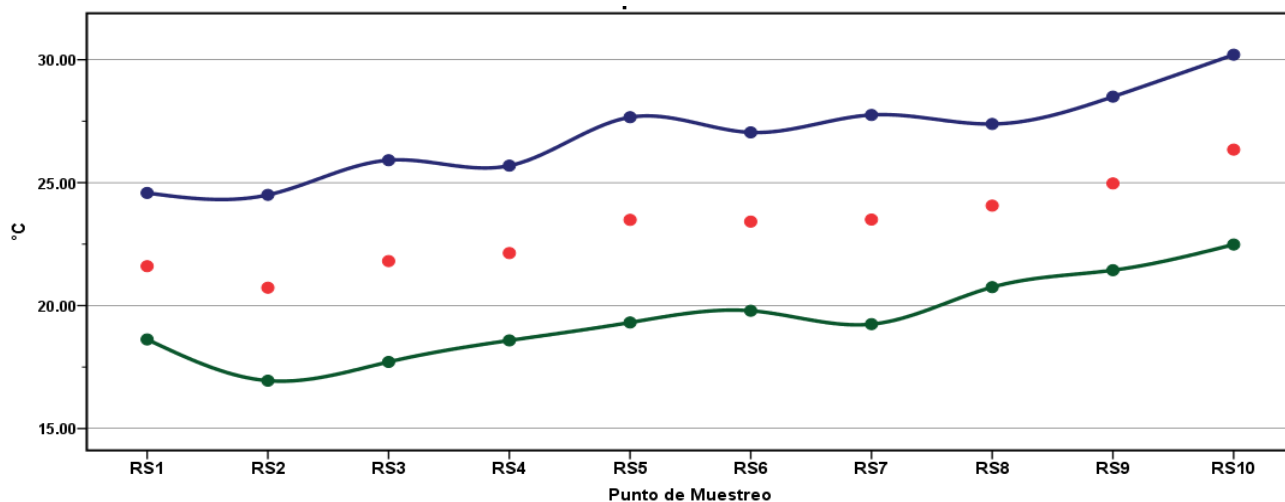


Figura 45. Temperatura, variabilidad promedio espacial de 10 puntos de muestreo.

La figura 46 muestra la variabilidad promedio estacional de Temperatura en los 17 meses de muestreo, se observa a lo largo del monitoreo una temperatura constante a excepción de varios meses en donde la temperatura desciende de manera significativa. Se observa como en los meses de (**Octubre 2009, Noviembre 2009, Enero 2010, Febrero 2010 y Marzo 2010**) hay un descenso en las temperaturas probablemente por la entrada del invierno, por lo tanto la temperatura tienden a ser menor.

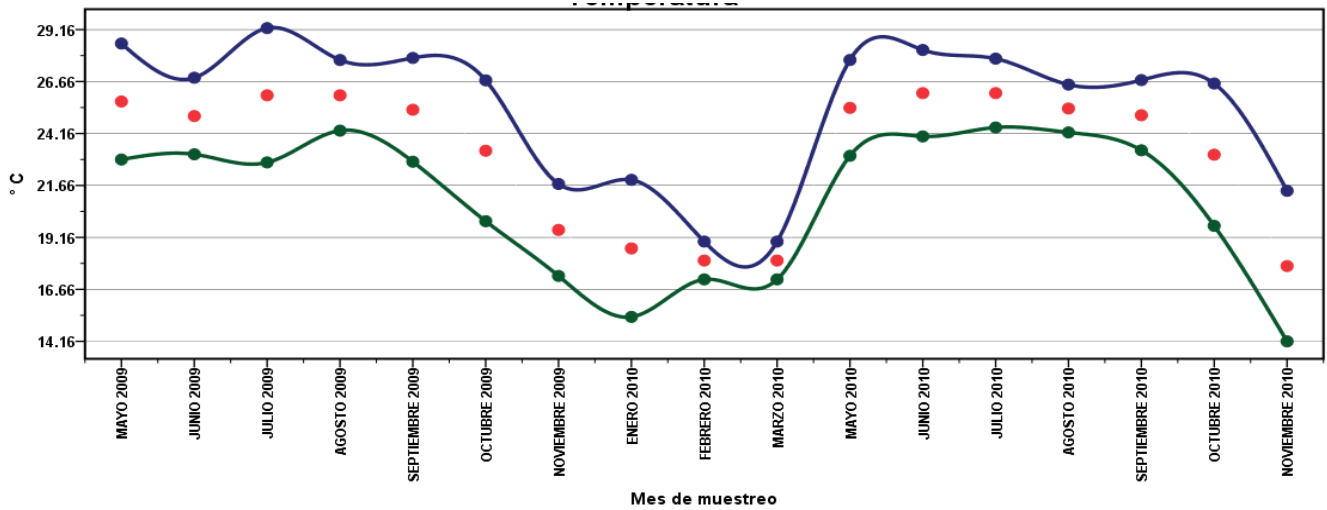


Figura 46. Temperatura, variabilidad promedio estacional de 17 meses de muestreo.

La temperatura osciló entre 20.73 °C la mínima y 26.34 °C la máxima, durante los puntos de muestreo del estudio. En cambio para los meses de muestreo la Temperatura oscilo entre 18.05 °C a mínima y 26.11°C la máxima. Se aprecia una tendencia de estabilidad total en el valor de temperatura en el agua del Rio Santiago, respondiendo al ciclo térmico estacional.

7.1.22 Turbiedad

La figura 47 muestra los valores promedios para Turbiedad y su variabilidad (desviación estándar) espacial en los 17 meses de muestreo. Se observan puntos muy significativos a lo largo del Rio Santiago a partir del (RS1, RS4, RS6 al RS10), muestra altos niveles de turbidez, debido probablemente a la presencia de zonas urbanas, industriales y de desechos urbanos pues las cuales generan una cantidad importante de partículas suspendidas y disueltas ocasionando los altos niveles de turbidez a lo largo del Rio Santiago.

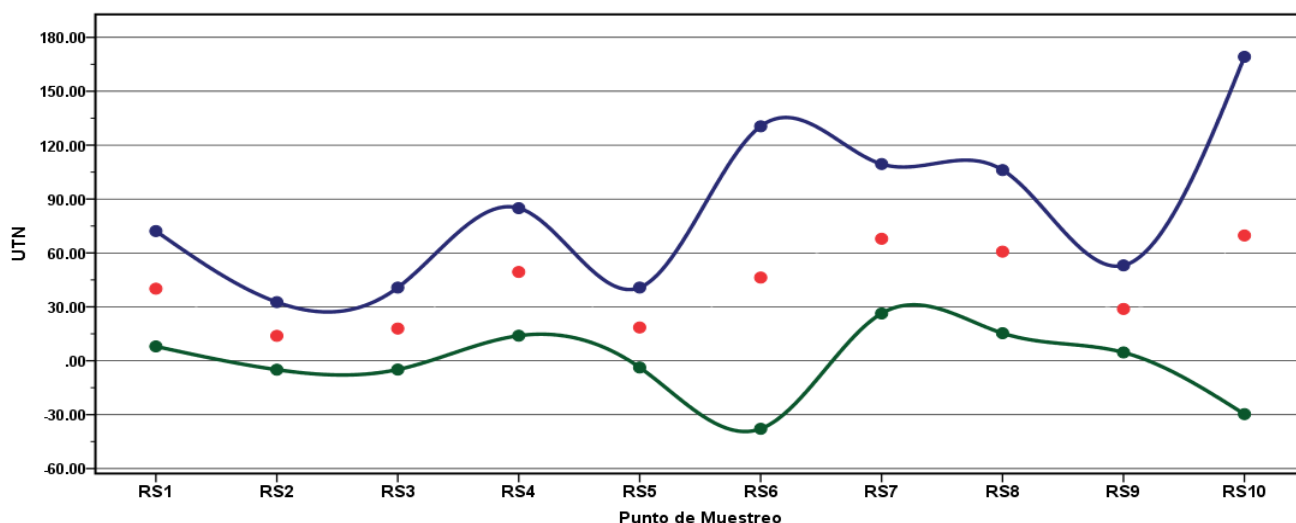


Figura 47. Turbiedad, variabilidad promedio espacial de 10 puntos de muestreo.

La figura 48 muestra la variabilidad promedio estacional de Turbiedad en los 17 meses de muestreo, se observa a lo largo del monitoreo una turbidez homogénea, mas sin embargo existe un aumento muy considerable en algunos meses, ocasionado probablemente por el ingreso de agua al Rio Santiago, el cual genera una aumento en las partículas disueltas y suspendidas pues estas se concentran más debido al ingreso de agua por las lluvias. Se observa como en los meses de (Julio 2009, Agosto 2009, Septiembre 2009, Julio 2010, Agosto 2010, Septiembre 2010) hay un incremento en la turbidez debido a que es temporada de lluvias por lo tanto los las partículas suspendidas tienden a tener una concentración mayor.

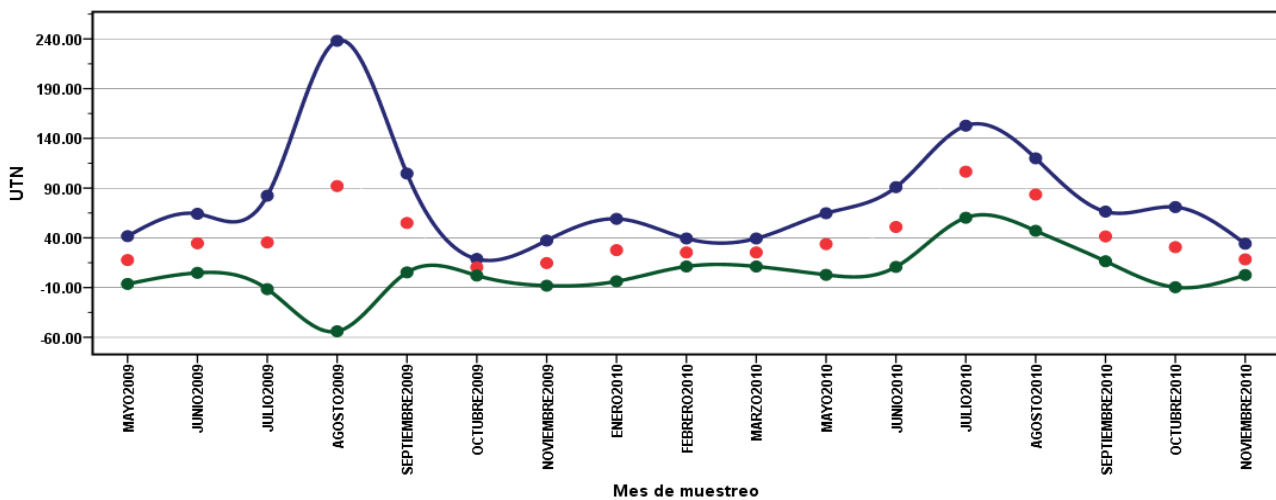


Figura 48. Turbiedad, variabilidad promedio estacional de 17 meses de muestreo.

La turbiedad es una expresión de la propiedad óptica que origina que la luz se disperse y absorba en vez de transmitirse en línea recta a través del agua. La turbiedad del agua es producida por materias en suspensión, como arcilla, cieno o materias orgánicas e inorgánicas finamente divididas, compuestos orgánicos solubles coloreados, plancton y otros microorganismos. La correlación de la turbiedad con la concentración en peso de los sólidos en suspensión es difícil de establecer, ya que en la dispersión luminosa también intervienen el tamaño, la forma y el índice de refracción de las partículas. La turbiedad es un factor importante en los cuerpos de agua, ya que determina la extensión de superficie fótica aprovechable en actividades fotosintéticas, al establecer un gradiente de dispersión de la luz a través de la columna de agua, determinando la capacidad productiva del cuerpo o curso de agua.

Los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001-89 no se establecen valores límite de turbiedad para la Protección a la Vida Acuática en Agua Dulce. La Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 "Salud Ambiental, Agua Para Uso y Consumo Humano- Límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que Debe Someterse el Agua Para su Potabilización" establece un límite de 5 UTN.

Los resultados estimados en el seguimiento muestran un valor promedio de turbiedad en el agua del Rio Santiago de 41.33 ± 42.63 UTN, por lo que no permite su utilización como fuente de abastecimiento de forma directa ya que presenta valores mayores a los permitidos, para el abastecimiento y consumo humano pues no cumple con la normativa antes señalada.

7.1.23 Aluminio

La figura 49 muestra los valores promedios para Aluminio y su variabilidad (desviación estándar) espacial en los 17 meses de muestreo. Se observan puntos muy significativos a lo largo del Rio Santiago a partir del (RS6 al RS10), muestra altos niveles de concentración, debido probablemente a la presencia de zonas industriales, zonas agrícolas y zonas urbanas, pues aunque el aluminio se encuentra de manera natural dentro de la naturaleza, las concentraciones que se tienen en el presente estudio muestran altos niveles de aluminio con la cual puede haber riegos significativos para la población humana, vegetal y animal.

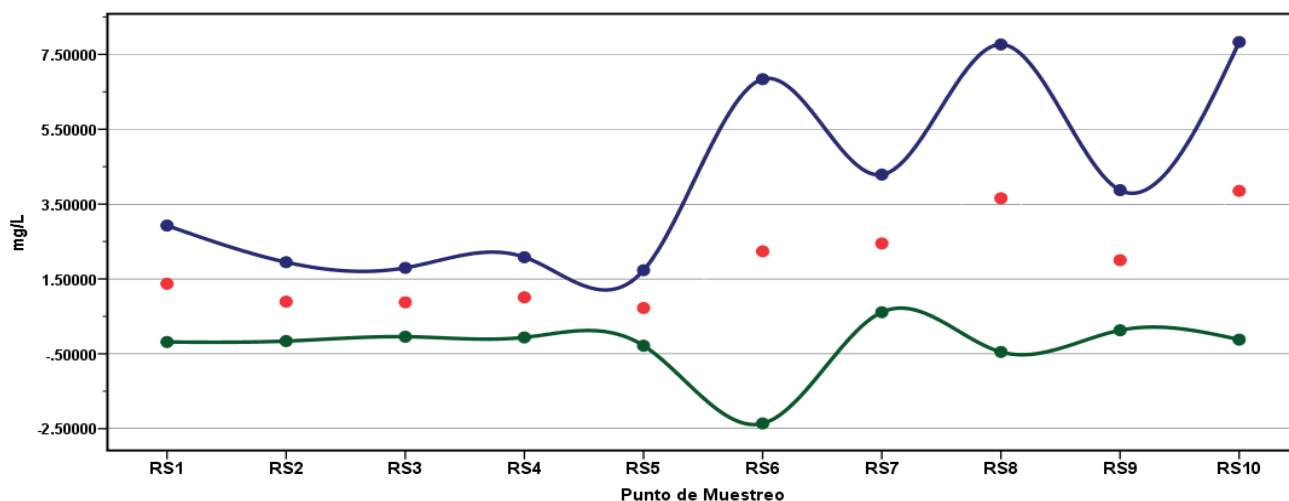


Figura 49. Aluminio, variabilidad promedio espacial de 10 puntos de muestreo.

La figura 50 muestra la variabilidad promedio estacional de Aluminio en los 17 meses de muestreo, se observa a lo largo del monitoreo valores homogéneos, más sin embargo existen meses con un aumento muy considerable ocasionado probablemente por el aumento de descargas industriales y por el aumento de agua al Rio. Se observa como en los meses de (Julio 2009, Agosto 2009, Septiembre 2009, Julio 2010, Agosto 2010) hay un incremento en las concentraciones de aluminio debido a que hay un ingreso de agua considerable, por lo tanto los tienden a tener una concentración mayor.

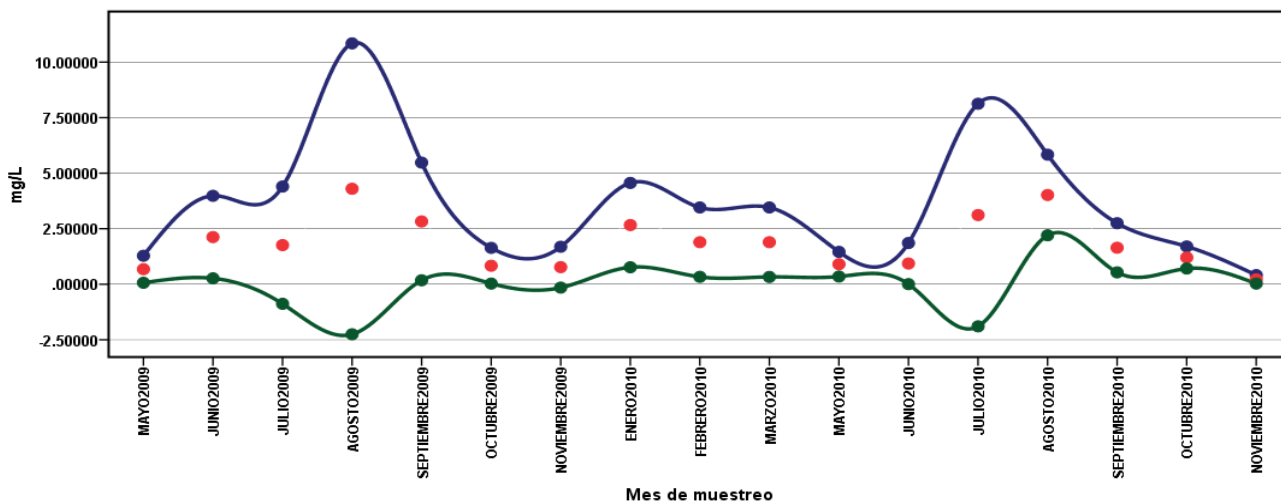


Figura 50. Aluminio, variabilidad promedio estacional de 17 meses de muestreo.

El aluminio es uno de los elementos más abundantes en la corteza terrestre. Generalmente se encuentra en forma de aluminosilicatos y conforme el pH del suelo disminuye se solubiliza. La toxicidad del aluminio ha sido reconocida como el factor limitante más importante para la producción agrícola en suelos ácidos. El síntoma principal de la toxicidad por aluminio es la inhibición del crecimiento de las raíces (Jones, 1978). Paralelamente, en los últimos años se ha discutido la posible relevancia del aluminio en la etiología de la enfermedad de Alzheimer (Markesbery, 1997).

Los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001-89 establecen valores límite de aluminio de 0.05 mg/L para Protección a la Vida Acuática en Agua Dulce. La Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 “Salud Ambiental, Agua Para Uso y Consumo Humano- Límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que Debe Someterse el Agua Para su Potabilización”, establece un valor límite para aluminio de 0.20 mg/L.

Los resultados estimados en el seguimiento muestran un valor promedio de aluminio en el agua del Rio Santiago de 1.9077 ± 2.2002 mg/L, la cual no es adecuada para la protección a la vida acuática en agua dulce. Para uso como fuente de abastecimiento no cumple con la NOM-127-SSA1-1994.

7.1.24 Arsénico

La figura 51 muestra los valores promedios para Arsénico y su variabilidad (desviación estándar) espacial en los 17 meses de muestreo. Se observa una variabilidad relativamente homogénea a lo largo del Rio Santiago, mas sin embargo también se observan puntos significativos como son el **(RS1 y RS8)** los cuales muestran altos niveles de concentración, debido a la presencia de zonas agrícolas, las cuales generan una cantidad importante de concentraciones de arsénico.

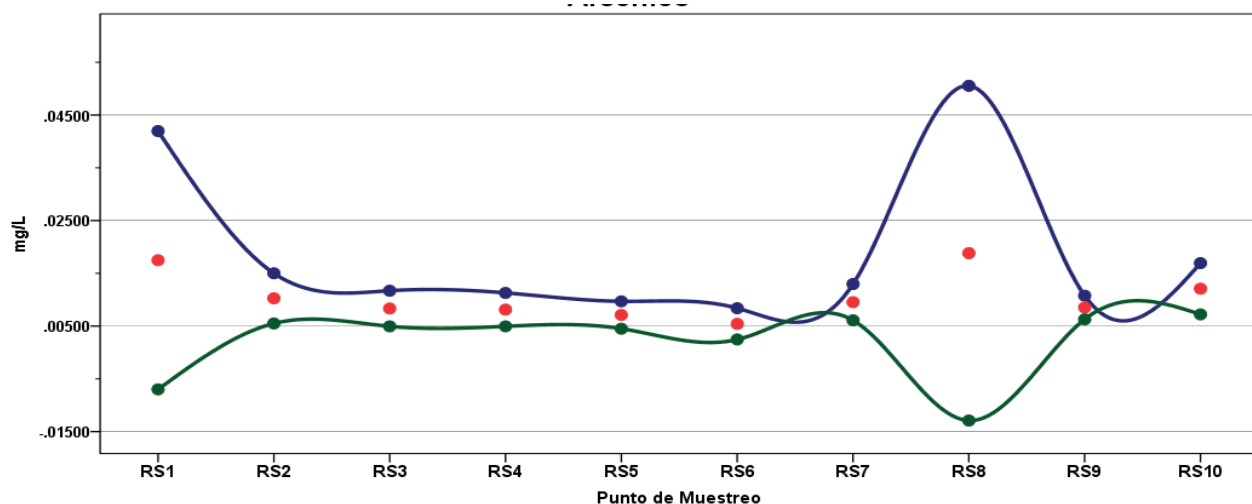
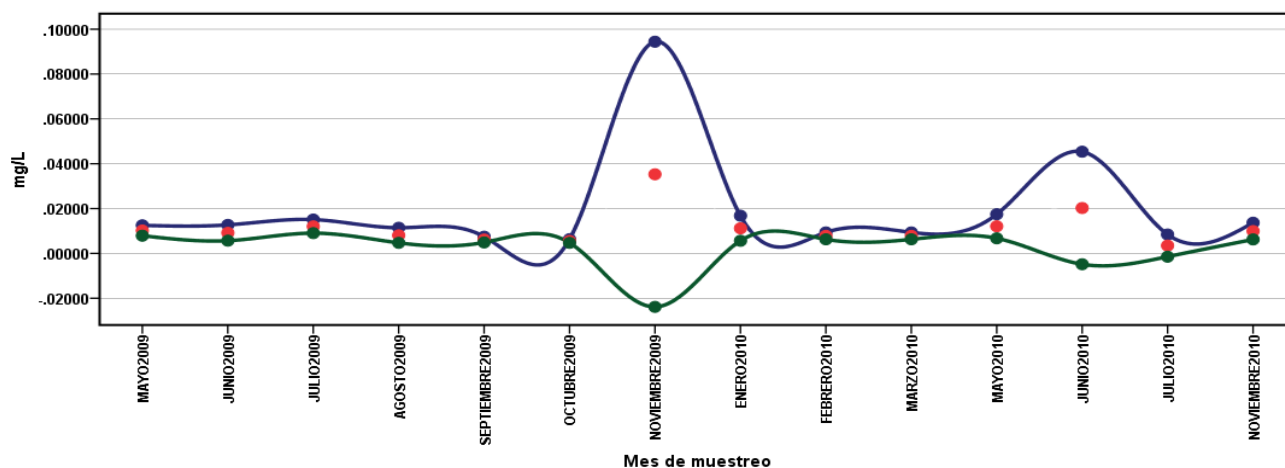


Figura 51. Arsénico, variabilidad promedio espacial de 10 puntos de muestreo.

