



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS
DE HIDALGO**

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL

**FACULTAD DE BIOLOGÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**Evaluación de la calidad del agua, los sedimentos y su efecto en la
presencia de la salamandra de montaña (*Ambystoma ordinarium*) en
arroyos ubicados en los municipios de Charo, Hidalgo y Morelia,
Michoacán**

TESIS

Para obtener el grado de
MAESTRA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL

Que presenta

Biól. MARICELA HERNÁNDEZ GARCÍA

Directoras de Tesis

Dra. Ruth Alfaro Cuevas Villanueva

Dra. Ileri Suazo Ortuño

Morelia, Michoacán. Septiembre 2016



DEDICATORIA

Esta tesis va dedicada a mi querida familia que es uno de los motores que me impulsan a salir a delante y no dar paso a las adversidades.

A mis padres Maximino Hernández y Ma. Sara García por acompañarme en esta aventura que es la vida y apoyarme en el transcurso de mi desarrollo como persona y profesionalista.

A mis hermanos Elizabeth, Omar y Arturo, mi cuñado Luis Ángel, a mi pequeño sobrinito Owen y por supuesto no podía faltar mi querido novio Emmanuel Rangel.

Gracias por siempre estar ahí....

Que los retos te llenen de fortaleza y siempre conseguirás cumplir tus metas...



Este trabajo se llevó a cabo en el Laboratorio de Espectrofotometría de Absorción Atómica del Instituto de Investigaciones Químico Biológicas, con el apoyo del laboratorio de Edafología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, bajo la dirección de la doctora Ruth Alfaro Cuevas Villanueva y la Dra. Ileri Suazo Ortuño.



Tesis apoyada por la beca CONACYT 334948

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo y al Posgrado en Ciencias en Ingeniería Ambiental por ser mi casa de estudio y permitirme seguir formándome como profesionalista.

A la doctora Ruth Alfaro Cuevas Villanueva y la doctora Ileri Suazo Ortuño por aceptarme e invitarme a participar junto con ellas en este mágico proyecto encaminado a la conservación de *A. ordinarium*.

A los integrantes del comité de sinodales, por sus aportaciones en la mejora de mi tesis

Dr. Luis Humberto Escalera Vázquez

Dr. Raúl Cortes Martínez

Dra. Maricela Villicaña Méndez

Deseo también expresar mi agradecimiento a todas aquellas personas, profesores y compañeros que me brindaron su ayuda generosa durante la experimentación de mi tesis. Dr. Raúl, Carlos, Nancy, Selene, Karina, Isabel, Mariela, Juan Carlos y Enrique.

A mi amiga Nancy y compañera Nidia, que compartieron conmigo y mis compañeros sus conocimientos cuando éramos aspirantes a la Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental, permitiéndonos avanzar para cumplir esta meta que hoy concluyo.



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. JUSTIFICACIÓN.....	2
3. HIPÓTESIS.....	3
4. OBJETIVOS.....	3
4.1. Objetivo general	3
4.2. Objetivos particulares.....	3
5. MARCO TEÓRICO	4
5.1. Calidad del agua	4
5.1.1. Parámetros físicos del agua	4
5.1.2. Parámetros químicos del agua	5
5.1.3. Parámetros microbiológicos del agua.....	9
5.2. Calidad de sedimentos.....	9
5.3. Calidad del agua y su efecto en los anfibios	10
5.4. Estatus de <i>Ambystoma ordinarium</i>	11
6. ANTECEDENTES.....	12
7. METODOLOGÍA	13
8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	16
8.1. Agua.....	16
8.1.1. Parámetros <i>in situ</i>	16
8.1.2. Parámetros fisicoquímicos.....	20
8.1.3. Metales pesados y arsénico	34
8.1.4. Coliformes fecales	41
8.1.5. Análisis estadístico	44
8.2. Sedimentos	48
8.2.1. Parámetros físicos	48
8.2.2. Parámetros químicos	50
8.2.3. Metales pesados y arsénicos.....	50
8.2.4. Análisis estadístico en sedimento.....	53
9. CONCLUSIONES.....	54