La figura 52 muestra la variabilidad promedio estacional de Arsénico en los 17 meses de muestreo, se observa a lo largo del monitoreo una variabilidad similar a excepción de los meses de **(Noviembre 2009, Junio 2010)** en donde se presenta un incremento en las concentraciones. Se puede observar una tendencia lineal a lo largo del monitoreo, señalándose que en los meses de **(Agosto 2010, Septiembre 2010, Octubre 2010)** las concentraciones son menores y no son representativas para el estudio.



Nota: En los meses de Agosto, Septiembre y Octubre del año 2010 los niveles de Arsénico presentes en el río fueron niveles muy bajos a los establecidos en las Normas por lo tanto no son significativos para el análisis y no se toman en cuenta para la gráfica.

Figura 52. Arsénico, variabilidad promedio estacional de 17 meses de muestreo.

El arsénico es un elemento no metálico presente en la naturaleza formando un 0,00005% de la corteza terrestre, el cual se presenta en sus formas orgánica o inorgánica. Su principal vía de dispersión en el ambiente es el agua. Aún si se considera la sedimentación, la solubilidad de los arsenatos y arsenitos es suficiente para que este elemento se transporte en los sistemas acuáticos. La concentración del arsénico en aguas naturales frescas es muy variable y probablemente depende de las formas de arsénico en el suelo local.

En los sistemas acuáticos el arsénico se puede presentar en cuatro estados de oxidación bajo condiciones normales siendo las más comunes sus estados trivalentes (arsenitos) y pentavalentes (arsenatos). En aguas naturales de pH 5 a 9 predominan las especies: $H_2AsO_4^-$, $HAsO_4^{2-}$, H_3AsO_3 , $H_2AsO_3^-$. Las condiciones que favorecen la oxidación química y biológica inducen el cambio a especies pentavalentes y, a la inversa, aquellas que favorecen la reducción cambiarán el equilibrio al estado trivalente (Mcintosh, 1991).

El arsénico se clasifica como cancerígeno en el grupo A debido a la evidencia de sus efectos adversos sobre la salud. A dosis altas causa malformaciones en animales. Estudios en humanos sugieren una conexión entre exposición y aborto espontáneo o muerte al nacer. La exposición a 0,05 mg/L puede causar 31,33 casos de cáncer de la piel por cada 1.000 habitantes y ha considerado bajar el límite máximo de aceptación de 0,050 mg/L, al de 0,010 - 0,020 mg/L. La eliminación natural del organismo humano es por vía urinaria, heces, sudor y epitelio de la piel (descamación) (ATSDR, 1990).

Los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001-89 establecen valores límite de arsénico para Protección a la Vida Acuática en Agua Dulce de 0.20 mg/L.

La Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 “Salud Ambiental, Agua Para Uso y Consumo Humano-Límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que Debe Someterse el Agua Para su Potabilización” establece un valor límite para arsénico de 0.05 mg/L.

Los resultados estimados en el seguimiento muestran un valor promedio de arsénico en el agua del Rio Santiago de 0.0105 ± 0.0083 mg/L, lo que permite su utilización para todos los usos descritos anteriormente.

7.1.25 Bario

La figura 53 muestra los valores promedios para Bario y su variabilidad (desviación estándar) espacial en los 17 meses de muestreo. Se observan una variabilidad homogénea a lo largo del Rio Santiago. Mas sin embargo se presentan puntos con mayor concentración (**RS1 y RS3**), debido a la presencia de zonas industriales o fábricas en donde se utiliza este elemento como parte de los procesos de producción, las cuales generan una cantidad detectable de Bario.

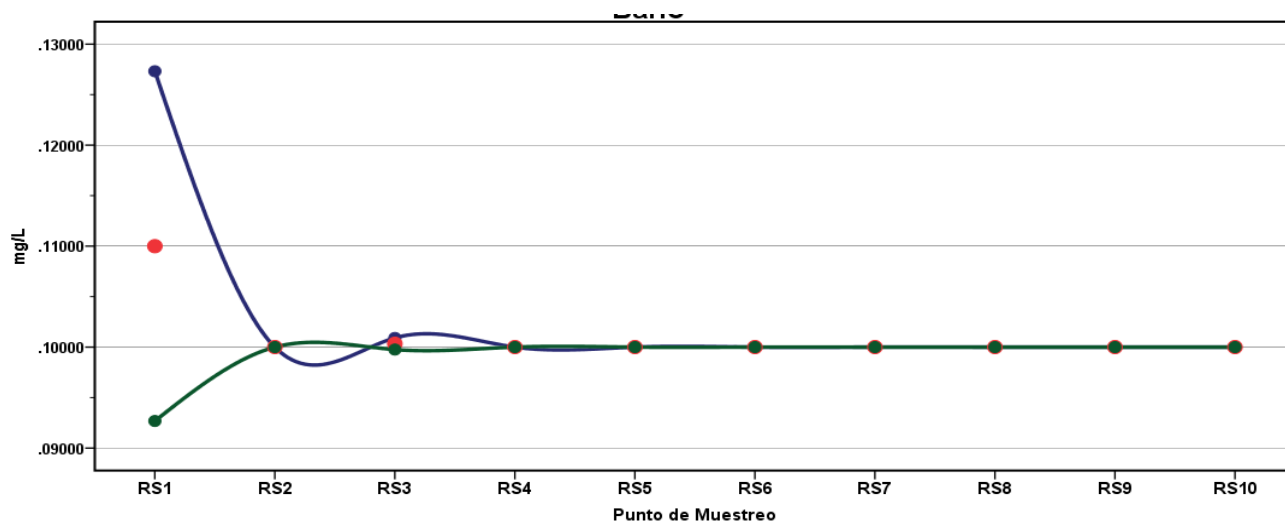
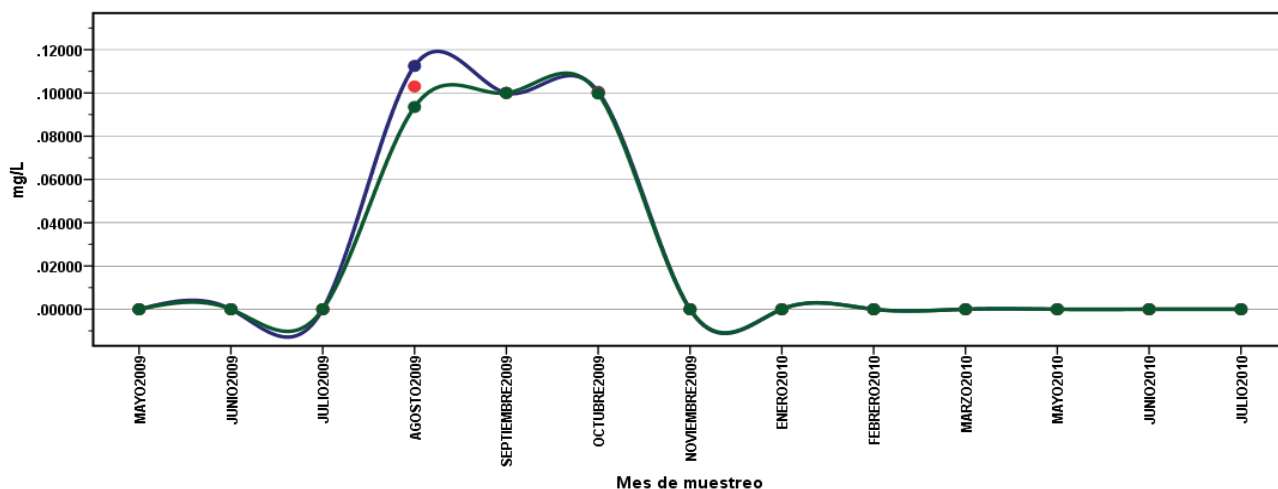


Figura 53. Bario, variabilidad promedio espacial de 10 puntos de muestreo.

La figura 54 muestra la variabilidad promedio estacional de Bario en los 17 meses de muestreo, el Bario a lo largo del monitoreo presenta en la mayoría de los meses valores menores al límite detectable, por lo cual la variabilidad estacional no es representativa. Se observa como solo en los meses de **(Agosto 2009, Septiembre 2009, Octubre 2009)** hay un incremento en las concentraciones pero no muestra si existe una variabilidad a lo largo del monitoreo.



Nota: En los meses de agosto 2010, Septiembre 2010, Noviembre 2010 el análisis de bario no se realiza y no hay informacion de esos meses.

Figura 54. Bario, variabilidad promedio estacional de 17 meses de muestreo.

El Bario es un metal plateado-blancuzco que puede ser encontrado en el medioambiente, donde existe de forma natural. Aparece combinado con otros elementos químicos, como el azufre, carbón u oxígeno.

Los compuestos del Bario son usados por las industrias del aceite y gas para hacer lubricantes para taladros. Los compuestos del Bario son también usados para hacer pinturas, bricks, azulejos, vidrio y gomas.

Debido al uso extensivo del Bario en las industrias, el Bario ha sido liberado al ambiente en grandes cantidades. Como resultado las concentraciones de Bario en el aire, agua y suelo pueden ser mayores que las concentraciones que ocurren de forma natural en muchos lugares. El Bario es liberado al aire por las minas, proceso de refinado, y durante la producción de compuestos de Bario. Puede entrar también al aire durante la combustión del carbón y aceites.

Debido a sus solubilidades estos compuestos del Bario pueden alcanzar largas distancias desde sus puntos de emisión. Cuando peces y otros organismos acuáticos absorben los compuestos del Bario, el Bario se acumulará en sus cuerpos. Los compuestos del Bario que son persistentes usualmente permanecen en la superficie del suelo, o en el sedimento de las aguas. El Bario es encontrado en la mayoría de los suelos en bajos niveles. Estos niveles pueden ser más altos en vertederos de residuos peligrosos.

Los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001-89 establecen valores límite de bario para Protección a la Vida Acuática en Agua Dulce de 0.01 mg/L.

La Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 "Salud Ambiental, Agua Para Uso y Consumo Humano-Límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que Debe Someterse el Agua Para su Potabilización" establece un valor límite para bario de 0.70 mg/L.

Los resultados estimados en el seguimiento muestran un valor promedio de bario en el agua del Rio Santiago de 0.1010 ± 0.0017 mg/L, lo que permite su utilización para consumo humano, mas no para la Protección a la Vida Acuática en agua dulce.

7.1.26 Cadmio

La figura 55 muestra los valores promedios para Cadmio y su variabilidad (desviación estándar) espacial en los 17 meses de muestreo. Se observa una variabilidad similar a excepción de los puntos (RS7 y RS8), los cuales muestran niveles de concentración mayores, debido probablemente a la presencia de zonas agrícolas y por el uso excesivo de fertilizantes hechos a base de cadmio, aunque las concentraciones en la mayoría de los puntos no son superiores a lo que se marca como límite permisible, si se puede observar que en el punto RS8 la concentración es mayor y sobrepasa ese límite.

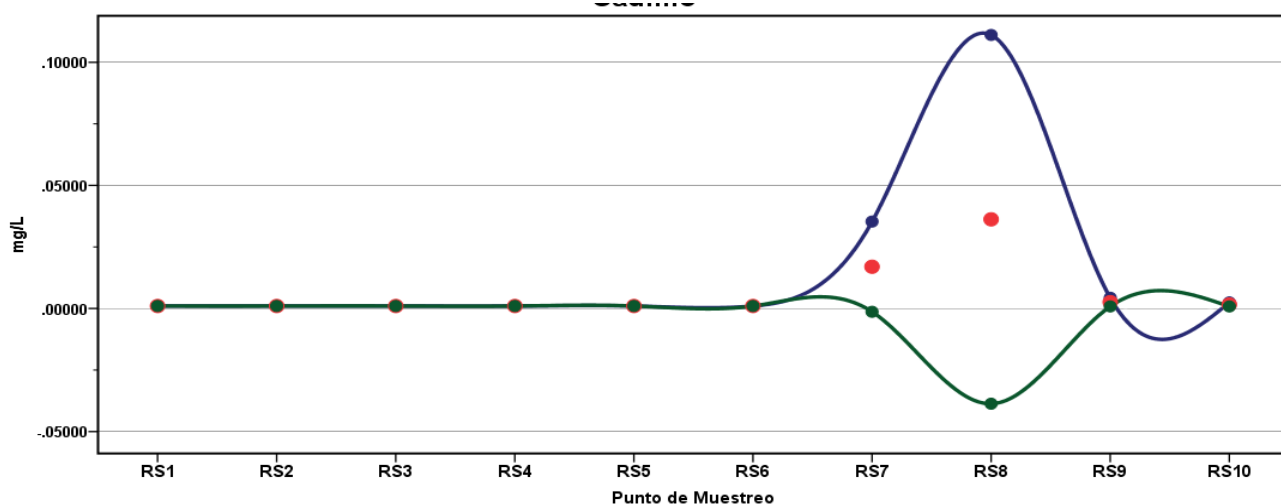


Figura 55. Cadmio, variabilidad promedio espacial de 10 puntos de muestreo.

La figura 56 muestra la variabilidad promedio estacional de Cadmio en los 17 meses de muestreo, se observa a lo largo del monitoreo un aumento muy considerable ocasionado probablemente por el aumento en la descargas al Río y por la falta de ingreso de agua al Río. Se observa como en los meses de (Mayo 2009, Junio 2009, Julio 2009, Octubre 2009, Noviembre 2009, Agosto 2010, Octubre 2010) hay un incremento en las concentraciones de Cadmio significativo en el muestreo.

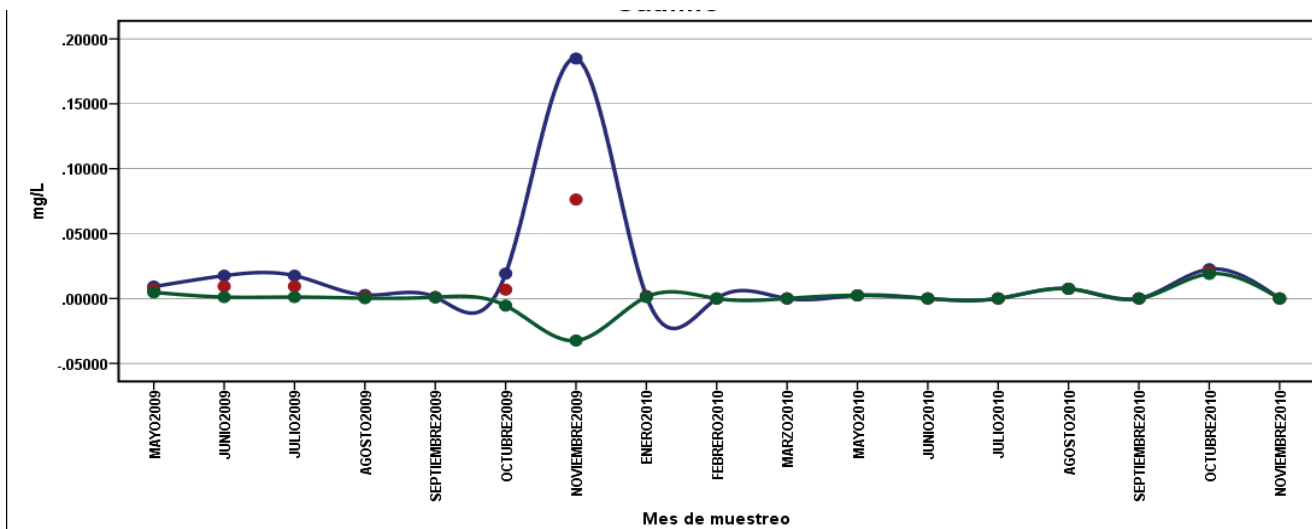


Figura 56. Cadmio, variabilidad promedio estacional de 17 meses de muestreo.

El cadmio es un elemento tóxico para la función reproductora masculina. Estudios animales sugieren que es capaz de producir malformaciones congénitas (defectos del desarrollo de los pulmones) y que puede predisponer a alteraciones respiratorias del recién nacido. Sus efectos son menos conocidos que los del plomo o del mercurio (Mcintosh, 1991).

Las aguas residuales con Cadmio procedentes de las industrias mayoritariamente terminan en suelos. Las causas de estas corrientes de residuos son por ejemplo la producción de Zinc, minerales de fosfato y las bioindustrias del estiércol. El Cadmio de las corrientes residuales puede también entrar en el aire a través de la quema de residuos urbanos y de la quema de combustibles fósiles. Debido a las regulaciones sólo una pequeña cantidad de Cadmio entra ahora en el agua a través del vertido de aguas residuales de casas o industrias.

Otra fuente importante de emisión de Cadmio es la producción de fertilizantes fosfatados artificiales. Parte del Cadmio terminará en el suelo después de que el fertilizante es aplicado en las granjas y el resto del Cadmio terminará en las aguas superficiales cuando los residuos del fertilizante son vertidos por las compañías productoras.

Los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001-89 no establecen valores límite de cadmio para la Protección a la Vida Acuática en agua dulce. La Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 “Salud Ambiental, Agua Para Uso y Consumo Humano-Límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que Debe Someterse el Agua Para su Potabilización” establece un valor límite para cadmio de 0.005 mg/L.

Los resultados estimados en el seguimiento muestran un valor de $0.0063 \text{ mg/L} \pm 0.0095$ de cadmio en el agua del Río Santiago, lo que permite su utilización solo para consumo y uso humano, mas sin embargo para la Protección a la Vida Acuática en agua dulce no hay un límite establecido, haciendo con esto una fuente de peligro importante para la vida acuática.

7.1.27 Cobre

La figura 57 muestra los valores promedios para Cobre y su variabilidad (desviación estándar) espacial en los 17 meses de muestreo. Se observan puntos muy significativos a lo largo del Río Santiago como en el **(RS3, RS4, RS7 y RS8)**, los cuales muestran altos niveles de concentración, debido a la presencia de zonas industriales y probablemente de zonas agrícolas, las cuales generan una cantidad considerable de Cobre. El cual se van arrastrando a lo largo del Río.

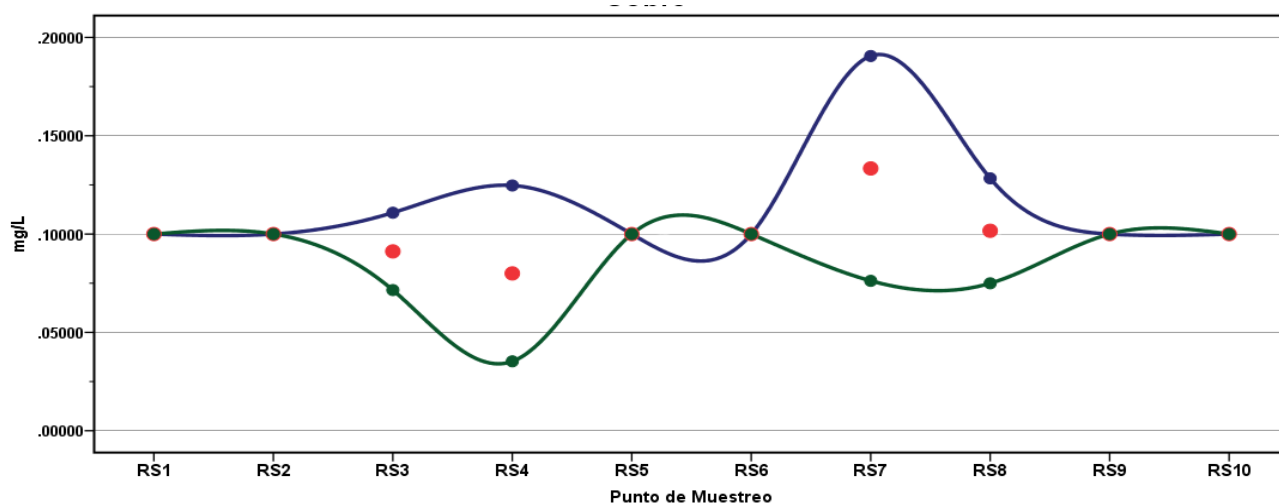
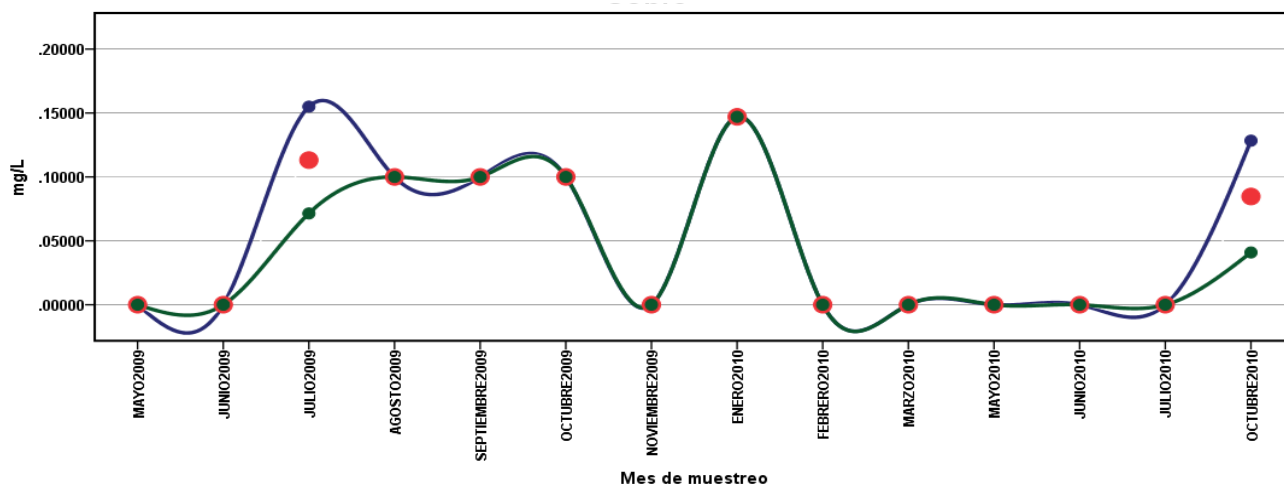


Figura 57. Cobre, variabilidad promedio espacial de 10 puntos de muestreo.