10. RECOMENDACIONES	55
11. LITERATURA CITADA	56
ANEXOS	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Arroyos con presencia de <i>Ambystoma ordinarium</i> en Michoacán	14
Tabla 2. Arroyos con ausencia de <i>Ambystoma ordinarium</i> en Michoacán	14
Tabla 3. Metodología indicada por la Normatividad Mexicana para cada parámetro. 15	
Tabla 4. Análisis de varianza (ANOVA) de una vía y prueba Mann –Whitney – Willcoxon entre presencia-ausencia de <i>Ambystoma ordinarium</i>	45
Tabla 5. Análisis de varianza (ANOVA) de una vía y prueba Mann –Whitney – Willcoxon entre presencia-ausencia de <i>Ambystoma ordinarium</i>	46
Tabla 6. Análisis de varianza (ANOVA) de una vía y prueba Mann –Whitney – Willcoxon entre época.	47
Tabla 7. Color en los sedimentos en arroyos con presencia de <i>Ambystoma ordinarium</i>	48
Tabla 8. Color en los sedimentos en arroyos con ausencia de <i>Ambystoma ordinarium</i>	48
Tabla 9. Tamaño de partícula en los sedimentos de arroyos con presencia de <i>Ambystoma ordinarium</i>	49
Tabla 10. Tamaño de partícula en los sedimentos de arroyos con ausencia de <i>Ambystoma ordinarium</i>	50
Tabla 11. Análisis de varianza (ANOVA) de una vía y prueba Mann-Whitney- Wilcoxon, entre presencia-ausencia de <i>Ambystoma ordinarium</i>	53
Tabla 12. Concentraciones promedio de parámetros <i>in situ</i> en el agua de arroyos con presencia y ausencia de <i>Ambystoma ordinarium</i>	66
Tabla 13. Concentraciones promedio de parámetros fisicoquímicos en el agua de arroyos con presencia y ausencia de <i>Ambystoma ordinarium</i>	68
Tabla 14. Concentraciones promedio de parámetros fisicoquímicos en el agua de arroyos con presencia y ausencia de <i>Ambystoma ordinarium</i>	69

Tabla 15. Concentraciones promedio de parámetros fisicoquímicos en el agua de arroyos con presencia y ausencia de <i>Ambystoma ordinarium</i>	70
Tabla 16. Balance iónico en el agua de arroyos con presencia y ausencia de <i>Ambystoma ordinarium</i>	71
Tabla 17. Concentraciones promedio de metales pesados y As en el agua de arroyos con presencia y ausencia de <i>Ambystoma ordinarium</i>	72
Tabla 18. Especiación química del Fe expresado en (%) en arroyos con presencia y ausencia de <i>Ambystoma ordinarium</i>	73
Tabla 19. Especiación química del Ni expresados en (%) en arroyos con presencia y ausencia de <i>Ambystoma ordinarium</i>	73
Tabla 20. Especiación química del Zn expresados en (%) en arroyos con presencia y ausencia de <i>Ambystoma ordinarium</i>	73
Tabla 21. Concentración promedio de coliformes fecales en el agua de arroyos con presencia y ausencia de <i>Ambystoma ordinarium</i>	74
Tabla 22. Valores de las variables creadas para cada parámetro en el análisis ACP en JMP.	75
Tabla 23. pH y metales pesados en sedimentos de arroyos con presencia y ausencia de <i>Ambystoma ordinarium</i>	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación histórica de <i>Ambystoma ordinarium</i> en ocho arroyos del Estado de Michoacán.	14
Figura 2. Valores de temperatura expresados en (°C) en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio.	18
Figura 3 Valores de pH en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio.....	19
Figura 4. Valores de conductividad eléctrica expresados en (μS/cm) en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio	19
Figura 5. Concentraciones de oxígeno disuelto expresados en (mg/L) en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio.....	20

Figura 6 Concentraciones de demanda química de oxígeno expresados en (mg/L) en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio.	21
Figura 7 Concentraciones de demanda bioquímica de oxígeno expresados en (mg/L) en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio	21
Figura 8 Valores de turbiedad expresados en (UTC) en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio.	23
Figura 9. Concentraciones de sólidos disueltos totales expresados en (mg/L) en los ocho monitoreados durante todo el periodo de estudio.....	23
Figura 10. Concentraciones de sólidos suspendidos totales expresados en (mg/L) en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio.	24
Figura 11. Concentraciones de sólidos totales expresados en (mg/L) en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio.....	24
Figura 12. Concentraciones de sólidos sedimentables expresados en (mL/L) en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio.....	25
Figura 13. Concentraciones de dureza total expresados en (mg/L) en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio.....	26
Figura 14. Concentraciones de alcalinidad total expresados en (mg/L) en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio.....	27
Figura 15. Concentraciones de calcio expresados en (mg/L) en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio	29
Figura 16. Concentraciones de magnesio expresados en (mg/L) en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio.	29
Figura 17. Concentraciones de sodio expresados en (mg/L) en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio.	30
Figura 18. Concentraciones de bicarbonato expresados en (mg/L) en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio.....	30
Figura 19. Concentraciones de cloruro expresados en (mg/L) en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio.	31
Figura 20. Concentraciones de sulfato expresados en (mg/L) en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio.	31

Figura 21. Concentraciones de fosfato expresados en (mg/L) en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio	32
Figura 22 Concentraciones de nitrógeno amoniacal expresados en (mg/L) en los ocho arroyos durante todo el periodo de estudio.	32
Figura 23 Concentraciones de nitrato expresados en (mg/L) en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio.	33
Figura 24. Representación gráfica del balance iónico	33
Figura 25. Concentraciones de cobre expresados en (mg/L) en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio	36
Figura 26. Concentraciones de hierro expresados en (mg/L) en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio	36
Figura 27. Concentraciones de níquel expresados en (mg/L) en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio.	37
Figura 28. Concentraciones de plomo expresados en (mg/L) en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio.	37
Figura 29. Concentraciones de zinc expresados en (mg/L) en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio.	38
Figura 30. Concentraciones de arsénico expresados en (mg/L) en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio.	38
Figura 31. Especies predominantes de hierro expresado en (%) para los ocho arroyos de muestreo a partir de concentraciones máximas obtenidas.....	40
Figura 32. Especies predominantes de níquel expresado en (%) para los ocho arroyos de muestreo a partir de concentraciones máximas obtenidas.....	40
Figura 33. Especies predominantes de zinc expresado en (%) para los ocho arroyos de muestreo a partir de concentraciones máximas obtenidas.....	41
Figura 34. Concentraciones de coliformes fecales expresados en NMP/100mL en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio.....	42
Figura 35. Diagrama de Piper en los arroyos de estudio.....	43
Figura 36. Comportamiento estadístico de los parámetros fisicoquímicos en arroyos con presencia (P) o ausencia (A) de <i>A. ordinarium</i> en el análisis de componentes principales	44

Figura 37.pH obtenido en los sedimentos de los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio	51
Figura 38.Concentraciones de cobre expresados en (mg/kg) en los arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio	51
Figura 39.Concentraciones de hierro expresados en (mg/kg) en los arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio	52
Figura 40.Concentraciones de níquel expresados en (mg/kg) en los arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio	52
Figura 41.Concentraciones de zinc expresados en (mg/kg) en los arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio	53
Figura 42. Esquema del diagrama de Piper Hill.	78
Figura 43.Triangulo para determinar la clase textual.....	82

RESUMEN

La calidad del agua y los sedimentos en los ecosistemas acuáticos es de vital importancia ya que una gran variedad de organismos viven y se reproducen en ellos, como es el caso de la salamandra *A. ordinarium*, actualmente en peligro de extinción, debido a la fragmentación y degradación de su hábitat. Las principales fuentes de contaminación a los cuales se enfrentan los ríos y arroyos son las descargas urbanas, ricas en materia orgánica, agentes químicos, coliformes fecales y metales pesados.