La figura 58 muestra la variabilidad promedio estacional de Cobre en los 17 meses de muestreo, se observa a lo largo del monitoreo que la variabilidad del Cobre presenta en algunos meses valores menores al límite detectable del método más sin embargo también se observa como en los meses de **(Julio 2009, Agosto 2009, Septiembre 2009, Octubre 2009, Enero 2010, Octubre 2010)** hay un incremento en las concentraciones de Cobre probablemente por las descargas industriales y agrícolas presentes en la zona.



Nota: Agosto, Septiembre, Noviembre del 2010, los valores no llegan al límite menor permisible y por lo tanto no son significativos para el análisis.

Figura 58. Cobre, variabilidad promedio estacional de 17 meses de muestreo.

El Cobre es una sustancia muy común que ocurre naturalmente y se extiende a través del ambiente a través de fenómenos naturales, los humanos usan ampliamente el Cobre. La producción de Cobre se ha incrementado en las últimas décadas y debido a esto las cantidades de Cobre en el ambiente se ha expandido. Exposiciones de largo periodo al cobre pueden irritar la nariz, la boca y los ojos y causar dolor de cabeza, de estómago, mareos, vómitos y diarreas. Si el Cobre es cancerígeno no ha sido determinado aún.

El Cobre puede ser liberado en el medioambiente tanto por actividades humanas como por procesos naturales. Unos pocos de ejemplos de actividades humanas que contribuyen a la liberación del Cobre son la minería, la producción de metal, la producción de madera y la producción de fertilizantes fosfatados.

Los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001-89 no establecen valores límite de cobre para la Protección a la Vida Acuática en agua dulce. La Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 "Salud Ambiental, Agua Para Uso y Consumo Humano-Límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que Debe Someterse el Agua Para su Potabilización" establece un valor límite para cobre de 2.00 mg/L.

Los resultados estimados en el seguimiento muestran un valor de 0.1006 mg/L \pm 0.0148 de cobre en el agua del Río Santiago, lo que permite su utilización solo para consumo y uso humano, mas sin embargo para la Protección a la Vida Acuática en agua dulce no hay un límite establecido.

7.1.28 Cromo Total

La figura 59 muestra los valores promedios para Cromo Total y su variabilidad (desviación estándar) espacial en los 17 meses de muestreo. Se observan puntos muy significativos a lo largo del Rio Santiago como los (RS4, RS5, RS6, RS7, RS8 y RS9), muestra altos niveles de concentración, debido a la presencia de zonas industriales y vertederos de basura, las cuales generan una cantidad importante de residuos del Cromo. Las cuales se van arrastrando a lo largo del Rio.

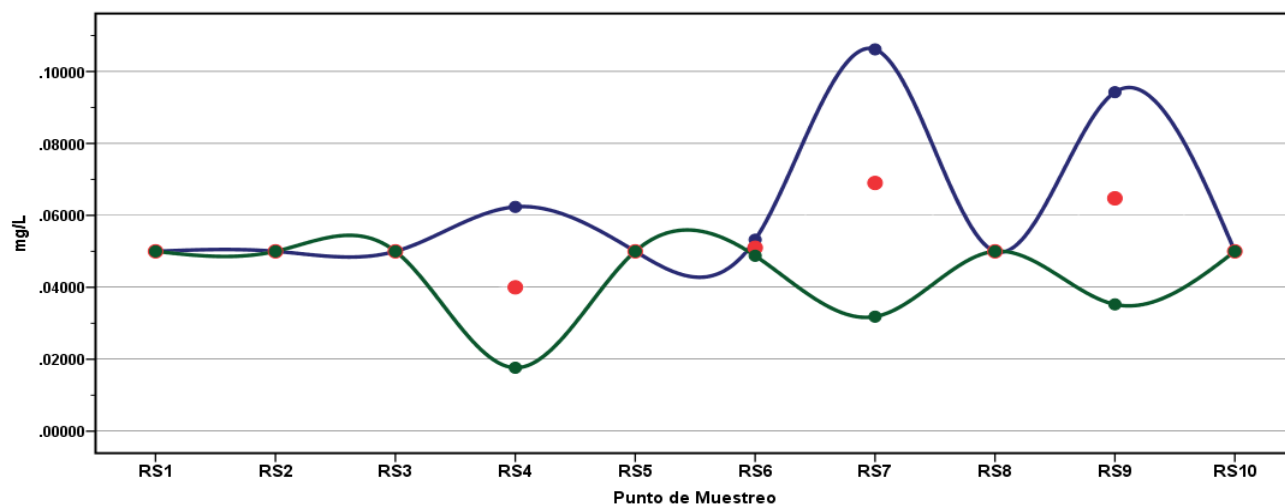
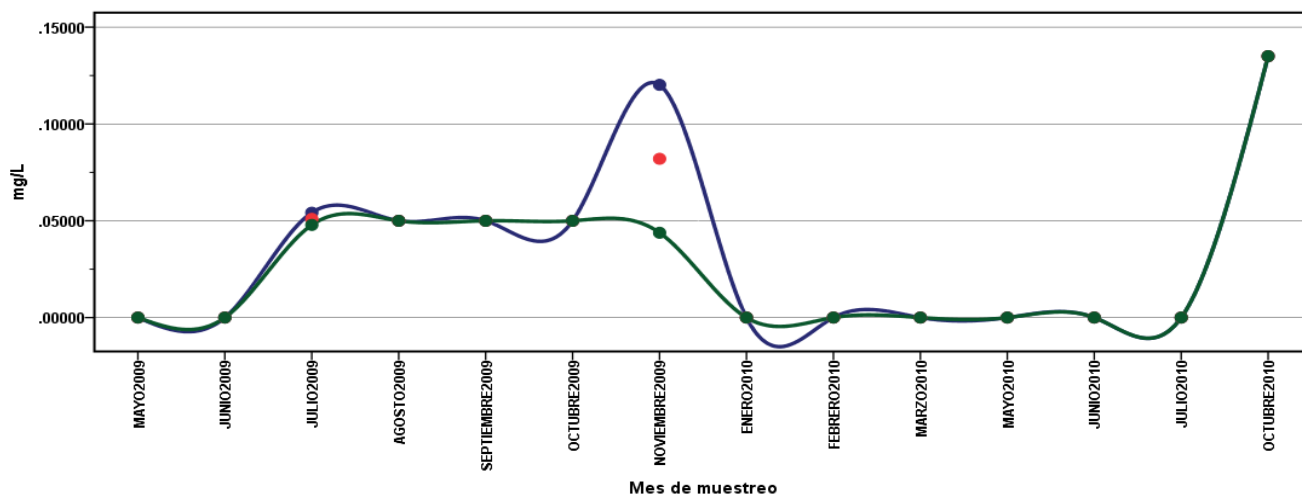


Figura 59. Cromo Total, variabilidad promedio espacial de 10 puntos de muestreo.

La figura 60 muestra la variabilidad promedio estacional de Cromo Total en los 17 meses de muestreo, se observa a lo largo del monitoreo una variabilidad temporal debido a la en algunos meses se presentan valores menores al límite detectable al método de muestreo. Se observa como en los meses de (Julio 2009, Agosto 2009, Septiembre 2009, Octubre 2009, Noviembre 2009 y Octubre 2010) hay un incremento en las concentraciones de Cromo Total, bebido probablemente a las descargas generadas en el periodo de lluvias.



Nota: Agosto, Septiembre, Noviembre del 2010, los valores no llegan al límite menor permisible y por lo tanto no son significativos para el análisis.

Figura 60. Cromo Total, variabilidad promedio estacional de 17 meses de muestreo.

En los sistemas acuáticos, la toxicidad de los compuestos solubles del cromo varía según la temperatura, pH y dureza del agua, y según las especies de organismos que los pueblan. Los compuestos del cromo (VI) se disuelven con facilidad, pero en condiciones naturales y en presencia de materia orgánica oxidable, se reducen rápidamente a compuestos cromo (III) más estables y menos hidrosolubles.

En las plantas se conocen, entre otras, lesiones en el sistema radicular, originadas principalmente por el cromo (VI). El cromo de valencia III es un elemento traza importante para el metabolismo insulínico, tanto en el ser humano como en los animales. El efecto carcinógeno de los compuestos del cromo (VI) no sólo ha sido demostrado experimentalmente con animales, sino también ha sido confirmado por los resultados de estudios epidemiológicos realizados con grupos humanos expuestos a esta sustancia en su lugar de trabajo. Se considera que el período de latencia correspondiente oscila entre 10 y 27 años. Las intoxicaciones agudas con compuestos del cromo (VI) se manifiestan, por ejemplo, como lesiones renales. Las intoxicaciones crónicas pueden producir mutaciones en el tracto gastrointestinal así como acumulaciones en el hígado, en el riñón, en la glándula tiroidea y en la médula ósea. El índice de eliminación es lento (Mcintosh, 1991).

Los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001-89 establecen valores límite de cromo total de 0.01 mg/L para la Protección a la Vida Acuática en agua dulce. La Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 “Salud Ambiental, Agua Para Uso y Consumo Humano-Límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que Debe Someterse el Agua Para su Potabilización” establece un valor límite para cromo total de 0.05 mg/L.

Los resultados estimados en el seguimiento muestran un valor promedio de cromo total en el agua del Río Santiago de 0.0524 ± 0.00912 mg/L, lo que permite su utilización para uso y consumo humano, mas no para la Protección a la Vida Acuática en agua dulce pues sobrepasa por mucho el límite permisible.

7.1.29 Fierro

La figura 61 muestra los valores promedios para Fierro y su variabilidad (desviación estándar) espacial en los 17 meses de muestreo. Se observan puntos con incrementos muy significativos a lo largo del Rio Santiago como son el (RS1, RS6, RS7, RS8, RS9 y RS10), muestra altos niveles de concentración, lo cuales se van arrastrando a lo largo del Rio.

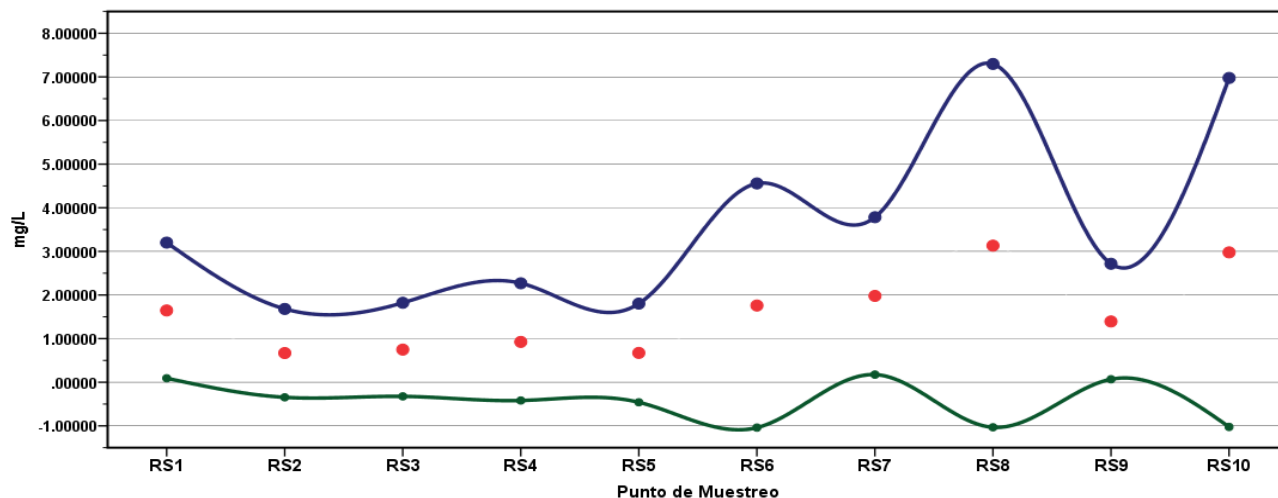


Figura 61. Cromo Fierro, variabilidad promedio espacial de 10 puntos de muestreo.

La figura 62 muestra la variabilidad promedio estacional de Fierro en los 17 meses de muestreo, se observa a lo largo del monitoreo una variabilidad homogénea. Se observa como en los meses de (Junio 2009, Julio 2009, Agosto 2009, Septiembre 2009, Octubre 2009, Julio 2010, Agosto 2010) hay un incremento en las concentraciones de Fierro. Con lo cual se puede observar una tendencia estacional que se mantiene a excepción de los meses antes mencionados.

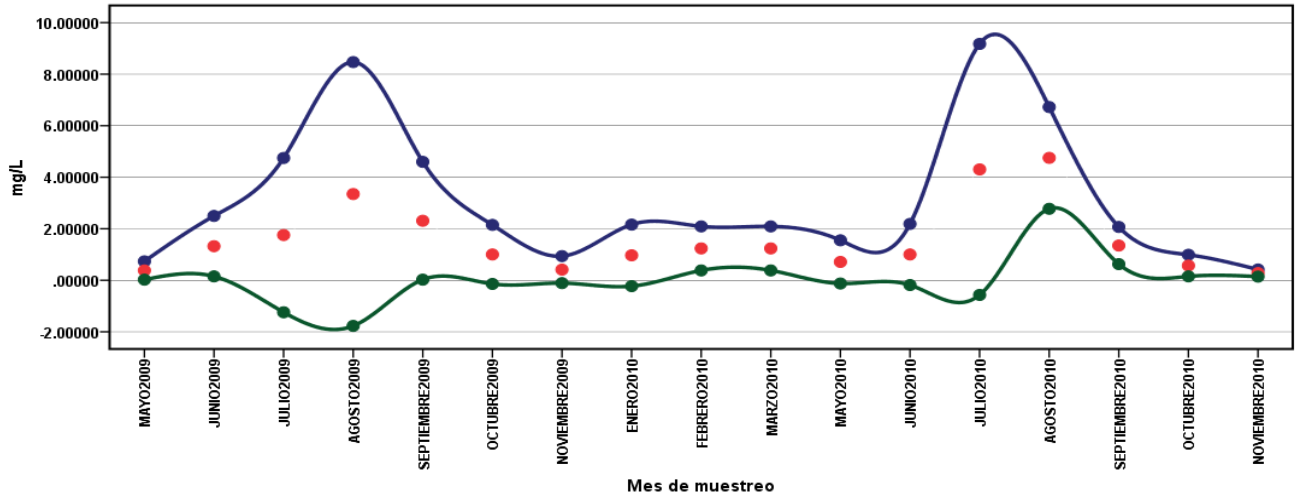


Figura 62. Fierro, variabilidad promedio estacional de 17 meses de muestreo.

El Fierro procede de la alteración de silicatos y otros minerales como Fe_2O_3 , $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (limonita), Fe_3O_4 (magnetita) y FeS_2 (pirita). Es un micronutriente esencial para la vida, siendo un constituyente normal del organismo (forma parte de la hemoglobina). Juega un papel importante en el ciclo de los fosfatos, lo que hace que su importancia sea muy grande desde el punto de vista biológico.

El exceso de Fierro es tóxico y causa vómitos, diarrea y lesión del intestino. La enfermedad por sobrecarga de Fierro (hemocromatosis) es un trastorno hereditario potencialmente mortal, aunque susceptible de tratamiento, en el cual se absorbe demasiado Fierro.

Los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001-89 establecen valores límite de Fierro para la Protección a la Vida Acuática en agua dulce de 1.00 mg/L. La Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 "Salud Ambiental, Agua Para Uso y Consumo Humano- Límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que Debe Someterse el Agua Para su Potabilización" establece un valor límite para Fierro de 0.30 mg/L.

Los resultados estimados en el seguimiento muestran un valor promedio de Fierro en el agua del Río Santiago de 1.5897 ± 2.0206 mg/L, la cual no es adecuada para la protección a la vida acuática. Para uso como fuente de abastecimiento no cumple la NOM-127-SSA1-1994.

7.1.30 Manganeso

La figura 63 muestra los valores promedios para Manganeso y su variabilidad (desviación estándar) espacial en los 17 meses de muestreo. Se observan a lo largo del Rio Santiago una variabilidad relativamente homogénea, con concentraciones altas en la mayoría de los puntos (**RS1 al RS6, RS9, RS10**), muestra altos niveles de concentración, debido a la presencia de zonas urbanas e industriales las cuales pueden generar una cantidad de residuos de Manganeso.

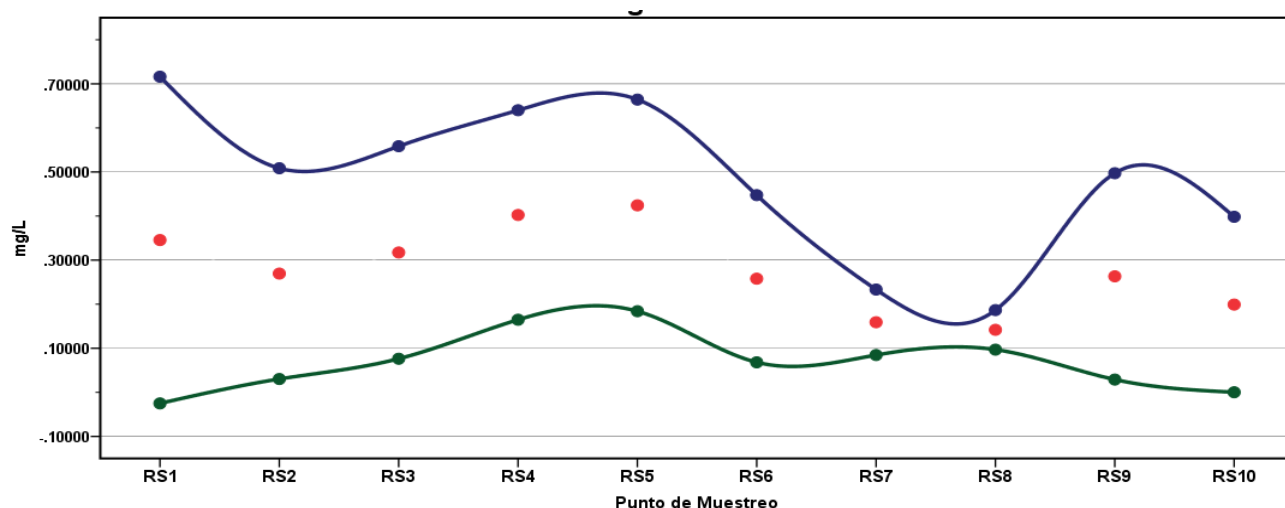


Figura 63. Manganeso, variabilidad promedio espacial de 10 puntos de muestreo.

La figura 64 muestra la variabilidad promedio estacional de Manganeso en los 17 meses de muestreo, se observa a lo largo del monitoreo una variabilidad constante a excepción de algunos meses en donde se observa un aumento en las concentraciones probablemente por el inicio y fin de la temporada de lluvias. Se observa como en los meses de (**Julio 2009, Agosto 2009, Septiembre 2009, Octubre 2009 y Octubre 2010**) hay un incremento en las concentraciones. Mostrando una tendencia estacional homogénea.

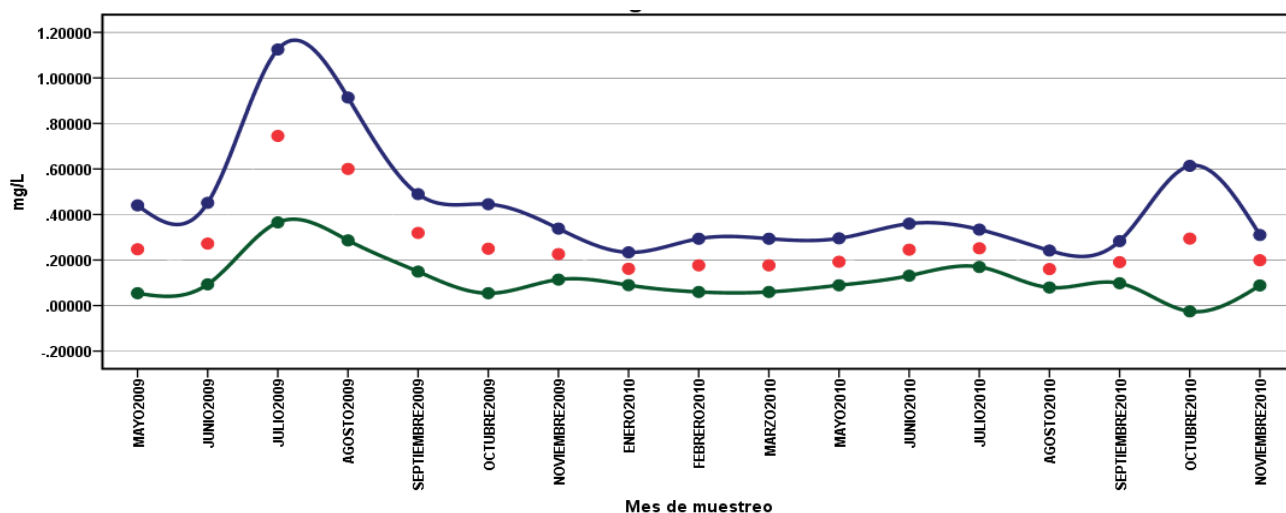


Figura 64. Manganeso, variabilidad promedio estacional de 17 meses de muestreo.

El manganeso (Mn) es un componente de varios sistemas enzimáticos, y es esencial para la estructura del hueso normal. La ingesta habitual de este elemento es de 2 a 5 mg/día, y la absorción es del 5 al 10%. La intoxicación por manganeso suele estar limitada a personas que trabajan en las minas y refinan el mineral, así como la fabricación de pilas secas, baterías y de varillas para soldar; la exposición prolongada causa síntomas neurológicos que se asemejan al parkinsonismo o a la enfermedad de Wilson. En animales machos provoca daño testicular y espermático así como retraso del crecimiento fetal. Es tóxico cerebral tanto para los adultos como para los niños (Mcintosh, 1991).

Los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001-89 no establecen valores límite de manganeso para la Protección a la Vida Acuática en agua dulce. La Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 “Salud Ambiental, Agua Para Uso y Consumo Humano- Límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que Debe Someterse el Agua Para su Potabilización”; establece un valor límite para manganeso de 0.15 mg/L.

Los resultados estimados en el seguimiento muestran un valor promedio de manganeso en el agua del Río Santiago de 0.2779 ± 0.2070 mg/L, lo que no permite su utilización para los usos antes mencionados.

7.1.31 Mercurio

La figura 65 muestra los valores promedios para Mercurio y su variabilidad (desviación estándar) espacial en los 17 meses de muestreo. Se observan una variabilidad similar a lo largo del Rio Santiago. A excepción del **(RS7)**, el cual muestra altos niveles de concentración, debido a la presencia de zonas agrícolas y probablemente por el arrastre de del mismo de zonas industriales, las cuales generan una cantidad de Mercurio, el cual se libera a través de descargas directas al Rio.

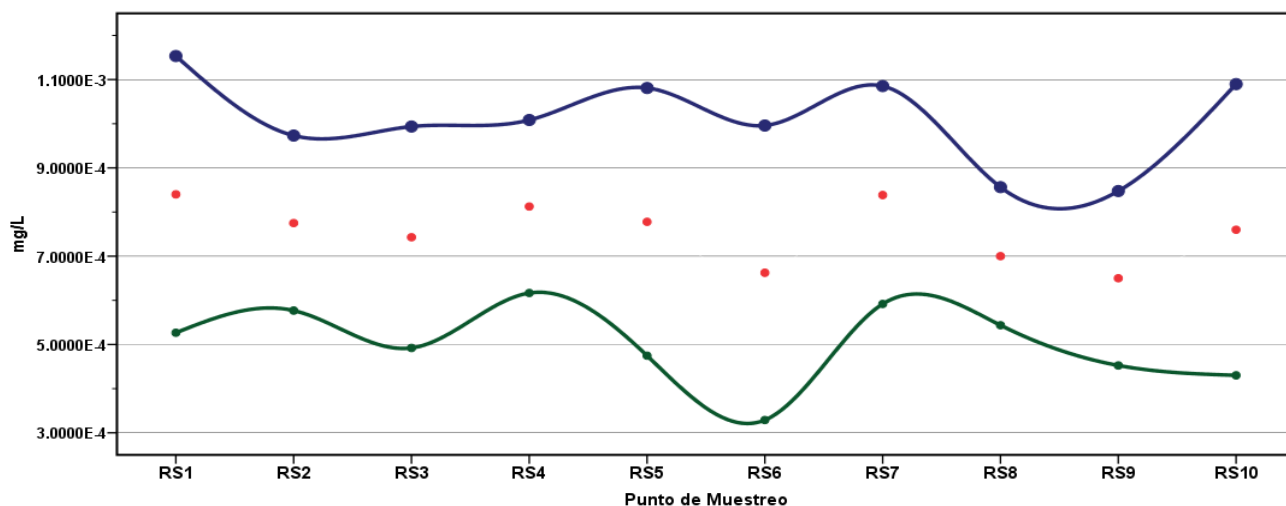


Figura 65. Mercurio, variabilidad promedio espacial de 10 puntos de muestreo.

La figura 66 muestra la variabilidad promedio estacional de Mercurio en los 17 meses de muestreo, se observa a lo largo del monitoreo una variabilidad constante probablemente se deba a que en algunos meses los valores obtenidos son menores al límite detectable del método y por lo cual se genera este tipo de variabilidad. Se observa como en los meses de **(Octubre 2009, Enero 2010, Febrero 2010, Marzo 2010, Junio 2010, Julio 2010 y Octubre 2010)** hay un incremento en las concentraciones.

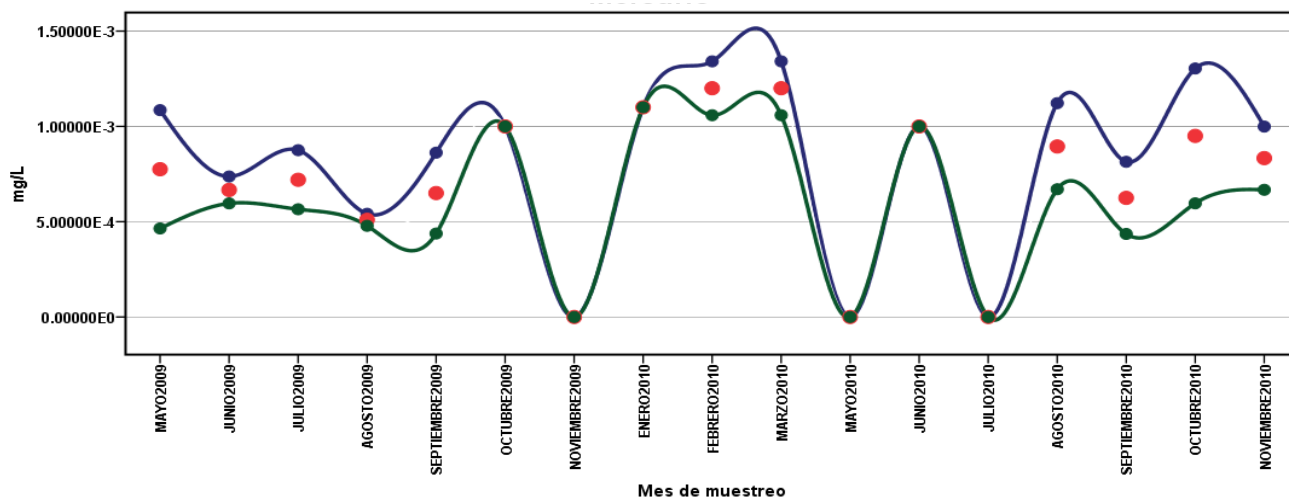


Figura 66. Mercurio, variabilidad promedio estacional de 17 meses de muestreo.

El mercurio es un metal ampliamente distribuido en el medio ambiente debido a las emisiones naturales y a su utilización por el hombre desde la edad antigua. En el medio ambiente se puede encontrar como mercurio metálico, formando parte de una sal inorgánica o como un compuesto organomercurial. La presencia de una u otra forma depende de diversos factores, y además tanto en el medio ambiente como en el organismo se pueden transformar unas en otras mediante reacciones de óxido-reducción y de metilación, reacciones en las que pueden intervenir algunos microorganismos (Mcintosh, 1991).

No todos los compuestos de mercurio tienen la misma toxicidad. Las sales inorgánicas tienen en principio un efecto altamente corrosivo, dañando las células epiteliales. Cuando la cantidad de mercurio ingerida en esta forma es elevada, el riñón es el principal órgano afectado, aunque también se depositan cantidades apreciables de este elemento en el hígado y los huesos. Debido al carácter acumulativo del mercurio, las lesiones en los órganos, principalmente riñones, se producen también cuando la exposición al metal es continua (Nielsen, 1992). La toxicidad del compuesto organomercurial más estudiado, el metilmercurio, es principalmente debida a su efecto sobre el sistema nervioso. En el hombre, el efecto tóxico se manifiesta tanto en el sistema nervioso central como en el periférico. Los órganos donde se acumula mayoritariamente el metilmercurio administrado por vía oral son el esqueleto, riñones, hígado y cerebro. Los fetos y los niños lactantes presentan una sensibilidad muy alta al metilmercurio, produciendo malformaciones en los primeros y retraso en el desarrollo cerebral en ambos (Nielsen, 1992).

Los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001-89 establecen valores límite de mercurio para Protección a la Vida Acuática en agua dulce de 0.00001 mg/L. La Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 "Salud Ambiental, Agua Para Uso y Consumo Humano-Límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que Debe Someterse el Agua Para su Potabilización", establece un valor límite para mercurio de 0.001 mg/L.

Los resultados estimados en el seguimiento muestran un valor promedio de mercurio en el agua del Río Santiago de $0.00075 \pm 0,000025$ mg/L, la cual no es adecuada para la protección a la vida acuática. Para uso como fuente de abastecimiento si cumple la NOM-127-SSA1-1994.

7.1.32 Níquel

La figura 67 muestra los valores promedios para Níquel y su variabilidad (desviación estándar) espacial en los 17 meses de muestreo. Se observa una variabilidad constante a lo largo del Río Santiago, solo en los puntos (RS4 y RS9), muestran altos niveles de concentración, debido a las descargas de origen residual e industrial, las cuales generan una cantidad de Níquel el cual se va arrastrando a lo largo del Río Santiago.

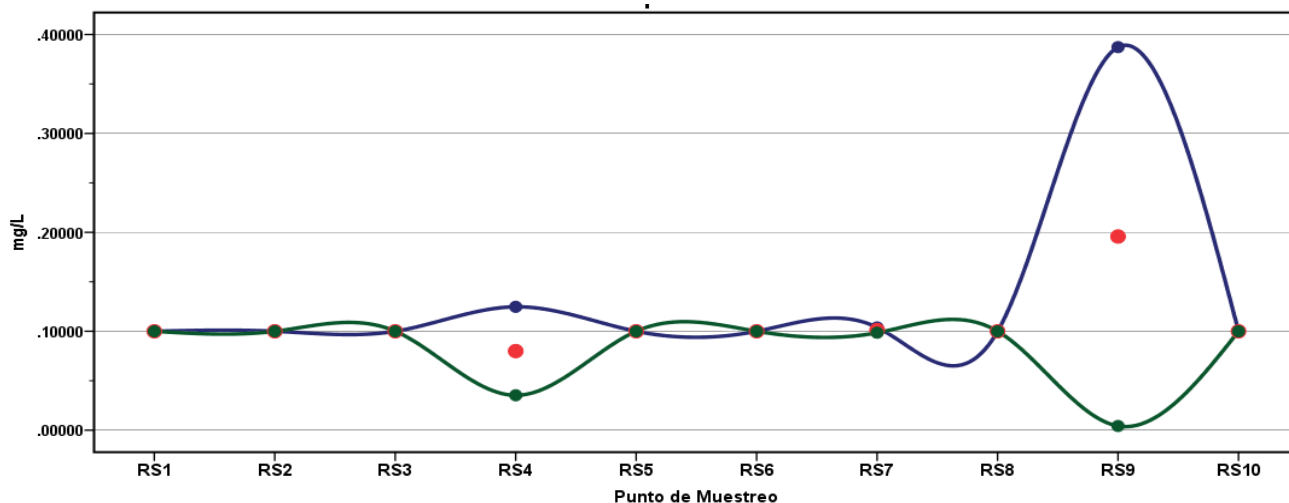


Figura 67. Níquel, variabilidad promedio espacial de 10 puntos de muestreo.

La figura 68 muestra la variabilidad promedio estacional de Níquel en los 17 meses de muestreo, se observa a lo largo del monitoreo una variabilidad constante, debido probablemente a que en algunos meses las concentraciones que se presentan son valores menores al límite de detección del método. Se observa como en los meses de (Julio 2009, Agosto 2009, Septiembre 2009, Octubre 2009, y Octubre 2010) existen valores de concentraciones mayores.

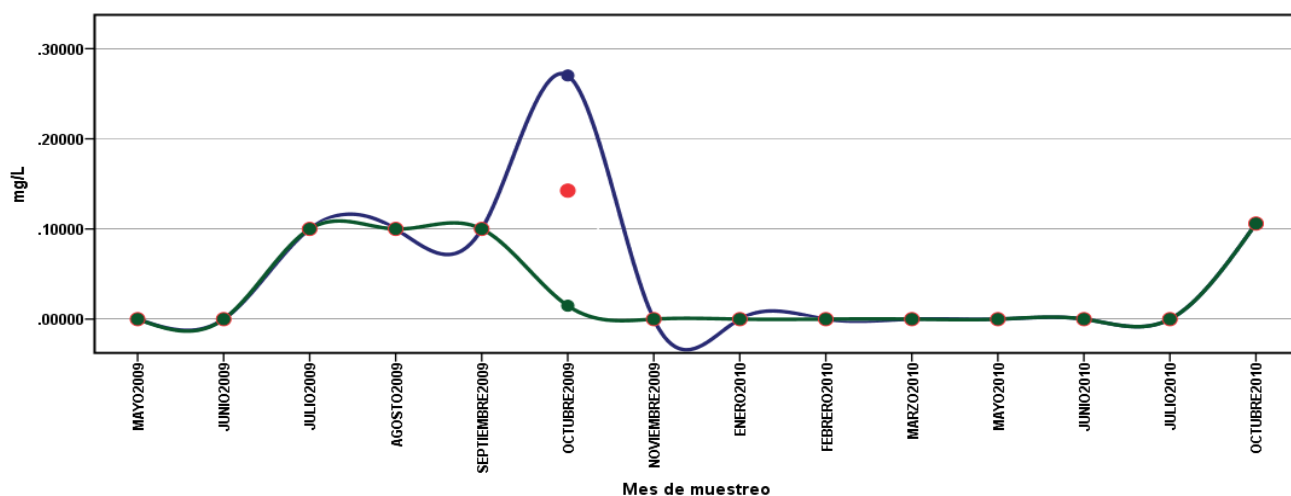


Figura 68. Níquel, variabilidad promedio estacional de 17 meses de muestreo.

El níquel es un elemento que ocurre en el ambiente sólo en muy pequeños niveles. La aplicación más común del níquel es el uso como ingrediente del acero y otros productos metálicos. Este puede ser encontrado en productos metálicos comunes como es la joyería.

Los humanos pueden ser expuestos al níquel al respirar el aire, beber agua, comer comida o fumar cigarrillos. En pequeñas cantidades el níquel es esencial, pero cuando es tomado en muy altas cantidades este puede ser peligroso para la salud humana. La toma de altas cantidades de níquel tienen las siguientes consecuencias: Elevadas probabilidades de desarrollar cáncer de pulmón, nariz, laringe y próstata.

El níquel es liberado al aire por las plantas de energía y las incineradoras de basuras. Este se depositará en el suelo o caerá después de reaccionar con las gotas de lluvia. El níquel puede también terminar en la superficie del agua cuando es parte de las aguas residuales.

Los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001-89 no establecen valores límite de níquel para Protección a la Vida Acuática en agua dulce. La Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 "Salud Ambiental, Agua Para Uso y Consumo Humano-Límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que Debe Someterse el Agua Para su Potabilización" no establece un valor límite para níquel.

Los resultados estimados en el seguimiento muestran un valor promedio de níquel en el agua del Río Santiago de 0.1076 ± 0.0238 mg/L, el cual dado que en los dos usos de referencia no se encuentra establecido, deja mucho margen para establecer si es peligroso al medio ambiente y a la salud.

7.1.33 Plomo

La figura 69 muestra los valores promedios para Plomo y su variabilidad (desviación estándar) espacial en los 17 meses de muestreo. Se observa una variabilidad espacial similar a lo largo del Rio Santiago, a excepción del **(RS5 y RS10)**, pues se muestran altos niveles de concentración, debido a la presencia de zonas urbanas y probablemente por actividades de construcción, las cuales generan una cantidad de Plomo ya sea a través de las tuberías o a través de descargas hacia el Rio.

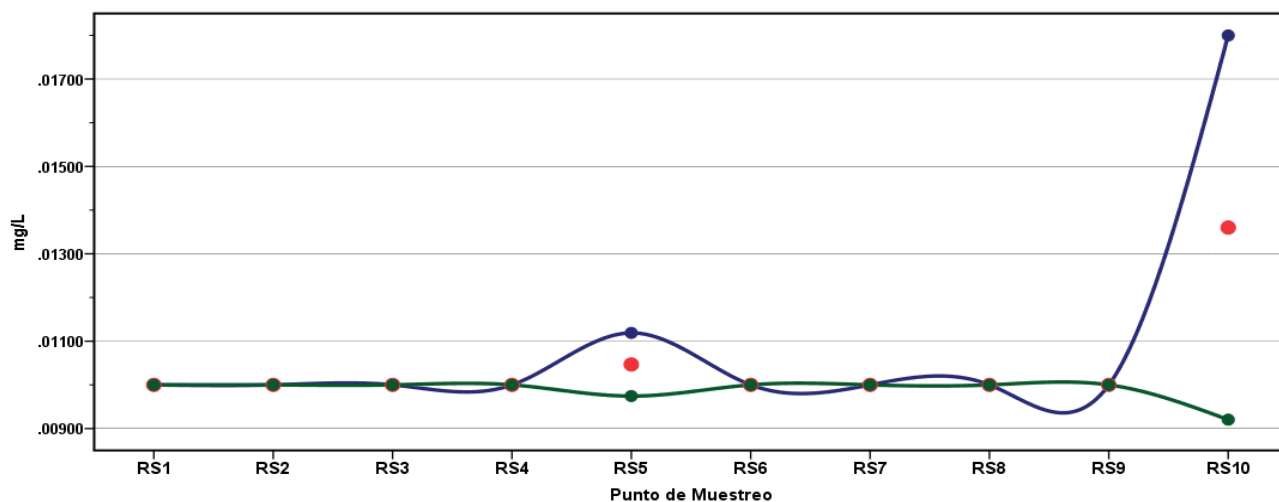


Figura 69. Plomo, variabilidad promedio espacial de 10 puntos de muestreo.

La figura 70 muestra la variabilidad promedio estacional de Plomo en los 17 meses de muestreo, se observa a lo largo del monitoreo una variabilidad constante, debido probablemente a que en algunos meses las concentraciones que se presentan son valores menores al límite de detección del método. Se observa como en los meses de **(Julio 2009, Agosto 2009, Septiembre 2009, Octubre 2009, Febrero 2010, Marzo 2010)** hay un incremento en las concentraciones, no obstante en los meses faltantes se tienen valores negativos por lo tanto no se puede apreciar ninguna tendencia.

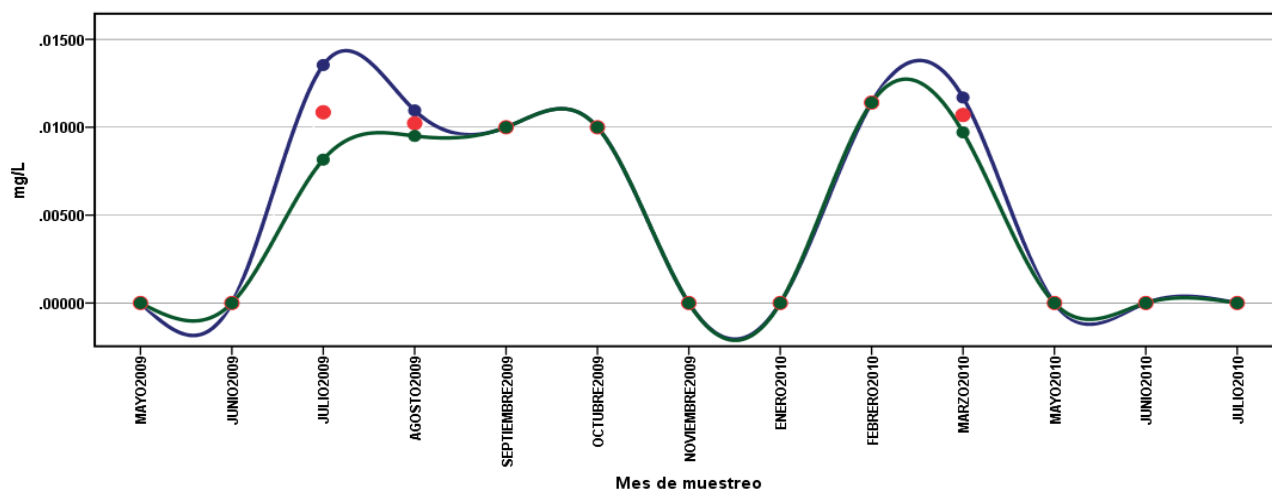


Figura 70. Plomo, variabilidad promedio estacional de 17 meses de muestreo.

El plomo es un metal muy empleado desde la antigüedad y en la actualidad se utiliza principalmente en la industria del petróleo con varios fines, entre ellos, como antidetonante en la gasolina. También es utilizado en la fabricación de baterías, en la industria de las pinturas y pigmentos y como estabilizante en la fabricación de algunos tipos de plástico. Hoy en día, la exposición al plomo está causada sobre todo por las actividades humanas.

El plomo que ingresa en el organismo por vía digestiva, respiratoria o a través de la piel, se asocia en una primera fase a los eritrocitos. A largo plazo, alrededor del 95% del metal presente en el organismo se acumula a nivel óseo sustituyendo al calcio, el resto se acumula principalmente en los riñones e hígado. El plomo ejerce un efecto tóxico doble sobre el sistema hematopoyético, reduciendo por una parte la vida media de los eritrocitos circulantes, y, por otra, inhibiendo la síntesis de hemoglobina con la consiguiente aparición de anemia. Este metal también ejerce un efecto tóxico sobre el sistema nervioso central, y se ha asociado con deficiencias en el desarrollo intelectual de niños expuestos a plomo incluso a concentraciones relativamente bajas.

En los riñones de hombres o animales expuestos al plomo se producen nefropatías que normalmente son de tipo crónico, aunque en los niños puede presentarse un síndrome de tipo agudo. La toxicidad del plomo también se refleja a nivel del sistema cardiovascular y reproductor (Mcintosh, 1991).

Los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001-89 no establecen valores límite de plomo para la Protección a la Vida Acuática en agua dulce. La Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 “Salud Ambiental, Agua Para Uso y Consumo Humano-Límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que Debe Someterse el Agua Para su Potabilización”, establece un valor límite para plomo de 0.01 mg/L.

Los resultados estimados en el seguimiento muestran un valor promedio de plomo en el agua del Rio Santiago de 0.0104 ± 0.0005 , lo que no permite su utilización para todos los usos descritos anteriormente.

7.1.34 Sodio

La figura 71 muestra los valores promedios para Sodio y su variabilidad (desviación estándar) espacial en los 17 meses de muestreo. Se observan una variabilidad constante a largo del Rio Santiago. Con un aumento significativo a partir del **(RS3 al RS8)**, muestra niveles de concentración los cuales presentan una tendencia espacial lineal.