En este trabajo se determinaron los parámetros fisicoquímicos, componentes mayores, coliformes fecales, metales pesados y As en ocho arroyos ubicados en los municipios de Charo, Hidalgo y Morelia dentro del Estado de Michoacán. A partir de estos datos se determinó la especiación química en el agua. Se tomaron simultáneamente muestras de sedimentos y se determinaron pH, metales pesados y se les realizó una caracterización física. En los ocho arroyos se determinó Cu, Cd, Cr, Fe, Ni, Pb, Zn y As en agua y sedimentos en época de estiaje y precipitación pluvial.

En general la salamandra *A. ordinarium*, se presenta en arroyos con bajas temperaturas, pH alcalino, tolera baja concentración de oxígeno disuelto y los arroyos se caracterizan por presentar menor contenido de sólidos y sales disueltas en el agua. La presencia de coliformes fecales indica contaminación constante, por los poblados cercanos. Las especies metálicas que se encontraron en mayores concentraciones tanto en el agua como en sedimentos fueron Fe, Ni y Zn principalmente en su forma libre y se consideran tóxicos. Se infiere que la presencia de estos metales se debe principalmente a la geología y tipo de suelo, liberándose el metal por disolución. De acuerdo con los análisis estadísticos, los arroyos con ausencia de la salamandra presentan las condiciones más adversas.

Palabras clave: calidad del agua, sedimentos, metales pesados, especies químicas, *A. ordinarium*

ABSTRACT

The quality of the water and the sediments in aquatic ecosystems is vital since they live through a great variety of organisms and are reproduced in them, since it is the case of the salamander *A. ordinarium*, nowadays on the verge of extinction, due to the fragmentation and degradation of his habitat. The main sources of pollution to rivers and stream which are facing are urban discharges, rich in organic matter, chemicals, fecal coliform and heavy metals.

In this work were determined the physicochemical parameters, major components, coliformes fecal, heavy metals and As in eight rill located in the municipalities of Charo, Hidalgo and Morelia inside Michoacán's State. These data the chemical speciation in water was determined. Sediment samples were taken simultaneously and were determined pH, heavy metals and underwent a physical characterization. In the eight stream Cu, Cd, Cr, Fe, Ni, Pb, Zn and As determined in water and sediments in season of low water and rainfall.

In general the salamander *A. ordinarium*, it appears in streams with low temperatures, alkaline pH, tolerates low concentration of dissolved oxygen and the stream are characterized for minor presents contained of solids and dissolved salts in the water. The presence of coliformes fecal indicates constant pollution, for the nearby settlements. The metallic species that they found in major concentrations both in the water and in sediments were Fe, Ni and Zn principally in its free form and are considered toxic. It is inferred that the presence of these metals is mainly due to geology and soil type, releasing the metal dissolution. According to statistical analysis, streams absences of salamander have the most adverse conditions.

Key words: quality of the water, sediments, heavy metals, chemical species *A. ordinarium*

1. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas acuáticos cumplen funciones ecológicas fundamentales, tales como el suministro de agua, termorregulación ambiental y reducen los efectos de la erosión (Aubriot *et al.*, 2012; Pérez y Pineda 2009), al ser alterados, por actividades antrópicas o naturales modifican entre otros, la calidad del agua y sedimentos.

La calidad del agua está determinada por la presencia de condiciones físicas, elementos y compuestos químicos, organismos vivos y por el aprovechamiento a que se encuentran sujetas (Herrera, 2007). Conocer a su vez, la calidad de los sedimentos es importante, debido a que pueden ser reservorio para contaminantes y con el tiempo, convertirse en una fuente potencial de éstos, causando efectos letales y subletales en los organismos acuáticos (Pedraza, 2007; Alfaro, 2010).

El Índice de la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), indicador que revela las tendencias de extinción a nivel global, señala que de todos los grupos faunísticos, los anfibios son los que están decreciendo más rápidamente (WWF 2013), debido a la destrucción y deterioro de los ecosistemas (Rueda 1999), ya que necesitan condiciones de humedad específicas, el agua en cantidad y calidad resulta indispensable para su desarrollo y al no termorregular dependen del medio ambiente en que se encuentren volviéndose susceptibles al cambio que estos sufran (Cedeño *et al.*, 2008). Sin embargo la preocupación científica por entender este alarmante declive se ha centrado principalmente en los anuros, comparativamente con la atención prestada sobre las especies de salamandras (Soto 2012).

En México se estiman 376 especies de anfibios, con 137 especies de salamandras (Parra *et al.*, 2014) de las cuales 18 especies pertenecen al género *Ambystoma* y la mayoría se encuentra según la NOM-059-2010 en alguna categoría de riesgo (Huacuz 2008 en Herrejón 2013).

En Michoacán existen 7 especies de la Familia Ambystomatidae de las cuales, *A. ordinarium* habita en arroyos de montaña (Soto 2012), pero actualmente su distribución está severamente fragmentada, existe una disminución continua de la extensión y calidad del hábitat forestal en el Noreste de Michoacán, así como un fuerte impacto sobre los arroyos en que habita, a causa de presiones de urbanización, como lo es el desarrollo de infraestructuras, contaminación y extracción del agua (Shaffer *et al.*, 2008; Ramírez 2014).

El presente estudio tuvo como objetivo realizar la evaluación de la calidad del agua y los sedimentos por medio del análisis de parámetros fisicoquímicos, microbiológicos, metales pesados y As en arroyos ubicados en los municipios de Charo, Hidalgo y Morelia en Michoacán, considerados hábitat de la salamandra de montaña (*A. ordinarium*). Para tratar de determinar si la calidad del agua o de los sedimentos es un posible estresor ambiental que pone en riesgo la presencia del anfibio en esta zona.

2. JUSTIFICACIÓN

Los ecosistemas acuáticos presentan un incremento en la tasa de degradación, relacionada al incremento de la población y de las actividades antropogénicas, provocando el deterioro prematuro del cuerpo de agua receptor. En su conjunto estas actividades, modifican la calidad del agua y de los sedimentos, afectando a muchos organismos que viven y se reproducen en él, al depender de este recurso más directamente que otros, como es el caso de los anfibios.

En el presente estudio se evaluó la calidad del agua y los sedimentos de ocho arroyos en los municipios de Charo, Hidalgo y Morelia, donde históricamente se ha reportado la presencia de este anfibio y no se cuenta con estudios previos de este tipo en la zona, lo que permitirá contar con una evaluación completa, de la calidad del agua en el hábitat de la salamandra de montaña (*Ambystoma ordinarium*), el cual será utilizado como apoyo en un proyecto para su conservación.

3. HIPÓTESIS

- Los arroyos no presentan las características en la calidad de agua y los sedimentos necesarios para albergar a la salamandra *A. ordinarium*

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

- Evaluar la calidad del agua y sedimentos en arroyos que son considerados hábitat de la salamandra de montaña *A. ordinarium* en los municipios de Charo, Hidalgo y Morelia y determinar si ésta influye en su presencia en la zona.

4.2. Objetivos particulares

- Realizar una caracterización fisicoquímica, bacteriológica y de metales pesados en agua en arroyos considerados hábitat de la salamandra de montaña en los municipios de Charo, Hidalgo y Morelia, tanto en época de estiaje como de precipitación pluvial.
- Determinar el comportamiento de las especies químicas predominantes mediante la modelación de su movilidad química.
- Determinar la concentración de metales pesados en sedimentos en los puntos donde fueron tomadas las muestras de agua.
- Determinar el tipo de agua mediante la construcción de un diagrama de Piper.
- Establecer un diagnóstico de la calidad del agua, sedimentos y su posible efecto en la presencia de *A. ordinarium* en los arroyos estudiados.

5. MARCO TEÓRICO

5.1. Calidad del agua

La calidad del agua es una medida crítica de las propiedades químicas y biológicas de los sistemas acuáticos que dependen del mantenimiento de una calidad del agua específica para poder sostener procesos bioquímicos necesarios para la vida de plantas y animales (Piters *et al.* 2009).