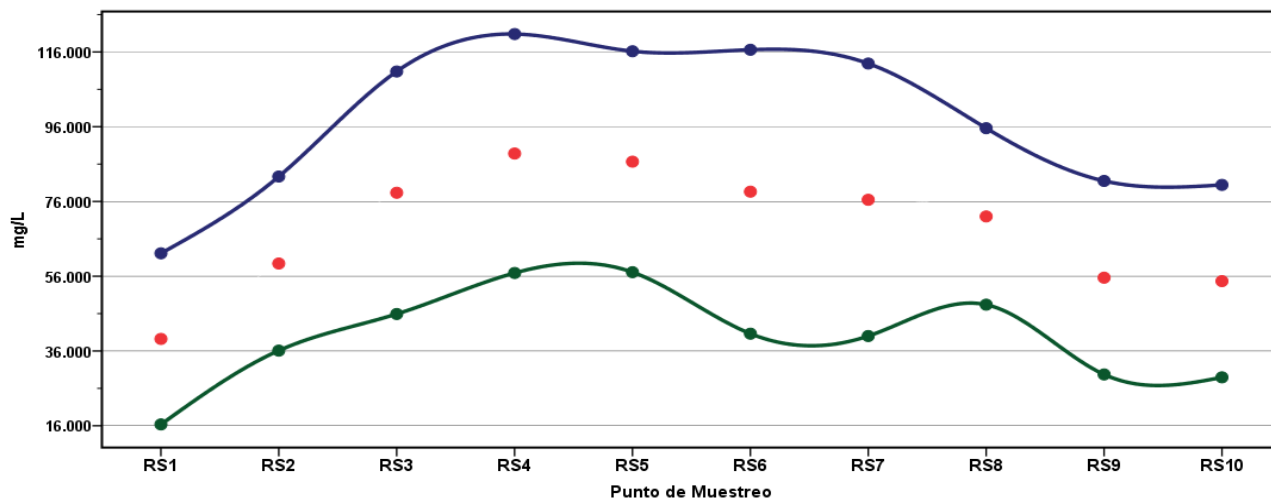


Figura 71. Sodio, variabilidad promedio espacial de 10 puntos de muestreo.

La figura 72 muestra la variabilidad promedio estacional de Sodio en los 17 meses de muestreo, se observa a lo largo del monitoreo una variabilidad constante a excepción de algunos meses en donde el Sodio tiende a aumentar su concentración. Se observa como en los meses de **(Mayo 2009, Enero 2010, Mayo 2010, Junio 2010)** hay un incremento en las concentraciones de Sodio, probablemente por el inicio de la temporada de lluvias.

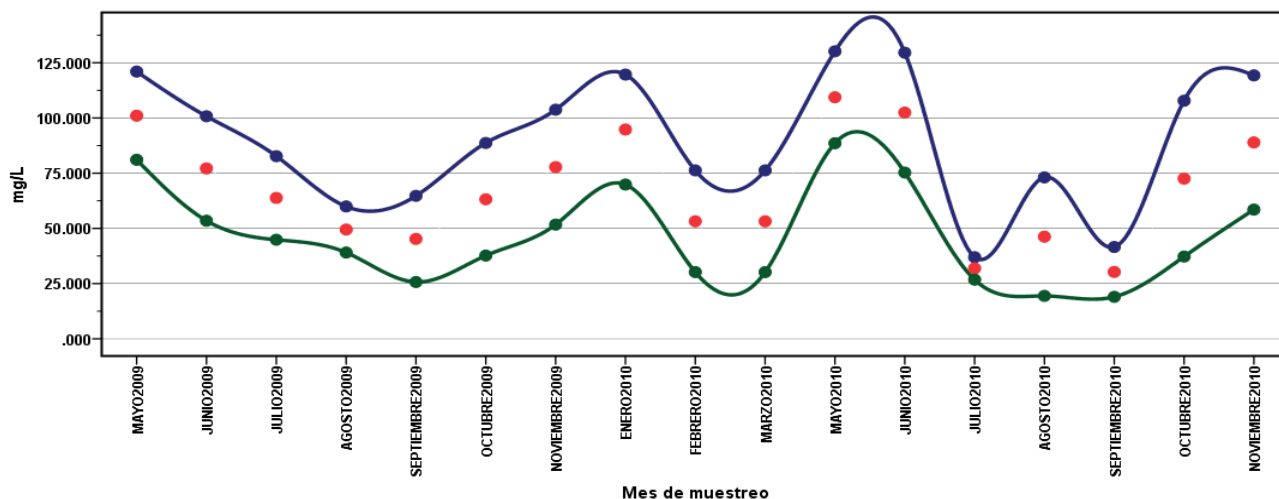


Figura 72. Sodio, variabilidad promedio estacional de 17 meses de muestreo.

Los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001-89 no establecen valores límite de sodio para la Protección a la Vida Acuática en agua dulce. La Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 “Salud Ambiental, Agua Para Uso y Consumo Humano-Límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que Debe Someterse el Agua Para su Potabilización”, establece un valor límite para sodio de 200 mg/L.

Los resultados estimados en el seguimiento muestran un valor promedio de sodio en el agua del Rio Santiago de 68.98 ± 28.97 , lo que permite su utilización para todos los usos descritos anteriormente.

7.1.35 Zinc

La figura 73 muestra los valores promedios para Zinc y su variabilidad (desviación estándar) espacial en los 17 meses de muestreo. Se observan una variabilidad similar en los puntos a lo largo del Rio Santiago. A excepción del **(RS7)**, el cual muestra altos niveles de concentración, debido a la presencia de zonas agrícolas pues el cinc forma parte importante de pesticidas y fungicidas los cuales pueden ser arrastrados hacia el Rio a través de las lluvias o del riego.

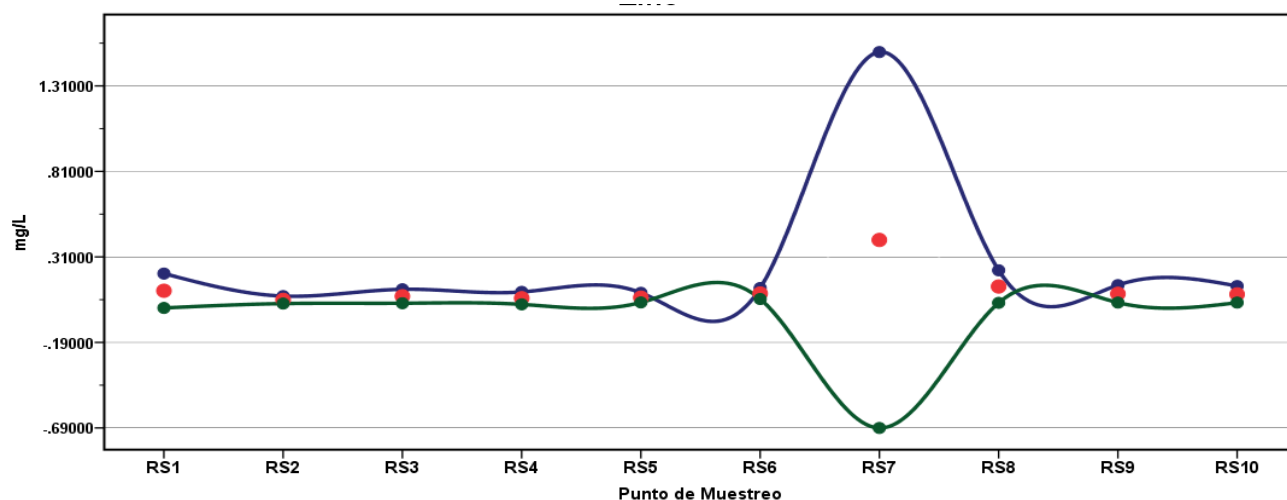


Figura 73. Zinc, variabilidad promedio espacial de 10 puntos de muestreo.

La figura 74 muestra la variabilidad promedio estacional de Zinc en los 17 meses de muestreo, se observa a lo largo del monitoreo una variabilidad constante. A excepción de los meses de **(Julio 2010 y Noviembre 2009)** en donde hay un incremento en las concentraciones de Zinc probablemente por el aumento de descargas hacia el rio en esos meses.

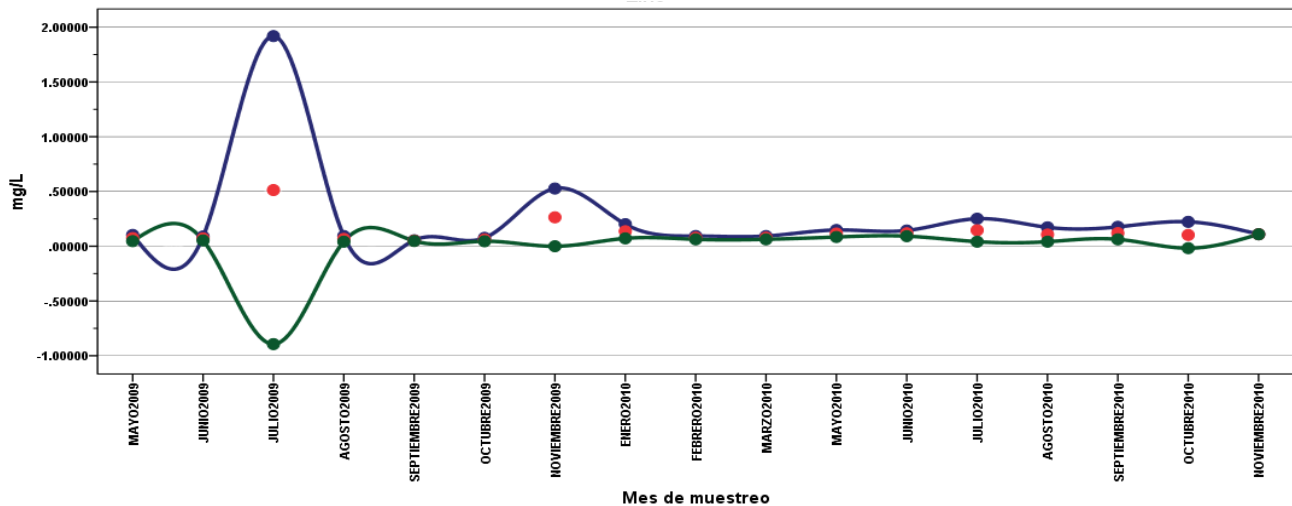


Figura 74. Zinc, variabilidad promedio estacional de 17 meses de muestreo.

Los minerales del Zinc más significativos son la esfalerita (ZnS) y smithsonita ($ZnCO_3$). Estos compuestos van a parar al agua cuándo se encuentran cercanos minerales de este tipo. Alrededor de 3/4 partes del suministro total de zinc se usa en forma metálica. El resto se aplica en la industria en forma de derivados del zinc.

Las aguas residuales industriales que contienen zinc, suelen proceder de procesos de la industria galvánica, producción de pilas, etc. Los compuestos del zinc se aplican con muchos propósitos distintos. El cloruro de zinc se aplica para la producción de pergamino, el óxido de zinc es un constituyente de pinturas y catalizadores mientras que el vitriolo blanco se utiliza como fertilizante, y la bacitracina zinc se usa como estimulante de crecimiento en ganadería.

La mayor parte del zinc presente en las aguas residuales no procede de fuentes puntuales, sino que procede principalmente de aguas superficiales ricas en zinc. Los compuestos del zinc están presentes en fungicidas e insecticidas, y por lo tanto tarde o temprano van a parar al agua. Cuando se toman medidas de seguridad inadecuadas, el zinc puede liberarse como consecuencia de derrames en vertederos de desechos.

Al zinc no se le atribuye nivel de clasificación de riesgo para el agua, puesto que no supone un gran peligro. No obstante esto sólo se refiere al zinc elemental, ya que algunos derivados del zinc, como arsenato de zinc y cianuro de zinc, pueden ser extremadamente peligrosos.

7.1.36 Coliformes Fecales

La figura 75 muestra los valores promedios para Coliformes Fecales y su variabilidad (desviación estándar) espacial en los 17 meses de muestreo. Se observan puntos muy significativos a lo largo del Rio Santiago (**RS1, RS4, RS5, RS6, RS7 y RS8**), muestra altos niveles de concentración, debido a la presencia de zonas urbanas, las cuales generan una cantidad importante de descargas de aguas residuales, las cuales generan altas concentraciones de microorganismos a lo largo del Rio.

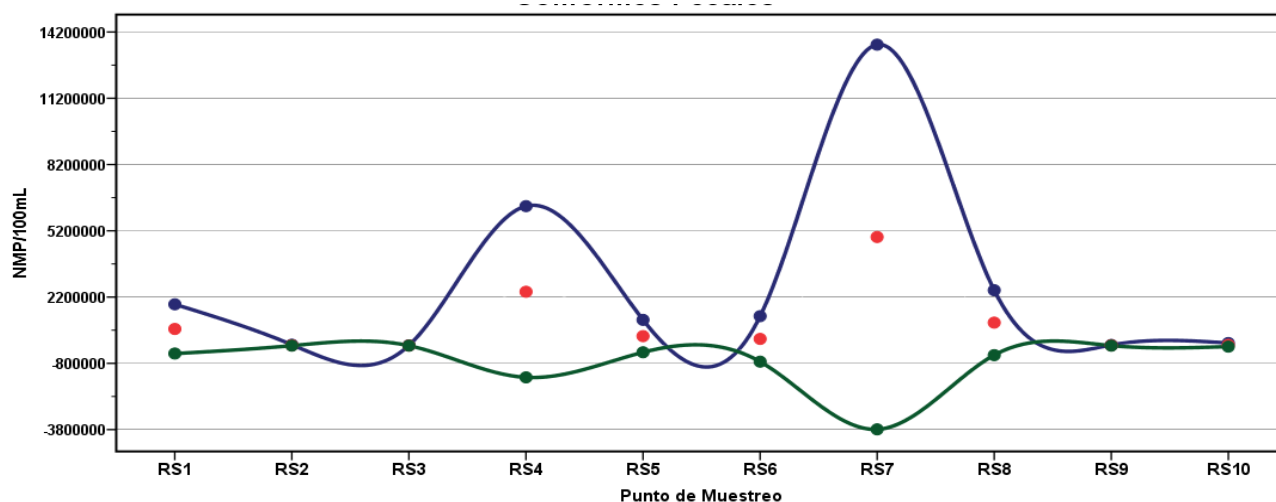


Figura 75. Coliformes Fecales, variabilidad promedio espacial de 10 puntos de muestreo.

La figura 76 muestra la variabilidad promedio estacional de Coliformes Fecales en los 17 meses de muestreo, se observa a lo largo del monitoreo un aumento muy considerable ocasionado probablemente por el nivel de descargas en el agua del Rio, el cual genera un aumento en los microorganismos a lo largo del rio. Se observa como en los meses de **(Septiembre 2009, Octubre 2009, Febrero 2010, Marzo 2010, Mayo 2010, Junio 2010, Octubre del 2010)** hay un incremento en las concentraciones de microorganismos por las altas descargas provenientes de los municipios y de las industrias anexas al Rio Santiago.

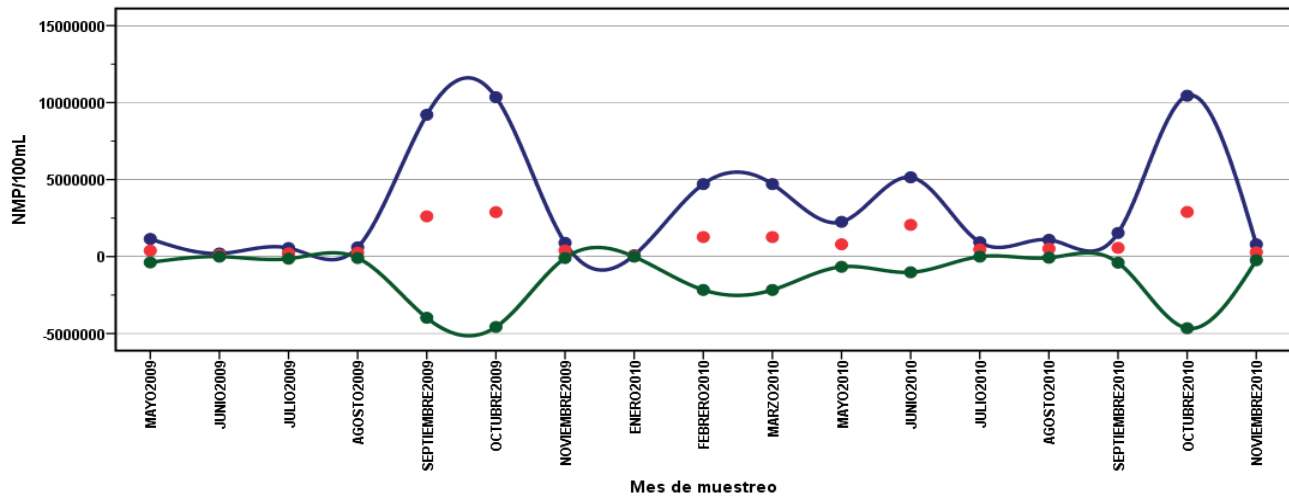


Figura 76. Coliformes Fecales, variabilidad promedio estacional de 17 meses de muestreo.

7.1.37 Coliformes Totales

La figura 77 muestra los valores promedios para Coliformes Totales y su variabilidad (desviación estándar) espacial en los 17 meses de muestreo. Se observan puntos muy significativos a lo largo del Rio Santiago como son el (RS1, RS4, RS5, RS6, RS7 y RS8), muestran altos niveles de concentración, debido a la presencia de zonas urbanas e industriales, las cuales generan una cantidad importante descargas de microorganismos. Los cuales se van arrastrando a lo largo del Rio.

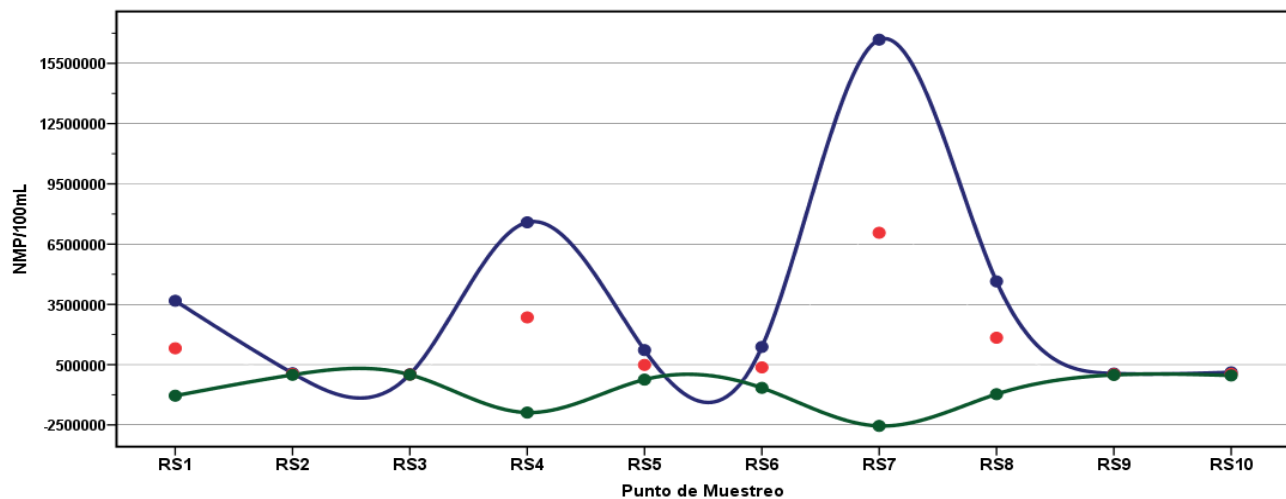


Figura 77. Coliformes Totales, variabilidad promedio espacial de 10 puntos de muestreo.

La figura 78 muestra la variabilidad promedio estacional de Coliformes Totales en los 17 meses de muestreo, se observa a lo largo del monitoreo un aumento muy considerable ocasionado probablemente las continuas descargas de aguas municipales e industriales, las cuales generan una aumento de los microorganismos a lo largo del Rio. Se observa como en los meses de **(Mayo 2009, Septiembre 2009, Octubre 2009, Noviembre 2009, Febrero 2010, Marzo 2010, Mayo 2010, Junio 2010, Agosto 2010, Septiembre 2010, Octubre 2010, Noviembre 2010)** hay un incremento en las concentraciones en los concentraciones de microorganismos, debido a la gran cantidad de descargas de aguas municipales e industriales a lo largo del Rio.

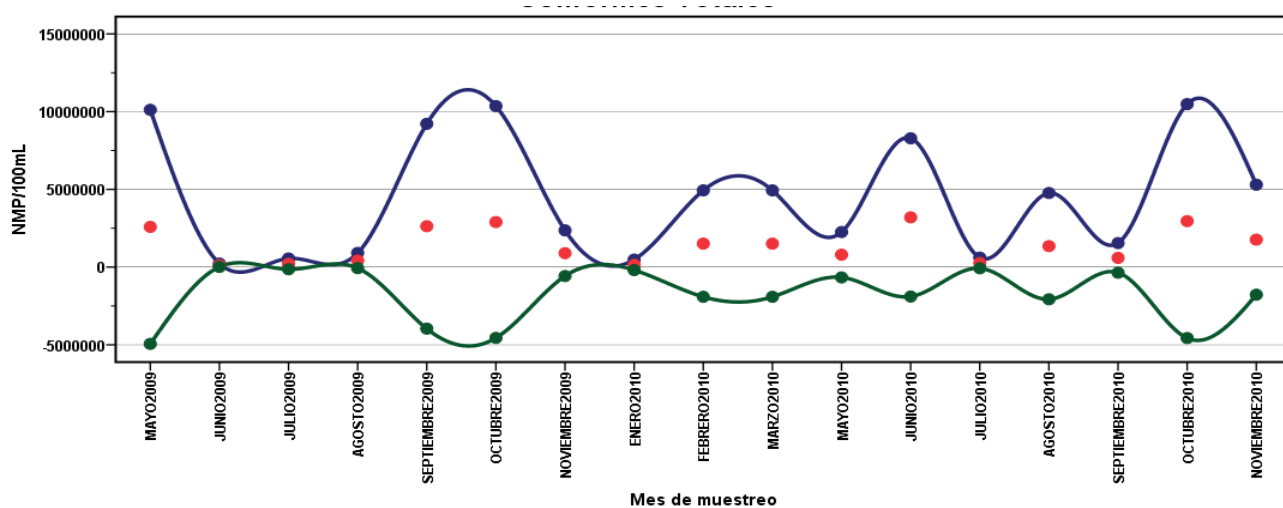


Figura 78. Coliformes Totales, variabilidad promedio estacional de 17 meses de muestreo.

Los microorganismos coliformes son un grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua y los alimentos.

Los agentes patógenos transmitidos por el agua constituyen un problema mundial que demanda un control urgente mediante la implementación de medidas de protección ambiental a fin de evitar el incremento de las enfermedades relacionadas con la calidad del agua. Los microorganismos coliformes son bacilos Gram negativos, no esporulados, aerobios o anaerobios facultativos, y fermentan la lactosa a 35 °C con la producción de ácido y gas.

Las bacterias de este género se encuentran principalmente en el intestino de los humanos y de los animales de sangre caliente, es decir, homeotermos, pero también ampliamente distribuidas en la naturaleza, especialmente en suelos, semillas y vegetales.