Estos ecosistemas se ven influenciados por la presencia en el terreno de diferentes materiales y estructuras geológicas que son fuente de una gran variedad de iones disueltos en aguas superficiales. Algunos de estos iones elementales se encuentran en todas las aguas continentales como son: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} y HCO_3^- , mientras que otros se encuentran a niveles de trazas, como es el caso de los metales pesados (Rosas 2001; Pérez 2005).

Se considera metal pesado, aquel elemento que tiene una densidad igual o superior a 5 g/mL cuando está en forma elemental o cuyo número atómico es superior a 20 (Alfaro 2010). Dentro de los metales pesados hay dos grupos:

- 1) *Oligoelementos o micronutrientes*, requeridos a nivel traza, que se vuelven tóxicos al superar cierto valor límite (Manahan 2007).
- 2) *Metales pesados sin función biológica conocida*, resultan altamente tóxicos dado que, tienden a acumularse en los organismos desencadenando procesos de biomagnificación y acciones toxicodinámicas, las cuales generan alteraciones metabólicas, mutaciones y transformaciones anatómicas en las especies animales, incluido el hombre. Los metales pesados más tóxicos son el Cd, Hg, Pb y As (Marrugo 2011; Pérez 2005).

5.1.1. Parámetros físicos del agua

Son aquellos que definen las características del agua que corresponden a los sentidos de la vista, del tacto, gusto y olfato (Elizarraras 2011). Algunos se describen a continuación:

Turbidez.- Se debe a la presencia de partículas suspendidas y disueltas, materia en suspensión como arcilla, cieno o materia orgánica e inorgánica finamente dividida, así como compuestos solubles coloridos, plancton y diversos microorganismos (DOF. 2001b, Roldan 2003).

Temperatura.- Se establece por la absorción de radiación. Las variaciones de temperatura afectan a la solubilidad de sales y gases en el agua y en general a todas sus propiedades (Roldan 2003).

5.1.2. *Parámetros químicos del agua*

Están relacionados con la capacidad del agua para disolver diversas sustancias y dan información extensa de la naturaleza de las especies químicas presentes en el agua (Samboni *et al.*, 2007).

pH.- Indica la concentración de iones hidrógeno presentes en una disolución. Este parámetro controla las reacciones químicas y biológicas en el agua. La contaminación de un ecosistema acuático rompe el equilibrio ecológico, lo cual provoca cambios de pH (Roldan 2003).

Conductividad eléctrica (C.E).- Es una expresión de presencia de iones en disolución (DOF 1980b). La conductividad eléctrica de la mayoría de las aguas dulces fluctúa entre 10 y 10,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Oxígeno disuelto (OD).- El oxígeno del aire se difunde en el agua por la turbulencia en los ríos, resulta además de las actividades fotosintéticas y respiratorias de la flora y fauna en el sistema (Gaur 2008). Los valores normales de OD varían entre los 7 y 8 mg/L que son afectados por la temperatura, así, a mayor temperatura menor solubilidad y viceversa. La solubilidad del oxígeno está también afectada por la salinidad (Roldan 2003; Chávez 2010).

Demanda química de oxígeno (DQO).- Es la cantidad de materia orgánica en un cuerpo de agua susceptible de ser oxidada por un oxidante fuerte (DOF 2001c).

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).- Es una estimación de la cantidad de oxígeno que requiere una población microbiana heterogénea para oxidar la materia orgánica de una muestra de agua (DOF 2001d).

Sólidos.- Se trata de toda la materia suspendida y disuelta en el agua.

- Sólidos disueltos totales (SDT). Comprenden las sales inorgánicas principalmente de, Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^- y HCO_3^- y pequeñas cantidades de materia orgánica que están disueltas en el agua.
- Sólidos suspendidos totales (SST). Constituidos por sólidos sedimentables, sólidos y materia orgánica en suspensión y/o coloidal (DOF 2001h).
- Sólidos totales. Es la suma de los SST y SDT (Metcalf y Eddy 1994).
- Sólidos sedimentables. Es la cantidad de sólidos que en un tiempo determinado se depositan en el fondo.