Los coliformes se introducen en gran número al medio ambiente por las heces de humanos y animales. Por tal motivo suele deducirse que la mayoría de los coliformes que se encuentran en el ambiente son de origen fecal. Sin embargo, existen muchos coliformes de vida libre

Tradicionalmente se los ha considerado como indicadores de contaminación fecal en el control de calidad del agua destinada al consumo humano en razón de que, en los medios acuáticos, los coliformes son más resistentes que las bacterias patógenas intestinales y porque su origen es principalmente fecal. Por tanto, su ausencia indica que el agua es bacteriológicamente segura.

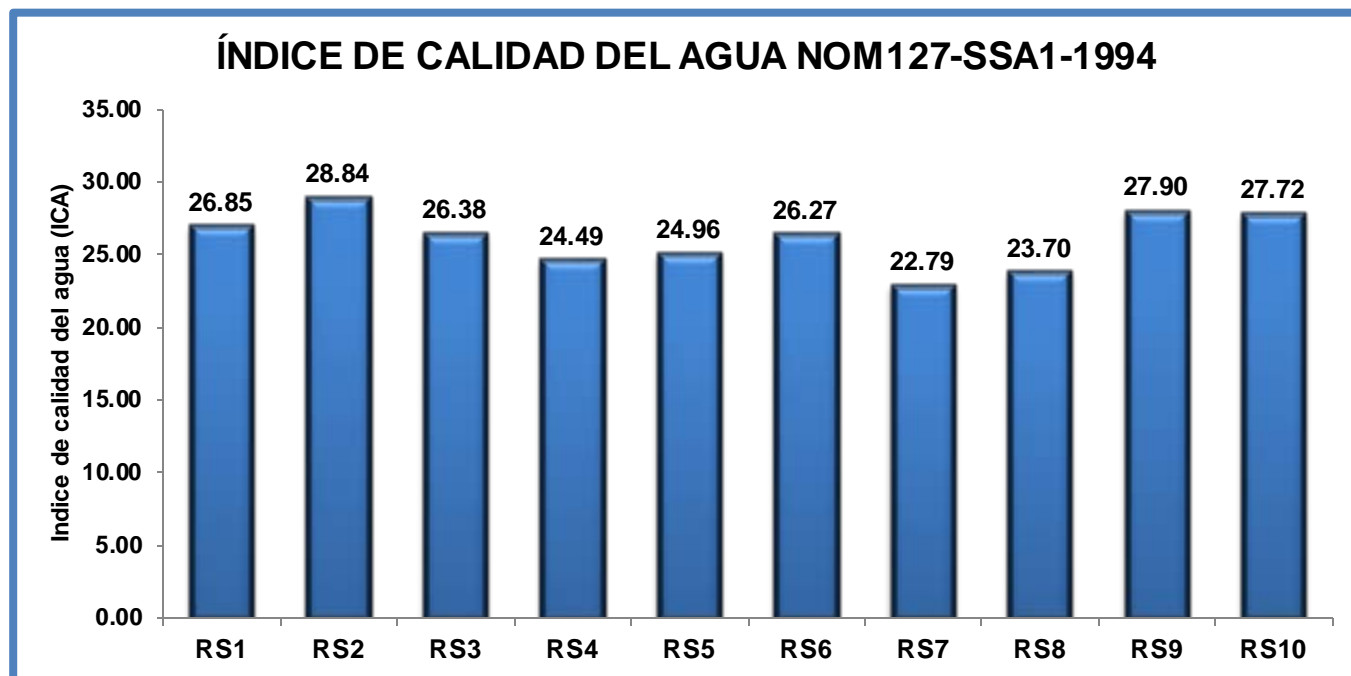
Asimismo, su número en el agua es proporcional al grado de contaminación fecal; mientras más coliformes se aíslan del agua, mayor es la gravedad de la descarga de heces. No todos los coliformes son de origen fecal, por lo que se hizo necesario desarrollar pruebas para diferenciarlos a efectos de emplearlos como indicadores de contaminación. Se distinguen, por lo tanto, los coliformes totales que comprende la totalidad del grupo y los coliformes fecales aquellos de origen intestinal. Desde el punto de vista de la salud pública esta diferenciación es importante puesto que permite asegurar con alto grado de certeza que la contaminación que presenta el agua es de origen fecal.

Los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001-89 establecen valores límite de Coliformes Fecales de 1000.000 NMP/100 y de Coliformes Totales de 0.000 NMP/100 para la Protección a la Vida Acuática en agua dulce. La Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 "Salud Ambiental, Agua Para Uso y Consumo Humano-Límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que Debe Someterse el Agua Para su Potabilización", establece un valor límite para Coliformes Fecales y Totales de 0.000 UMP/100.

Los resultados estimados en el seguimiento muestran un valor promedio de Coliformes Fecales en el agua del Rio Santiago de $998060.706 \pm 1705612.879$, y para Coliformes Totales de $1403040.441 \pm 2143984.146$ lo que no permite su utilización para ninguno los usos descritos anteriormente.

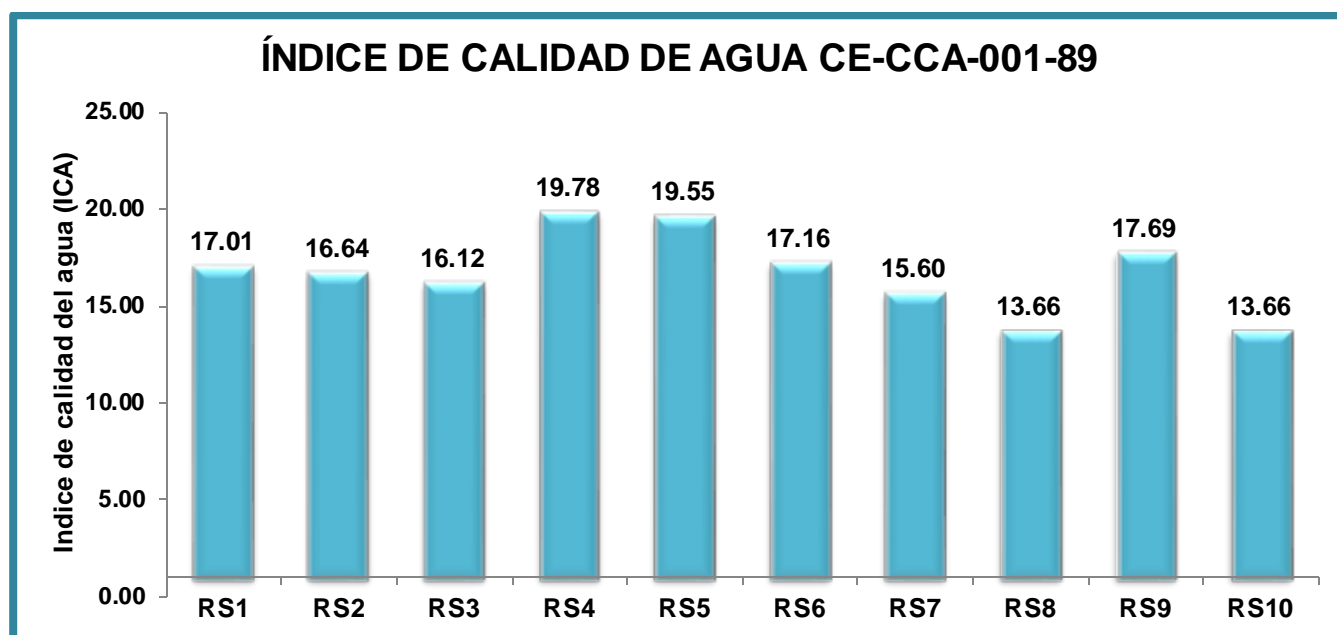
7. 2 Resultados de Índice de Calidad de Agua

La primera metodología utilizada para analizar el Índice de Calidad del Agua es la propuesta por Martínez de Basarán (1979) explicada con más detalle en el Anexo 1 del presente trabajo, la cual se complementa con la estandarización de parámetros de acuerdo con la NOM-127 SSA1-1994. Se muestran los resultados obtenidos en los puntos de muestreo RS1 al RS10. En donde de acuerdo a la Escala de los ICAS en función del uso del agua se muestra que para uso como Agua potable es inaceptable para consumo humano pues se encuentra contaminada en exceso en cada uno de los puntos de muestreo. Para uso Agrícola la contaminación en cada uno de los puntos de muestreo es contaminada fuerte y en caso de utilizarla como agua de riego su uso es muy restringido, a cultivos muy resistentes como los forrajes. Para Pesca y Vida acuática se encuentra contaminada en exceso y en algunos puntos se encuentra contaminada fuerte, con lo cual es inaceptable para cualquier organismo acuático. Para la Industria se encuentra contaminada fuerte y en algún caso contaminada, con lo cual su uso es muy restringido. Y finalmente para uso recreativo se encuentra contaminada fuertemente y no se recomienda su uso sin previo tratamiento.



Grafica 2: Índice de Calidad del Agua de acuerdo a la NOM-127 SSA1-1994

La segunda metodología utilizada es la propuesta por Martínez de Basarán (1979), pero utilizando los parámetros referidos en Los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua, con uso 3 Protección a la Vida Acuática CE-CCA-001-89. Se muestran los resultados obtenidos en los puntos de muestreo RS1 al RS10 y se clasifican de acuerdo a la Escala de los ICAS en función de su uso, dando como resultado que para uso de agua potable presenta una contaminación en exceso y es inaceptable su uso para su consumo. Para uso agrícola presenta una contaminación en exceso y en algunos puntos una contaminación fuerte, dando como resultado un agua inaceptable para riego o solo para cultivos muy resistentes como los forrajes. Para uso Pesca y Vida acuática presentan una contaminación en exceso y es inaceptable para la vida acuática. Para uso industrial se tiene un agua contaminada en exceso y en algunos casos fuertemente contaminados. Para uso Recreativo se tiene un agua con contaminación excesiva y en la cual no se recomienda la realización de actividades recreativas de ningún tipo.

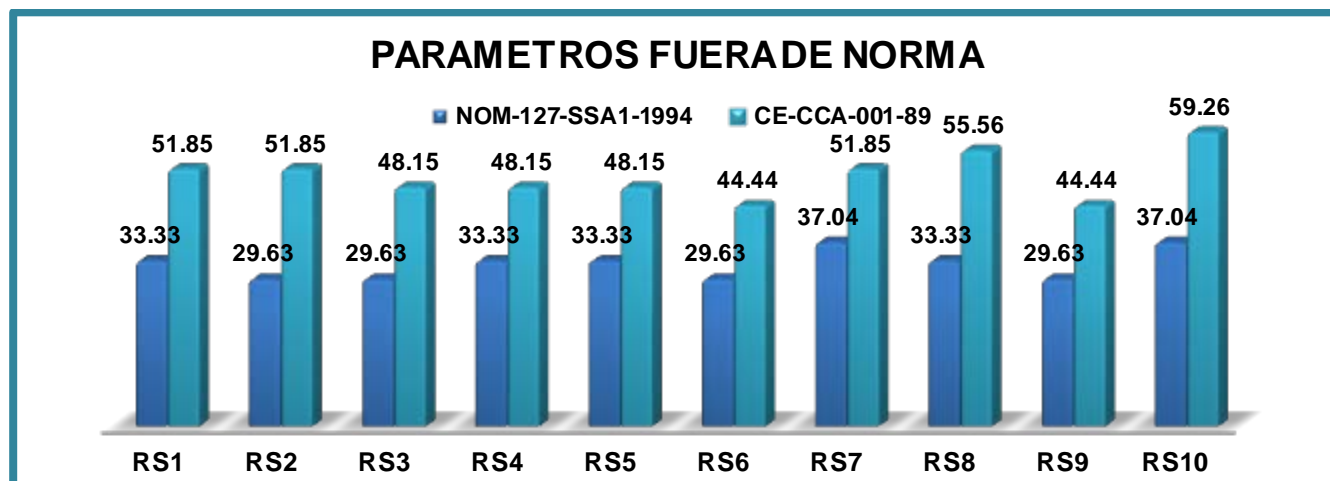


Grafica 3 Índice de Calidad del Agua de Acuerdo a los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001-89

7.2.1 Parámetros fuera de Norma

De acuerdo a los parámetros analizados en cada una de las metodologías antes mencionadas se encontraron los siguientes porcentajes de parámetros fuera de norma.

Tabla 36. Tabla comparativa de Parámetros fuera de Norma



NOM-127-SSA1-1994	Parámetros Fuera de Norma		Límites permisibles
	Límites permisibles	CE-CCA-001-89	
<ul style="list-style-type: none"> Aluminio Cadmio Coliformes Fecales Coliformes Totales Fierro Manganeso Nitrógeno Amoniacal Oxígeno Disuelto Plomo SAAM Sulfuros Turbiedad Zinc 	<ul style="list-style-type: none"> 0.20 mg/L 0.005 mg/L Cero NMP/100 ml 2 NMP/100 ml 0.30 mg/L 0.15 mg/L 0.50 mg/L 0.01 mg/L 0.50 mg/L 0.02 mg/L 5.0 UTN 5.00 mg/L 	<ul style="list-style-type: none"> Aluminio Bario Cadmio Coliformes Fecales Cromo Total Fierro Fosforo Total Mercurio Níquel Nitrógeno Amoniacal Oxígeno disuelto Plomo SAAM Solidos Suspendidos Sulfatos Sulfuros Zinc 	<ul style="list-style-type: none"> 0.05 mg/L 0.01 mg/L 0.004 mg/L 1 000 NMP/100 ml 0.05 mg/L 1.0 mg/L 0.001 mg/L 0.00001 mg/L 0.6 mg/L 0.06 mg/L 5.0 mg/L 0.03 mg/L 0.10 mg/L 1000.00 mg/L 0.005 mg/L 0.002 mg/L 0.02 mg/L

7.2.2 Limitantes de Uso en el Agua estudiada

De acuerdo a los criterios de clasificación de la calidad del agua, las limitantes de uso para los intervalos de las categorías del ICA son: 0-39%, Altamente contaminado; 40-59%, Contaminado; 60-90% Levemente contaminado; 91-100% Aceptable. La Comisión Nacional del Agua genero un cuadro con las siguientes recomendaciones en su utilización según la calidad.

ICA	Uso Público	Recreo	Pesca y vida acuática	Industria Agrícola	Navegación	Transporte desechos tratados
100	Aceptable No requiere de purificación	Aceptable	Aceptable	Aceptable No requiere de purificación		
90	Requiere una ligera purificación	Aceptable para todo tipo de deporte acuático	Aceptable para todo tipo de organismos	Requiere una ligera purificación		
80						
70	Mayor necesidad de tratamiento	Aceptable pero no recomendable	Excepto especies muy sensibles	Sin tratamiento para la industria normal	Aceptable para todo tipo de navegación	Aceptable para todo tipo de transporte de desechos tratados
60			Dudoso para especies sensibles			
50	Dudoso	Dudoso para contacto directo	Solo para organismos muy resistentes	Con tratamiento para la mayor parte de la industria		
40	Inaceptable	Sin contacto con el agua				
30		Muestras obvias de contaminación	Inaceptable	Uso muy restringido	Contaminado	
20		Inaceptable		Inaceptable	Inaceptable	
10						Inaceptable
0						

Figura 79. Criterios de clasificación de la calidad del agua

Fuente: Semarnat, Comisión Nacional del agua, Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua, 2002.

Según el cuadro anterior las limitantes de uso del agua se describen en la tabla 77 para parámetros utilizados de acuerdo a la NOM-127-SSA1-1994 y en la Tabla 78 para parámetros utilizados de acuerdo a los Criterios Ecológicos de la Calidad del Agua con uso 3, protección a la vida acuática (CE-CCA-001-89).

Tabla 37. Limitantes de uso en la calidad del agua

Limitantes de Uso de Agua NOM-127-SSA1-1994						
PUNTO DE MUESTREO	ICA	AGUA POTABLE	USO AGRÍCOLA	PESCA Y VIDA ACUÁTICA	USO INDUSTRIAL	USO RECREATIVO
RS1	26.85	Inaceptable	Uso muy restringido	Inaceptable	Contaminada	Muestras obvias de Contaminación
RS2	28.89	Inaceptable	Uso muy restringido	Inaceptable	Contaminada	Muestras obvias de Contaminación
RS3	26.38	Inaceptable	Uso muy restringido	Inaceptable	Contaminada	Muestras obvias de Contaminación
RS4	24.49	Inaceptable	Uso muy restringido	Inaceptable	Contaminada	Muestras obvias de Contaminación
RS5	24.96	Inaceptable	Uso muy restringido	Inaceptable	Contaminada	Muestras obvias de Contaminación
RS6	26.27	Inaceptable	Uso muy restringido	Inaceptable	Contaminada	Muestras obvias de Contaminación
RS7	22.79	Inaceptable	Uso muy restringido	Inaceptable	Contaminada	Muestras obvias de Contaminación
RS8	23.70	Inaceptable	Uso muy restringido	Inaceptable	Contaminada	Muestras obvias de Contaminación
RS9	27.90	Inaceptable	Uso muy restringido	Inaceptable	Contaminada	Muestras obvias de Contaminación
RS10	27.72	Inaceptable	Uso muy restringido	Inaceptable	Contaminada	Muestras obvias de Contaminación

Tabla 38. Limitantes de uso en la calidad del agua

Limitantes de Uso de Agua CE-CCA-001-89						
PUNTO DE MUESTREO	ICA	AGUA POTABLE	USO AGRÍCOLA	PESCA Y VIDA ACUÁTICA	USO INDUSTRIAL	USO RECREATIVO
RS1	17.01	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable	Contaminada	Inaceptable
RS2	16.64	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable	Contaminada	Inaceptable
RS3	16.12	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable	Contaminada	Inaceptable
RS4	19.78	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable	Contaminada	Inaceptable
RS5	19.55	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable	Contaminada	Inaceptable
RS6	17.16	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable	Contaminada	Inaceptable
RS7	15.60	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable	Contaminada	Inaceptable
RS8	13.66	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable	Contaminada	Inaceptable
RS9	17.69	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable	Contaminada	Inaceptable
RS10	13.66	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable	Contaminada	Inaceptable

DISCUSIÓN

Diagnóstico de la calidad del agua por parámetro

El agua hace posible un medio ambiente saludable pero, paradójicamente, también puede ser el principal vehículo de transmisión de enfermedades. Las enfermedades transmitidas por el agua son enfermedades producidas por el "agua sucia" —las causadas por el agua que se ha contaminado con desechos humanos, animales o químicos. Mundialmente, la falta de servicios de evacuación sanitaria de desechos y de agua limpia para beber, cocinar y lavar es la causa de más de 12 millones de defunciones por año.

En la determinación de la disponibilidad del agua en un país, no solamente es necesario saber qué cantidad de agua está al alcance en las diferentes fases del ciclo hidrológico, además, deben conocerse las características fisicoquímicas y bacteriológicas para estar en condiciones de darle uso en diferentes actividades productivas y como agua potable en el abastecimiento a poblaciones.

Dentro del presente estudio se observa que la contaminación es evidente y existe a lo largo de todo el río, puesto que se tiene amplio conocimiento que el río sirve como receptor de descargas de aguas residuales, industriales y agropecuarias, ocasionado con ello graves deterioros hacia la calidad de agua. En cuanto a contaminación fisicoquímica, se tienen infinidad de estudios previos, demostrando con ello la contaminación existente en el río desde hace ya varias décadas y con ello la falta de atención de las autoridades hacia este grave problema. Dentro de los estudios realizados sobre el grado de contaminación del agua del Río Santiago tenemos el realizado por la División de Patología y Biotecnología Ambiental (**DIPABIA**) del Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (**CIATEJ**) en el año 2000, el cual indica que las condiciones actuales del río son realmente alarmantes.

La contaminación que presenta se traduce en: Alto nivel en sustancias activas al azul de metileno (SAAM) que representan los surfactantes aniónicos.

Además de niveles de concentración inaceptables de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de Oxígeno (DQO) debido a la gran cantidad de descargas residuales. Presencia de niveles altos de sólidos disueltos, grasas y aceites en algunos puntos. Presencia de metales pesados como Plomo, Zinc y Mercurio. Además de un número elevado de Coliformes Fecales, que son agentes patógenos muy peligrosos para la salud humana. Concentraciones altas de amoníaco y fosfatos que provocan hiperfertilización del medio.

Además todo el río presenta concentraciones elevadas de sólidos disueltos y coliformes fecales las cuales limitan su uso como agua de riego. Tomando este estudio como referencia podemos observar con el presente trabajo que las condiciones del Río Santiago han ido en deceso pues de acuerdo a los resultados obtenidos se tiene que para cloruros totales, al comparar los valores promedio de cloruros evaluados en el periodo de muestreo, se observa que el agua se encuentra dentro de la clasificación de (aguas muy productivas) con evolución hacia aguas contaminadas, esto principalmente por la disminución de los aportes estacionales de agua y el aumento de concentración por evaporación y/o re suspensión. La Demanda Química de Oxígeno (DQO) se utiliza como una medida del equivalente de oxígeno del contenido de materia orgánica de una muestra susceptible de oxidación por un oxidante químico. La CONAGUA maneja una escala de clasificación del agua de acuerdo a los niveles de DQO, tomando esta escala en cuenta se tiene que el Río Santiago presenta una clasificación de agua contaminada, (aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen residual, confirmando con esto las descargas municipales hacia el río. En cuanto a la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅), es un parámetro que mide la cantidad de materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, disuelta o en suspensión. Al igual que en la (DQO), la CONAGUA maneja una escala de clasificación del agua de acuerdo a los niveles de DBO₅, tomando en cuenta esta escala tenemos que para el Río Santiago una clasificación de agua aceptable con inicios de contaminación a excepción del punto RS7 el cual se encuentra en una clasificación de contaminada.

Dentro del estudio es evidente la presencia de Grasas y Aceites a lo largo de todo el río. Las principales fuentes aportadoras de grasas y aceites son los usos domésticos, talleres automotrices y de motores de lanchas y barcos, industria del petróleo, rastros, procesadoras de carnes y embutidos e industria cosmética.

Tomando como referencia con respecto a la media aritmética representativa en todo el muestreo se tiene que sobre pasa el valor promedio. Las altas concentración de Nitrógeno Amoniacal, se hacen presentes a lo largo de todo el río, el cual se ve influido por la actividad biológica e indica la presencia de condiciones anaerobias.

El Oxígeno Disuelto (OD) en aguas naturales depende de la actividad física, química y bioquímica del sistema de aguas, a lo largo del río tenemos concentraciones que no rebasan los límites permisible a excepción de punto de muestreo RS6 y RS10 probablemente por las descargas industriales y municipales presentes en dicho puntos.