Dureza total.- Se debe principalmente a la presencia en el agua de sales de calcio y magnesio (Gaur 2008). Se expresa como mg/L de CaCO_3 y sus valores en el agua dulce se encuentran generalmente entre 10 a 300 mg/L (Altamirano 2013).

Alcalinidad.- Es la capacidad del agua para neutralizar ácidos fuertes y se debe principalmente a contenido de CO_3^- , HCO_3^- e OH^- (Armienta *et al.* 1994). Los valores de alcalinidad en el agua están fuertemente asociados a los valores de pH y a los sólidos disueltos (Manahan 2001).

Componentes mayores

Calcio: Suele ser el catión más abundante en la mayoría de las aguas naturales, debido a su amplia difusión en rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas (Manahan 2007) Su concentración en agua dulce varía de 10 a 250 mg/L e incluso alcanza 600 mg/L (Pérez 2008).

Magnesio: Procede de la disolución de rocas carbonatadas, evaporitas y de la alteración de silicatos ferromagnesianos. En aguas naturales el contenido de Mg no suele sobrepasar los 40 mg/L (Cuéllar *et al.* 2012).

Sodio: Es liberado por la meteorización de SiO_4^{4-} tipo albita y la disolución de rocas sedimentarias de origen marino y depósitos evaporíticos (Cuéllar *et al.*, 2012). En el agua dulce su concentración varía de 10 a 100 mg/L (Rodier 1998).

Cloruros: Es uno de los aniones inorgánicos presentes en las aguas naturales (Sierra *et al.* 2007). La concentración de cloruros en aguas dulces oscila entre 10 a 250 mg/L (Hem 1992).

Sulfatos: Proceden de rocas sedimentarias, sobre todo yeso y anhidrita. Son sales que en las aguas dulces contienen de 2 a 150 mg/L (Rigola 1990).

Bicarbonatos y carbonatos: La existencia de estos aniones en el agua se debe principalmente a la presencia de CO_2 procedente de la atmósfera y del suelo y por la disolución de rocas carbonatadas. La concentración total de carbonatos y bicarbonatos varía de 5 a 500 mg/L como CaCO_3 (Rodier 1998).

Fosfatos: El fósforo junto con el nitrógeno, son nutrientes fundamentales de todos los seres vivos, de forma que contenidos superiores a los naturales en las aguas pueden producir eutrofización. Se encuentra en rocas fosfatadas y cerca de 200 minerales más (Avecillas, 2014).

Nitrógeno como nitrato, nitrito y amonio: El nitrógeno atmosférico llega al agua por descargas eléctricas y por la acción reductora de ciertas bacterias. En un medio acuático natural se espera encontrar la mayoría del nitrógeno como nitratos, en concentraciones menores de 10 mg/L.

Metales pesados y arsénico

Cadmio: Es un metal pesado no esencial, poco abundante en la corteza terrestre y resulta tóxico para todos los organismos vivos (Rodríguez *et al.*, 2008).

Cromo: Se encuentra en concentraciones menores de 10 mg/L en agua naturales no contaminadas mientras que la concentración en los sedimentos es más variable en valores entre 8 y 21 mg/kg (Flores 2001).

Cobre: Puede encontrarse en el agua natural en concentraciones inferiores a 1 mg/L (Rodier 1998). Algunas entradas de cobre al ambiente es a través de aguas residuales domésticas, quema de combustible fósil y desechos, la producción del suelo, esparcido por el viento, volcanes, vegetación en descomposición, incendios forestales, etc. (Pérez 2005).

Hierro: Está presente en aguas dulces naturales en concentraciones de 0.5 a 50 mg/L y se encuentra en la corteza terrestre de manera natural (OMS 2003).

Níquel: Se encuentra en casi todos los suelos. Se considera un nutriente esencial (Pérez 2005). En cuerpos de agua dulce, los valores medios oscilan entre 0.002 y 0.01 mg/L (Stokes, 1981).