La contaminación por sustancias activas al azul de metileno es evidente a lo largo de todo el Río Santiago, haciendo más evidente en el RS4 (El salto), tienen la capacidad de disminuir el recambio de gases agua-aire, impactando a cadenas tróficas primarias disminuyendo la movilidad, nivel fótico, aumento de sólidos en suspensión, etc. Los sólidos suspendidos totales (SST) son producto de la presencia de iones metálicos naturales (hierro y manganeso), de humus y turbas, de plancton, de restos vegetales y de residuos industriales. Para sólidos suspendidos totales los valores promedio en el seguimiento muestran un valor de 53.69 ± 48.11 mg/L, por lo que su utilización para fuente de abastecimiento no es permisible. La temperatura osciló entre 20.73 °C la mínima y 26.34 °C la máxima, durante los puntos de muestreo del estudio. Se aprecia una tendencia de estabilidad total en el valor de temperatura en el agua del Río Santiago, respondiendo al ciclo térmico estacional. Al respecto, la mayoría de las personas encuentran que el agua a una temperatura entre 10 y 15°C (fría) es más placentera para su consumo, mientras que arriba de 30°C no es aceptable (Echarri, 1998; Martínez Rodríguez, 2002). Así pues, el agua caliente se considera un contaminante. La temperatura del agua determina la clase de organismos que pueden vivir y reproducirse en ella, ya que la temperatura gobierna la cantidad de oxígeno disuelto disponible (Martínez Rodríguez, 2002).

Los microorganismos coliformes son un grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua y los alimentos. Los resultados estimados en el seguimiento muestran un valor promedio de Coliformes Fecales en el agua del Río Santiago de $998060.706 \pm 1705612.879$, y para Coliformes Totales de $1403040.441 \pm 2143984.146$ lo que no permite su utilización para ninguno de los usos y además constituye un foco de exposición y riesgo químico y bacteriológico a personas y animales (Laboratorio del Grupo Microanálisis S. A de C. V, 2004).

El estudio de la problemática ambiental que presenta el río Santiago, al igual que la mayor parte de los cuerpos de agua, se hace necesario, ya que recibe aportes de aguas residuales, la mayoría, sin tratamiento.

Los metales ocupan un lugar importante dentro de los contaminantes químicos que, con carácter prioritario, se determinan en las muestras ambientales debido a sus características y a su tendencia de acumulación en diferentes organismos (Rojas Mayorquin, 2011). Dentro del presente estudio encontramos altas concentraciones de metales pesados a lo largo de todo el Río Santiago, los metales que se encontraron en situación crítica son los siguientes: Aluminio, Bario, Cobre, Cromo Total, Hierro, Manganeso, Mercurio, Plomo, Zinc.

Los metales analizados presentan diferencias significativas entre cada uno de los puntos muestreados. En **figuras de la 49 a la 74**, se muestran los elementos metálicos y los puntos en los cuales supera el límite de detección. Diversos autores mencionan que los niveles de solubilidad de los metales cambian de acuerdo a las condiciones climáticas e hidrológicas que presente el río, por ejemplo, en la temporada de lluvias la solubilidad aumenta contrario en la estación seca debido a la desorción. Las variaciones de pH, los cambios redox, la precipitación de compuestos insolubles y la formación de complejos, dan lugar a cambios de las especies metálicas, y de esta forma se afecta la movilidad de los metales (González A., et al., 2004) de ahí las variaciones en los sitios.

También deben considerarse factores que influyen, las actividades económicas y turísticas, ya antes mencionadas, que se realizan en los municipios, pues son parte importante de la presencia de estos metales en el río y no se deben dejar pasar por alto.

El origen de los metales del río proviene de dos fuentes: 1) forman parte de los macronutrientes del suelo del río o fueron traídos a través de la escorrentía del mismo, y 2) provienen de descargas urbanas e industriales, hechas a lo largo del afluente. La presencia de metales en el agua (Aluminio, Mercurio y Plomo) provienen de aguas residuales y, según Harte, et al. (1991), están relacionados con la acidez de las aguas superficiales. La presencia de estos comprueba el grave deterioro que presenta el río, el cual es alarmante y preocupante no solo para la vida acuática sino también para las vidas humanas, sobre todo para las comunidades que se encuentran en exposición directa a estos contaminantes. En un estudio realizado por Paulina Martínez y Eduardo Hernández en 2009, habla sobre los efectos a la salud humana en los habitantes del Salto, Jalisco; lo que se puede resaltar de este estudio es el incremento en la incidencia de varios padecimientos, incluyendo leucemia, abortos espontáneos y malformaciones congénitas, entre otras afectaciones a la salud humana.

Mas sin embargo establecer científicamente una relación de causa-efecto entre las enfermedades y la contaminación del río, especialmente para enfermedades multifactoriales como el cáncer, requiere de estudios epidemiológicos costosos y de larga duración. Además, para este tipo de sistemas complejos donde intervienen diversos tóxicos y la población expuesta es heterogénea, como precisan Kriebel et. al.: “los efectos cumulativos e interactivos de múltiples daños a un organismo o ecosistema son muy difíciles de estudiar”.

Análisis del Índice de Calidad del Agua

Se calculó el índice de calidad del agua como método estandarizado para poder evaluar la condición del agua de manera integral entre localidades del Río Santiago en el estado de Jalisco, y además, para determinar de una manera más precisa las condiciones en las que se encuentra la calidad de agua del río se realizó una comparación de calidad de resultados

obtenidos en investigaciones previas del río Santiago, dándonos con esto una línea de tendencia que lleva el río en cuanto calidad del agua.

Tabla 39. Clasificación de la calidad del agua encontrada en el estudio en forma de ICA

PUNTO DE MUESTREO	RS1	RS2	RS3	RS4	RS5	RS6	RS7	RS8	RS9	RS10
ICA	26.85	28.89	26.38	24.49	24.96	26.27	22.79	23.70	27.90	27.72



Tabla 40. Comparación de la calidad encontrada en varios estudios en el Río Santiago

Muestreo	Presa Santa Rosa	Río Santiago antes de unión con el Arroyo Tequila	Río Santiago cerca a la confluencia Río Bolaños	Presa la Yesca	Presa Aguamilpa	Presa el Cajón
Muestreo 1	20.1	19	57.44	54.28	57.32	52.16
Muestreo 2	22.18	68.09	68.69	67.62	64.69	48.33
Muestreo 3	17.91	44.65	49.32	49.28	62.03	45.91
Muestreo 4	18.21	52.73	51.48	51.66	62.67	

Fuente: Manifestación de Impacto Ambiental P.H. La Yesca realizado en 2005, y, Monitoreo de calidad de agua durante el llenado del embalse de El Cajón en 2008.

En otro estudio realizado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) para la Comisión Estatal del Agua (CEA) en marzo de 2011, concluye que al utilizar el índice de calidad del agua Canadiense CCME WQI, en el que se evaluaron nueve parámetros fisicoquímicos y ocho metales y metaloides representativos del estudio, y con respecto a la Ley Federal de Derechos (LFD) y conforme a la Protección de la Vida Acuática (PVA), se obtuvieron las siguientes conclusiones; La calidad del agua en el río Santiago fue de mala calidad durante los tres monitoreos con índices que van 27.9 a 65 unidades y promedio global de 40, que lo clasifican de muy contaminado a contaminado.

De acuerdo con los resultados que se muestran en la tabla 79, indican que la calidad del agua para uso y consumo del río Santiago fue de Calidad Inaceptable (ICA de 20 a 30). El 100% de los sitios muestreados dentro de la cuenca hidrológica de Santiago se encuentran contaminados (ICA de 20 a 30).

Los valores del estudio indican que la calidad a lo largo del flujo del río Santiago, desde Ocotlán hasta Paso de Guadalupe se mantienen en altos niveles de contaminación. Cabe destacar los puntos con la calidad más baja dentro del todo el estudio son: Compuerta puente Salto- Juanacatlán con un **ICA de 24.49**, Puente Grande con un **ICA de 24.96**, Paso de Guadalupe con **ICA de 22.79** y San Cristóbal de la Barranca con un **ICA de 23.70**

Demostrando con esto la falta de regulación tanto en las descargas industriales, como en las descargas municipales, además la falta de monitoreos constantes por parte de las autoridades tanto municipales como federales. Es conveniente regularizar el sistema de depuración de aguas residuales y al mismo tiempo que se tomen medidas más estrictas para empresas que no cumplan con los límites establecidos y que los municipios cumplan con el tratamiento correspondiente a sus aguas residuales. De igual importancia tenemos los impactos a la salud humana por las altas concentraciones de metales pesados, de elementos químicos y de microorganismos los cuales no solo afectan a la salud humana, sino también a la salud ambiental.

Con el presente trabajo más que demostrar el grado de contaminación presente en el Río Santiago, se pretende dejar una base sólida de información para estudios futuros, al mismo tiempo se demuestra la importancia de los monitoreos y se comprueba la presencia de sustancias nocivas para la salud humana y animal.

Además se resalta la importancia de un saneamiento completo y urgente, la falta de atención por partes de las autoridades y las consecuencias hacia la salud pública de no atenderse este grave problema. Los beneficios que se tienen de trabajos como este, son realmente importantes, pues nos ayudan a hacer una evaluación clara y precisa de las condiciones en las que se encuentran los cuerpos de agua en estudio, dejando con ello una base sólida de información y un punto de partida para futuros estudios.

CONCLUSIONES

Estudios como el desarrollo en la presente tesis permiten la participación interdisciplinaria en la que áreas profesionales como la química, la ingeniería ambiental, la biología, las matemáticas y la medicina, entre otras pueden contribuir en el campo de la salud ambiental y proporcionar elementos de análisis para el diagnóstico y propuestas de atención al recurso.

El valor metodológico de este proyecto se refiere a la caracterización de los parámetros que califican la composición del agua y el uso de la misma. La posible generación de proyectos derivados de la base estadística generada con este estudio, así mismo permitirá la futura integración de estudios para el uso del recurso, pues se encuentra en condiciones muy severas de contaminación, así como establecer un punto de partida en la determinación de los metales pesados u otros indicadores de contaminación. De los resultados obtenidos se puede concluir lo siguiente:

1. Al identificar la contaminación Fisicoquímica y Bacteriológica del Rio Santiago, se determinó que los niveles más críticos corresponden a contenido de materia orgánica, tipo microbiológica teniendo valores hasta de 4,920,059 para contaminación por coliformes fecales, demostrando la gran cantidad de descargas municipales que recibe el Rio Santiago.
2. La contaminación fisicoquímica encontrada a lo largo del Rio Santiago, corresponde en mayor cantidad a Sustancias Activas al Azul de Metileno, observándose valores muy por encima de las normas aquí presentadas, en seguida se tiene la contaminación que se genera por descargas industriales, así como la que se genera por las industrias agropecuarias, (Nitrógeno Amoniacal, Fosforo, SST, Sulfatos, Sulfuros, Turbiedad, Oxígeno Disuelto). Perjudicando gravemente el crecimiento de la vida acuática y vegetal, limitando con ello el uso del agua para riego agrícola o para uso pecuario.

3. Se determinó que el agua del río Santiago, está **contaminada en exceso** y es **inaceptable** para uso y consumo humano y para uso agropecuario solo es aceptable para cultivos muy resistentes como los forrajes. Los valores ICA corresponden a un valor promedio de 25.98 para el ICA realizado con la NOM-127-SSA1-1994, y seguido por un valor promedio de 16.68 para el ICA realizado con los CE-CCA-001/89 indicando un descenso en la calidad y un grave deterioro ambiental.
4. Se determinó la presencia de metales pesados a lo largo de todo el río, teniendo valores que evidencian diferentes grados de toxicidad. Al mismo tiempo se puede relacionar la presencia de metales con la aparición de enfermedades mortales en las poblaciones que se encuentran más cercanas a este, teniendo con ello graves perjuicios no solo a la salud ambiental sino también a la salud humana. Tomando en cuenta que la presencia de estos metales es de origen antropogénico, se sugiere que exista una regulación en las descargas hacia el río.
5. Es evidente la ausencia de tratamiento en las descargas, aunque se tiene un amplio conocimiento de las industrias que las generan, no se aplica en absoluto la normatividad para las industrias y los municipios que no cumplen con los requerimientos de tratamiento de sus aguas. Al mismo tiempo la falta de un monitoreo eficiente hace más difícil conocer el grado de contaminación.

El río requiere de un saneamiento completo (limpieza en los bordes del río, plantas de tratamiento que cumplan con las eficiencias requeridas de remoción de contaminantes, la eliminación de sales, metales pesados, orgánicos sintéticos y otros contaminantes cuya posibilidad de remoción radica en el empleo de procesos como adsorción en carbón activado granular, ozono y principalmente ósmosis inversa, reutilización del agua) que se elimine el crecimiento de lirio acuático así como la presencia de detergentes, para que con el tiempo se restablezca el valor ecológico del río.

BIBLIOGRAFÍA

- Adriano, D.C (1986). Trace Elements in the Terrestrial Environment. Springer Verlag. New York, pp 533.
- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (2000). Documento EPA 815-F-00-007.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry, citado por el Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos [DHHS], 1998.
- Agua de Lagos y Ríos. Universidad de Santiago de Chile. Facultad de Química y Biología, Depto. de Química, stgo. 6 de octubre de 2000.
- Agua Saludable, Gente Saludable. Manual de Parámetros de la Calidad del Agua, Project Wet International Foundation y el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) 2005.
- AICISA Agua Innova Consultoría e Ingeniería S. A. de C. V. Identificación, Muestreo y Análisis de las Descargas Contaminantes de los Ríos Santiago y Verde, en el Estado de Jalisco. Agosto, 2004. CEAS-IHSC-ZC-029/2003.
- Albert, L (1990). Curso básico de toxicología ambiental. Editorial Noriega Limusa. México.
- Anaya, (2001). Relaciones químicas entre organismos: aspectos básicos y perspectivas de su aplicación. Editorial Plaza y Valdez. Instituto de Ecología. México.
- Arce García, O. (2000). Metales pesados presentes en el agua. Manual de prácticas. Universidad Mayor de San Simón. Bolivia.
- ATSDR 1990. Health Consultation from Dennis Jones to Chuck Pietrosewicz. January 16, 1990.
- AyMA Ingeniería y Consultoría S. A. de C. V. Actualización y Caracterización de Fuentes de Contaminación de la Cuenca del Río Verde en el Estado de Jalisco, Diciembre 2006. CEAS-IHSC-ZC-071/2006.
- AyMA Ingeniería y Consultoría S. A. de C. V. Estudio de Monitoreo y Modelación de la Calidad del Agua de los Ríos Santiago y Verde en el Estado de Jalisco. CEAS-IHSC-ZC-025/2002.
- AyMA Ingeniería y Consultoría S. A. de C. V. Identificación y Caracterización de Fuentes de Contaminación de las Cuencas Directa del Río Santiago entre los Municipios de Ocotlán y Tonalá, y Directa del Río Zula. Diciembre, 2006. CEAS-IHSC-ZC-039/2006.

- Bartenhagen, Kathryn A., Marjut H. Turner, and Deanna L. Osmond. August 1994. Information from the Water Quality and Land Treatment Education Component of Water, Soil, and Hydro-Environmental Decision Support System (WATERSHEDSS), Exit EPA North Carolina State University Water Quality Group.
- Blanca Elena Jiménez Cisneros. 2006. La Contaminación Ambiental en México, Causas, Efecto y Tecnología Apropiada. Ed. Limusa, México D.F. 925pp.
- CE-CCA-001-89. (1989). Acuerdo por el que se Establecen los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua. Diario Oficial de la Federación. México
- Cervantes C., Moreno Sánchez R. (1990). Contaminación Ambiental por Metales Pesados Impacto en los Seres Vivos. AGT, Editor, S.A. México.
- Cinc y agua: mecanismos de reacción, impacto ambiental y efectos en la salud. (1998).
- Comisión Estatal del Agua Jalisco. (CEA). www.ceajalisco.gob.mx , consultada el 25 de mayo del 2012.
- Comisión Nacional del Agua. (2007). Análisis de la Información del Agua de los Censos y Conteos 1990 a 2005. Primera edición 2007, www.cna.gob.mx, consultada el 13 de junio del 2012.
- Cuencas Ambientales. Dirección General de Investigación de Política y Economía Ambiental, México. 30 pp.
- De La Mora Orozco C. Flores-Garnica J. Germán, Ruiz Corral J. Ariel y García Velasco J. (2004). Modelaje Estocástico de la Variabilidad Espacial de la Calidad de Agua en un Ecosistema Lacustre. Universidad de Guadalajara. Carretera a Nogales Km. 15.5. Las Agujas, Nextipac, Zapopan, Jalisco.
- Echarri, L. (1998). Libro electrónico: Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. Tema 11 Contaminación del agua. Ed. Teide.
- Environmental Protection Agency. (1999). Ambient Water Quality Criteria, Washington, D.C.
- Estadísticas del Agua en México, Edición 2011; Autor Comisión Nacional Del Agua. www.conagua.gob.mx , consultada el 18 de mayo del 2012.
- Estadísticas del Agua en México. (2011). Comisión Nacional del Agua. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales, México. www.conagua.gob.mx , consultada el 18 de mayo del 2012.
- European Charter on Environment and Health. (1990). OMS, Oficina Regional de Europa,
- Fundación MAPFREE. (1994). Manual de Contaminación Ambiental. ITSEMAP AMBIENTAL, Madrid, España.
- Gallardo Valdez J. (2002). El Rio Santiago se Muere, Diciembre del 2003. Agua Latinoamérica. www.agualatinoamerica.com, consultada el 12 de mayo del 2012.

- Gallardo Valdez J. (2002). Estudio de la Calidad del Agua y los Sedimentos del Río Santiago desde su Nacimiento hasta la Presa de Santa Rosa en el Estado de Jalisco. Guanajuato, Guanajuato, Septiembre del 2002.
- Griet Eeckhout, S. (2006). Mercure: une solution qui nous empoisonne. Laboratorio Europeo de Radiación del Síncrotron en Grenoble, Francia.
- Guadalupe de la Lanza Espino y José Luis García Calderón.(2002). Presas y Lagos de México. Agt. Editor, México, D.F. 680pp.
http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_04/07_agua/cap7_2.html consultada 22 de noviembre del 2012.
- Hutchinson, GE. (1957). A Treatise on Limnology, Vol. 1 Part. I. John Wiley & Sons. New York.
- IMTA. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Informe de Resultados del Monitoreo del “Río Santiago” y Arroyo “El Ahogado” Junio, 2008.
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) y la Comisión Estatal del Agua de Jalisco (CEA), “Actualización del estudio de calidad del agua del Río Santiago (desde su nacimiento en el lago de Chapala hasta la presa Santa Rosa” CEA-UEAS-IMTA-01/2010.
- Instituto Nacional de Ecología. (2003). Seminario sobre Instrumentos Económicos para
- LENNTECH, (2011). Wáter Treatment Solutions, Holanda. <http://www.lenntech.es/periodica/elementos.htm>, consultado el 15 de agosto del 2012.
- León Vizcaíno LF. (1991). Índices de Calidad del Agua (ICA), Forma de Estimarlos y Aplicación en la Cuenca Lerma-Chapala. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), Morelos, México. 36 pp.
- Margalef, R. (1983). Limnología. Ed. Omega, S.A. Barcelona
- Margalef, R. (1986). Ecología. Ed. Omega, Barcelona, España. 951 pp.
- María Paz Aramburu Maqua. 2000. Guía para la Elaboración de Estudios del Medio Físico, Contenido y Metodología. Ed. Centro de publicaciones. Secretaría General del Medio Ambiente. 799pp.
- Martínez de Bascaran, G. (1979). Establecimiento de una Metodología para conocer la Calidad del Agua. Bol. Inf. Medio Ambiente, 9:30-51.
- Martínez González, Paulina; Hernández, Eduardo (2009). Impactos de la contaminación del Río Santiago en el bienestar de los habitantes de El Salto, Jalisco. Espacio Abierto, Vol. 18, Núm. 4, octubre-diciembre, 2009, pp. 709-729, Asociación Venezolana de Sociología, Venezuela.

- Martínez Rodríguez, L. A. (2002). Estudio de Contaminación del Río la Laja, Jalisco 1996-1998. Tesis de grado. Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Guadalajara, Jalisco.
- McCulligh DeBlasi Cindy, Páez Vieyra Juan Carlos, Moya García Gerardo. (2007). Mártires del Río Santiago, Informe sobre las Violaciones al Derecho a la Salud y a un Medio Ambiente Sano en Juanacatlán y el Salto Jalisco, México. Edición: Instituto Mexicano para el Desarrollo Comunitario, A.C. IMDEC, A.C. Guadalajara, Jalisco, México.
- McIntosh, A. (1991). Trace Metals In Freshwater Sediments: A Review Of The Literature And An Assessment Of Research Needs. In: Newman MC, Mcintosh AW (eds) Metal Ecotoxicology: Concepts and Applications. Lewis Publishers, Michigan, USA, pp. 243-260.
- Ministerio de Medioambiente (2000). Guía Para La Elaboración De Estudios Del Medio Físico, Contenido Y Metodología. Ministerio del Medio Ambiente, Madrid, Centro de Publicaciones.
- Murray, K. S., (1996). Statistical Comparisons of Heavy Metal Concentrations in River Sediments. Environmental Geology. 27:54-58.
- Nielsen, P. (1992). Coastal Bottom Boundary Layers and Sediment Transport. Ed. World scientific, Co. Pte. Ltd. Singapore.
- Nisbet, M.; Verneaux, J. (1970). Composantes Chimiques Des Eaux Courantes. Ann. Limnol. 2.
- NMX-AA-005-SCFI-2000. (2000). Análisis de Agua - Determinación de Grasas y Aceites Recuperables en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas - método de prueba (cancela a la nmx-aa-005-1980).
- NMX-AA-077-SCFI-2001. (2001). Análisis de Aguas - Determinación de Fluoruros en aguas naturales, residuales y residuales tratadas- método de prueba.
- NOM-014-SSA-1993 (1993). Procedimientos Sanitarios Para El Muestreo De Agua Para Uso Y Consumo Humano En Sistemas De Abastecimiento De Agua Públicos Y Privados. Diario Oficial de la Federación. México. Norma Oficial Mexicana. Secretaria de Salud.
- NOM-117-SSA1-1994 (1994). Determinación De Cadmio, Arsénico, Plomo, Estaño, Cobre, Hierro, Zinc Y Mercurio En Alimentos, Agua Potable Y Agua Purificada Por Espectrometría De Absorción Atómica. Diario Oficial de la Federación. México. Norma Oficial Mexicana. Secretaria de Salud.
- NOM-127-SSA1-1994. (1994). Salud Ambiental, Agua Para Uso y Consumo Humano-límites Permisibles de Calidad y Tratamiento a que debe Someterse el Agua para su Potabilización. Diario Oficial de la Federación. México. Norma Oficial Mexicana. Secretaria de Salud.

- Oyarzun R. & Higuera P., (2009). *Minerales, Metales, Compuestos Químicos, y Seres Vivos: una Difícil pero Inevitable Convivencia*. Departamento de Cristalografía y Mineralogía, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad.
- Problemática de Agua en el Mundo. <http://www.edpcollege.info/ebooks-pdf/cap1.pdf>, consultada el 22 de noviembre del 2012.
- *Propiedades Químicas del Bario y sus Efectos a la Salud*. (1998).
- *Revisión of the WHO Guidelines for Drinking-Water Quality*. IPS. International Programme on Chemical Safety. United Nations Environment Programme. International Labour Organization. World Health Organization. 1991.
- Rojas Mayorquin, Citlalli Micaela. (2011). *Estudios de la Contaminación de los Recursos Hídricos en la Cuenca del Río San Pedro, previos a la Construcción de una Hidroeléctrica (P.H. Las Cruces) en Nayarit, México*, Tesis de Licenciatura, Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Las Agujas, Zapopan, Jalisco.
- Rosas Rodríguez, H. (2001). *Estudio de la Contaminación por Metales Pesados en la cuenca de Llobregat*. Tesis Doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona
- Salvador Peniche Camps, Manuel Guzmán Arrollo. (2009). *Estudios de la Cuenca del Río Santiago. Un Enfoque Multidisciplinario*. Ed. Paramo, Guadalajara, Jalisco. 5pp
- SEMARNAT. (2005). Capítulo 7, Calidad del agua,
- Subdirección General Técnica. Gerencia de Calidad del Agua. Red Nacional de Monitoreo. CONAGUA. Información del 2 de febrero del 2000 al 27 de noviembre del 2007.
- Vega G. S., Reynaga O. J., (1990). *Evaluación Epidemiología de Riesgos Causados por Agentes Químicos Ambientales*. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud. Noriega, Limusa. México.
- Virgen Tene, Karla Elizabeth. (2004). *Una Estrategia Educativa en Materia de Toxicología Ambiental*. Director: Dra. Martha Georgina Orozco Medina, Universidad de Guadalajara, Departamento de Ciencias Ambientales. Las Agujas, Zapopan, Jalisco, Noviembre 2004.
- Wetzel, RG. (1981). *Limnología*. Editorial Omega. Barcelona. 334 pp.
- *WHO Guidelines for Drinking-Water Quality. Volume 1: Recommendations*. World Health Organization. 1992.
- *WHO Guidelines for Drinking-Water Quality. Volume 2. Health Criteria and Other Supporting Information. Chapter 1: Microbiological Aspects*. United Nations Environment Programme. International Labour Organization. World Health Organization. 1992.
- Wittmann, G. (1981). *Toxic Metals*. En: *Metal Pollution in the Aquatic Environment*, Chapt B. Förstner, U., and Wittman, G. (Eds). Springer- Verlag. Berlin, pp 3-70.

- www.googleearth.com. (Imágenes satelitales). Consultada el 15 de marzo del 2012.

11

ANEXOS

11.1 Metodología de Cálculo del Índice de Calidad de Aguas (ICAS).

El Índice de Calidad del Agua (ICA), como forma de agrupación simplificada de algunos parámetros, indicadores de un deterioro en calidad del agua, es una manera de comunicar y evaluar la calidad de los cuerpos de agua. Sin embargo, para que dicho índice sea práctico debe de reducir la enorme cantidad de parámetros a una forma más simple, y durante el proceso de simplificación algo de información se sacrifica. Por otro lado si el diseño del ICA es adecuado, el valor arrojado puede ser representativo e indicativo del nivel de contaminación y comparable con otros para enmarcar rangos y detectar tendencias.

El monitoreo de un cuerpo de agua para detectar su grado de contaminación, conduce a obtener una inmensa cantidad de datos de varios parámetros, incluso dimensionalmente distintos, que hace difícil detectar patrones de contaminación. Horton (1965) y Liebman (1969) son los pioneros en el intento de generar una metodología unificada para el cálculo del ICA. Pratti (1971) presenta un trabajo con trece parámetros y Dinius (1987) realiza otro similar con once parámetros.

Para la agrupación de los parámetros existen dos técnicas básicas; las denominadas aritméticas y las multiplicativas (Brown, 1970). A su vez pueden o no ponderarse con pesos específicos para cada parámetro. Landwehr y Denninger (1976) demostraron la superioridad del cálculo a través de técnicas multiplicativas, que son mucho más sensibles que los aritméticos a la variación de los parámetros, por lo que reflejan con mayor precisión un cambio de calidad.

En cuanto a la ponderación, Ott (1978) indica que el asignar pesos específicos a los parámetros tiene el riesgo de introducir cierto grado de subjetividad en la evaluación, pero por otro lado sugiere que es importante una asignación racional y unificada de dichos pesos de acuerdo al uso del agua y de la importancia de los parámetros en relación al riesgo que implique el aumento o disminución de su concentración.

El intento más reciente para el diseño del ICA es el de Dinius (1987). En dicho trabajo y usando el método Delphi de encuestas (creado con el objeto de integrar efectivamente las opiniones de expertos y eliminar las desventajas colaterales de un proceso de comité), agrupó a un panel de expertos en cuestiones ambientales y diseñó, a partir de la evaluación e interacción de ellos, un ICA de tipo multiplicativo y con asignación de pesos específicos por parámetro.

Se desarrolló en este trabajo el Índice de Calidad del Agua propuesto por Martínez de Bascarán (1979) que es ampliamente utilizado debido a su diseño sencillo y a que permite incluir n número de variables en la integración, previa ponderación de su magnitud, siendo entonces aplicable a series de datos tanto numerosas como pequeñas.

El índice proporciona un valor global de la calidad del agua, en función de los valores individuales de una serie de parámetros, para lo cual se realizan varias transformaciones numéricas en cada uno de los resultados a integrar. Para elaborar el ICA, se seleccionaron aquellos parámetros de calidad del agua más usuales en la evaluación de lagos y que se enumeran en los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua (CE-CCA-001-89) y son: pH, Cloruros, Conductividad, S.A.A.M. (Detergentes), Dureza Total, Turbiedad, Nitratos, Sulfatos, Nitritos, Coliformes Totales, Oxígeno Disuelto, Color, Sólidos Disueltos Totales, Fósforo Total y Temperatura, entre otros. Se utilizaron los datos microbiológicos de Castañeda et al., (1997). Los procesos metodológicos aplicados son:

El primer procedimiento fue la normalización de los valores individuales que conforman el índice al establecer una correspondencia de los resultados obtenidos en cada uno de los parámetros con una escala variable de 0 a 100 que se construye en función de los valores límite establecidos. Se asume como valor de 100 % al que indica condiciones naturales u óptimas en un lago, y el 50 % corresponde al máximo permitido. Una valoración menor al 50 % significa que existen limitantes de importancia para su utilización. La normalización de parámetros aplicada se muestra en las **Tablas 16 a la 24.**

Tabla 16. Normalización de Aluminio, Arsénico y Bario.

Parámetro	Aluminio	Arsénico	Bario	Valoración
Valor Analítico	0.40	0.1	1.40	0
	0.36	0.09	1.26	10
	0.32	0.08	1.12	20
	0.28	0.07	0.98	30
	0.24	0.06	0.84	40
	0.20	0.05	0.70	50
	0.16	0.04	0.56	60
	0.12	0.03	0.42	70
	0.08	0.02	0.28	80
	0.04	0.01	0.14	90
	0	0	0.00	100
Unidad de Medida	mg/L	mg/L	mg/L	%

Tabla 17. Normalización de Cadmio, Cloruros Totales y Cobre.

Parámetro	Cadmio	Cloruros	Cobre	Valoración
Valor Analítico	0.01	500	4.00	0
	0.009	450	3.60	10
	0.008	400	3.20	20
	0.007	350	2.80	30
	0.006	300	2.40	40
	0.005	250	2.00	50
	0.004	200	1.60	60
	0.003	150	1.20	70
	0.002	100	0.80	80
	0.001	50	0.40	90
	0	0	0.00	100
Unidad de Medida	mg/L	mg/L	mg/L	%

Tabla 18. Normalización de Coliformes Fecales, Coliformes Totales y Conductividad.

Parámetro	Coliformes Fecales	Coliformes Totales	Conductividad	Valoración
Valor Analítico	2000	2000	>16000	0
	1800	1800	12000	10
	1600	1600	8000	20
	1400	1400	5000	30
	1200	1200	3000	40
	1000	1000	2500	50
	800	800	2000	60
	600	600	1500	70
	400	400	1200	80
	200	200	1000	90

	0.00	0.00	<750	100
Unidad de Medida	NMP/100ml	NMP/100ml	µmhos/cm	%

Tabla 19. Normalización de Cromo Total, Dureza Total y Hierro.

Parámetro	Cromo Total	Dureza Total	Hierro	Valoración
Valor Analítico	0.10	1000	0.60	0
	0.09	900	0.54	10
	0.08	800	0.48	20
	0.07	700	0.42	30
	0.06	600	0.36	40
	0.05	500	0.30	50
	0.04	400	0.24	60
	0.03	300	0.18	70
	0.02	200	0.12	80
	0.01	100	0.06	90
	0.00	000	0.00	100
Unidad de Medida	mg/L	mg/l	mg/L	%

Tabla 20. Normalización de Fluoruros, Manganeso, Mercurio.

Parámetro	Fluoruros	Manganeso	Mercurio	Valoración
Valor Analítico	3.00	0.30	0.002	0
	2.70	0.27	0.0018	10
	2.40	0.24	0.0016	20
	2.10	0.21	0.0014	30
	1.80	0.18	0.0012	40
	1.50	0.15	0.0010	50
	1.20	0.12	0.0008	60
	0.90	0.09	0.0006	70
	0.60	0.06	0.0004	80
	0.30	0.03	0.0002	90
	0.00	0.00	0	100
Unidad de Medida	mg/L	mg/L	mg/L	%

Tabla 21. Normalización de Nitratos, Nitritos, Nitrógeno Amoniacal.

Parámetro	Nitratos	Nitritos	Nitrógeno Amoniacal	Valoración
Valor Analítico	20.00	2.00	1.00	0
	18.00	1.80	0.90	10
	16.00	1.60	0.80	20
	14.00	1.40	0.70	30
	12.00	1.20	0.60	40
	10.00	1.00	0.50	50
	8.00	0.80	0.40	60
	6.00	0.60	0.30	70
	4.00	0.40	0.20	80
	2.00	0.20	0.10	90

	0.00	0.00	0.00	100
Unidad de Medida	mg/L N-NO³	mg/L N-NO²	mg/L	%

Tabla 22. Normalización de pH, Plomo, SAAM.

Parámetro	pH	Plomo	S.A.A.M	Valoración
Valor Analítico	1-14	0.020	>3.00	0
	2-13	0.018	2.00	10
	3-12	0.016	1.50	20
	4-11	0.014	1.00	30
	5-10	0.012	0.75	40
	6-9.5	0.010	0.50	50
	6.5	0.008	0.25	60
	9	0.006	0.10	70
	8.5	0.004	0.06	80
	8	0.002	0.02	90
	7	0.000	0.00	100
Unidad de Medida	Unidad pH	mg/L	mg/L	%

Tabla 23. Normalización de Sólidos Disueltos, Sulfatos, Temperatura.

Parámetro	Sólidos Disueltos	Sulfatos	Temperatura	Valoración
Valor Analítico	2000	800	>50/>-8	0
	1800	720	45/-6	10
	1600	640	40/-4	20
	1400	560	36/-2	30
	1200	480	32/0	40
	1000	400	30/5	50
	800	320	28/10	60
	600	240	26/12	70
	400	160	24/14	80
	200	80	22/15	90
	000	0	21 a 16	100
Unidad de Medida	mg/L	mg/L SO₄	°C	%

Tabla 24. Normalización de Sulfuros, Turbiedad, Zinc.

Parámetro	Sulfuros	Turbiedad	Zinc	Valoración
Valor Analítico	0.0040	10.0	10.00	0
	0.0036	9.0	9.00	10
	0.0032	8.0	8.00	20
	0.0028	7.0	7.00	30
	0.0024	6.0	6.00	40
	0.0020	5.0	5.00	50
	0.0016	4.0	4.00	60
	0.0012	3.0	3.00	70
	0.0008	2.0	2.00	80

	0.0004	1.0	1.00	90
	0.0000	0.0	0.00	100
Unidad de Medida	mg/L	UTN	mg/L	%

El segundo procedimiento ha sido la asignación de un peso numérico a cada uno de los parámetros. Se aplicó los pesos asignados en trabajos previos en el Lago de Chapala (León, 1991) a fin de conservar el mismo marco referencial para posteriores comparaciones. En la tabla 25 se muestran los pesos asignados.

Tabla 25. Peso asignado a los parámetros

PESO ASIGNADO	PARAMETRO
Valor máximo de 4	Conductividad, Oxígeno Disuelto, S.A.A.M. (Detergentes), Color, Mercurio
Valor medio de 3	Turbiedad, Fósforo Total, Coliformes Totales, Arsénico, Cadmio, Cromo total, hierro, Manganeso, Plomo
Valor menor de 2	Sólidos Disueltos, Sulfatos, Nitrógeno de Nitratos, Nitrógeno de Nitritos, Aluminio, Cromo hexavalente
Valor mínimo de 1	PH, Cloruros, Temperatura, Dureza Total

El tercer procedimiento ha sido aplicar la siguiente fórmula para el cálculo del índice de calidad del agua ICA:

$$ICA = \frac{\sum CiPi}{\sum Pi} \cdot k$$

Dónde:

Ci = Valor porcentual asignado a los parámetros

Pi = Peso asignado a cada parámetro

k = Constante que varía de 1 a 0,25 según la contaminación aparente del agua, definida de la siguiente forma:

- 1,00 Para aguas claras sin aparente contaminación
- 0,75 Para aguas con ligero color, con espumas y ligera turbiedad aparentemente no natural
- 0,50 Para aguas con apariencia de estar contaminadas y con fuerte olor
- 0,25 Para aguas negras que presentan fermentaciones y olores

En el proceso de cálculo numérico se aplicó en la fórmula de ICA un valor para la constante k de 0.50, considerando que el agua presente en el Río Santiago presenta características de turbiedad, color y aspecto que no son típicas de aguas claras sin aparente contaminación. La interpretación de los valores obtenidos del ICA se realiza de acuerdo a la Gráfica 1 del presente trabajo.

11.2 Índice de Tablas, Figuras, Graficas

Tabla 1	Químicos inorgánicos contaminantes del agua.	35
Tabla 2	Químicos orgánicos contaminantes del agua.	36
Tabla 3	Microorganismos contaminantes del agua.	36
Tabla 4	Contaminantes, procesos y fuentes que afectan la calidad.	36
Tabla 5	Principales orígenes antropogénicos de los metales pesados.	40
Tabla 6	Proporciones de metales pesados en algunos pesticidas recomendados en agricultura.	42
Tabla 7	Peligros biológicos, químicos y físicos por rutas de exposición.	47
Tabla 8	Efectos a la Salud Humana.	50
Tabla 9	Corrientes tributarias del Rio Santiago.	57
Tabla 10	Obras de infraestructura hidráulica en la cuenca del rio.	59
Tabla 11	Ubicación y coordenadas de los puntos de muestreo.	62
Tabla 12	Meses y fecha de muestreo.	64
Tabla 13	Especificaciones técnicas del muestreo y preservación del agua.	65
Tabla 14	Parámetros evaluados en agua.	66
Tabla 15	Descripción de métodos analíticos en agua.	68
Tabla 16	Normalización de Aluminio, Arsénico y Bario.	176
Tabla 17	Normalización de Cadmio, Cloruros Totales y Cobre.	176
Tabla 18	Normalización de Coliformes Fecales, Coliformes Totales y Conductividad.	176
Tabla 19	Normalización de Cromo Total, Dureza Total y Hierro.	177
Tabla 20	Normalización de Fluoruros, Manganeso, Mercurio.	177
Tabla 21	Normalización de Nitratos, Nitritos, Nitrógeno Amoniacal.	177
Tabla 22	Normalización de pH, Plomo, SAAM.	178
Tabla 23	Normalización de Solidos Disueltos, Sulfatos, Temperatura.	178
Tabla 24	Normalización de Sulfuros, Turbiedad, Zinc.	178
Tabla 25	Peso asignado a los parámetros.	179

Tabla 26	Algoritmos de especiación de la alcalinidad. ....	.75
Tabla 27	Clasificación del agua en función de la alcalinidad. ....	.75
Tabla 28	Clasificación del agua en función de Cloruros. ....	.78
Tabla 29	Clasificación del agua en función de conductividad. ....	.81
Tabla 30	Clasificación del agua a partir de la concentración de dureza. ....	.87
Tabla 31	Clasificación del agua a partir de la concentración de Fosforo Total. ....	.92
Tabla 32	Clasificación del agua a partir de la concentración de nitritos. ....	.101
Tabla 33	Clasificación del agua a partir de la concentración de pH. ....	.106
Tabla 34	Interpretación y Clasificación del agua a partir de los sólidos suspendidos. ....	.113
Tabla 35	Interpretación y clasificación del agua a partir de los sulfatos. ....	.115
Tabla 36	Tabla comparativa de parámetros fuera de norma. ....	.157
Tabla 37	Limitantes de uso en la calidad del agua de acuerdo a la NOM-127-SSA1-1994. ....	.159
Tabla 38	Limitantes de uso en la calidad de agua encontrada en el estudio en forma de ICA. ....	.159
Tabla 39	Clasificación de la calidad de agua encontrada en varios estudios en el Río Santiago. ....	.165
Tabla 40	Comparación de la calidad encontrada en varios estudios en el Río Santiago. ....	.165
Figuras		
Figura 1	Cuenca del Río Santiago-Guadalajara. ....	.10
Figura 2	Earth Water Distribution. ....	.17
Figura 3	Usos consuntivos del agua en el estado de Jalisco, 2007. ....	.27
Figura 4	Diagrama de flujo de metodología. ....	.54
Figura 5	Perfil del Río Santiago. ....	.60
Figura 6	Localización del área de estudio. ....	.63
Figura 7	Alcalinidad total por punto. ....	.74
Figura 8	Alcalinidad total por meses. ....	.74
Figura 9	Cloruros totales por punto. ....	.76
Figura 10	Cloruros totales por meses. ....	.77
Figura 11	Conductividad por punto. ....	.79
Figura 12	Conductividad por meses. ....	.80

Figura 13	Demanda Química de Oxígeno por punto.	82
Figura 14	Demanda Química de Oxígeno por meses.	83
Figura 15	Demanda Bioquímica de Oxígeno por punto.	84
Figura 16	Demanda Bioquímica de Oxígeno por punto.	85
Figura 17	Dureza Total por punto.	86
Figura 18	Dureza total por meses.	87
Figura 19	Fluoruros por punto.	89
Figura 20	Fluoruros por meses.	90
Figura 21	Fosforo Total por punto.	91
Figura 22	Fosforo Total por meses.	92
Figura 23	Grasas y Aceites por punto.	93
Figura 24	Grasas y Aceite por meses.	94
Figura 25	Nitrógeno Amoniacal por punto.	96
Figura 26	Nitrógeno Amoniacal por meses.	97
Figura 27	Nitrógeno de Nitratos por punto.	98
Figura 28	Nitrógeno de Nitratos por meses.	99
Figura 29	Nitrógeno de Nitritos por punto.	100
Figura 30	Nitrógeno de Nitritos por meses.	101
Figura 31	Oxígeno Disuelto por punto.	103
Figura 32	Oxígeno Disuelto por meses.	104
Figura 33	pH por punto.	105
Figura 34	pH por meses.	106
Figura 35	Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM) por punto.	108
Figura 36	Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM) por meses.	109
Figura 37	Solidos Disueltos Totales por punto.	110
Figura 38	Solidos Disueltos Totales por meses.	111
Figura 39	Solidos Suspendidos Totales por punto.	111
Figura 40	Solidos Suspendidos Totales por meses.	112
Figura 41	Sulfatos por punto.	114
Figura 42	Sulfatos por meses.	115
Figura 43	Sulfuros por punto.	116
Figura 44	Sulfuros por meses.	117
Figura 45	Temperatura por punto.	118

Figura 46	Temperatura por meses.	119
Figura 47	Turbiedad por punto.	120
Figura 48	Turbiedad por meses.	121
Figura 49	Aluminio por punto.	122
Figura 50	Aluminio por meses.	123
Figura 51	Arsénico por punto.	124
Figura 52	Arsénico por meses.	125
Figura 53	Bario por punto.	126
Figura 54	Bario por meses.	127
Figura 55	Cadmio por punto.	129
Figura 56	Cadmio por meses.	130
Figura 57	Cobre por punto.	131
Figura 58	Cobre por meses.	132
Figura 59	Cromo Total por punto.	133
Figura 60	Cromo Total por meses.	134
Figura 61	Fierro por punto.	136
Figura 62	Fierro por meses.	137
Figura 63	Manganeso por punto.	138
Figura 64	Manganeso por meses.	139
Figura 65	Mercurio por punto.	140
Figura 66	Mercurio por meses.	141
Figura 67	Níquel por punto.	142
Figura 68	Níquel por meses.	143
Figura 69	Plomo por punto.	144
Figura 70	Plomo por meses.	145
Figura 71	Sodio por punto.	147
Figura 72	Sodio por meses.	148
Figura 73	Zinc por punto.	149
Figura 74	Zinc por meses.	150
Figura 75	Coliformes Fecales por punto.	151
Figura 76	Coliformes Fecales por meses.	152
Figura 77	Coliformes Totales por punto.	152
Figura 78	Coliformes Totales por meses.	153

Figura 79	Criterios de clasificación de la calidad del agua	158
-----------	---	-----

Graficas

Grafica 1	Rangos de cuantificación del ICA en función del uso del agua.	70
Grafica 2	Índice de calidad del agua de acuerdo a la NOM-127-SSA1-1994.	155
Grafica 3	Índice de calidad del agua de acuerdo a los CE-CCA-001-89.	156