Plomo: La solubilidad de este metal en el agua es función del pH. En agua cuyo pH se encuentra cerca de 6.5 con una alcalinidad inferior a 30 mg/L CaCO_3 se puede encontrar hasta casi 1 mg/L, mientras que para un agua cuya alcalinidad sobrepasa 60 mg/L CaCO_3 y tiene pH cercano a 8, la concentración de Pb disuelto no sobrepasa los 0.1 mg/L (Rodier 1998).

Zinc: Dependiendo del tipo de suelo, algunos compuestos de Zn pueden movilizarse al agua subterránea y a lagos, arroyos y ríos. Los ríos contienen generalmente entre 0.005 y 0.01 mg/L de Zinc.

Arsénico: Los compuestos orgánicos de As son menos tóxicos que sus sales minerales (Rodier 1998). En estado natural se libera al medioambiente por erupciones volcánicas o la lixiviación de minerales que lo contienen; mientras que antropogénicamente, es liberado por procesos industriales, combustibles fósiles y plaguicidas principalmente (Pérez 2005; Schmitt 2004).

Especiación química

Los metales pueden encontrarse en el agua formando diferentes especies químicas, cuya formación depende del pH, del potencial redox y de la presencia y concentración de otras sustancias orgánicas e inorgánicas en el agua, así como de la capacidad del metal para enlazarse (Tepavitcharova 2008), por lo que se considera importante la comprensión y predicción del comportamiento y el impacto que éste pueda tener en cualquier sistema ambiental (Tipping *et al.* 1998).

5.1.3. Parámetros microbiológicos del agua

La NOM-127-SSA1-1994 establece dentro de este parámetro la determinación de características microbiológicas debidas a microorganismos nocivos para la salud; y menciona la determinación de organismos coliformes totales y fecales, principalmente *Escherichia coli*.

5.2. Calidad de sedimentos

Se denomina sedimento a todo tipo de depósito formado por partículas de naturaleza mineral o biológica transportado por fluidos, especialmente el agua y el aire. Los sedimentos se acumulan en el fondo de un cuerpo de agua y son de gran valor para el estudio de esos ecosistemas, dado que conservan el registro histórico de lo acaecido en el lugar. Las sustancias tóxicas o contaminantes vertidas al agua, tienden a depositarse en el sedimento y, si este se remueve, pueden volver a quedar suspendidas, permaneciendo nuevamente a disposición (Mariani y Pompêo 2008). Además, variaciones de pH, OD, salinidad y de las propiedades redox de las corrientes de agua también pueden provocar movilización de especies químicas acumuladas en los sedimentos, magnificando incluso su efecto tóxico, tal como es el caso de los metales pesados (Herrera *et al.* 2012), los cuales son considerados entre los contaminantes más serios para los sistemas acuáticos, debido a que no son eliminados por procesos naturales como los contaminantes de origen orgánico y pueden incorporarse a las cadenas alimentarias por medio de procesos de bioacumulación, bioconcentración o biomagnificación. Los metales más tóxicos como Hg, Cd, Pb y As se acumulan en los sedimentos donde pueden transformarse a

formas químicas biodisponibles, resuspenderse hacia la columna de agua y producir intoxicaciones crónicas o agudas en los organismos (Tejeda *et al.* 2005).

Los metales pesados se acumulan principalmente en los sedimentos superficiales de los ríos, aunque pueden encontrarse concentraciones relativamente elevadas a una profundidad de 15 cm y guardan una estrecha relación con el tamaño de las partículas que constituyen el sedimento (limo, arcilla y arena) y con la cantidad de materia orgánica sedimentaria, alterando el equilibrio ecológico y biogeoquímico del ecosistema (Acosta *et al.* 2002). Por ello, muestras de sedimentos tomadas en puntos muy próximos, pueden presentar contenidos en metales diferentes, siendo la textura del sedimento la principal responsable de tales discrepancias. En limos y en las fracciones finas de arenas las concentraciones de metales generalmente disminuyen (Rojas 2011).

5.3. Calidad del agua y su efecto en los anfibios

La disminución de los anfibios es un tema importante, las causas pueden variar de una región a otra e incluso entre diferentes poblaciones de la misma especie (Lannoo 2005). Entre las causas más importantes, se encuentran, la alteración del hábitat, la contaminación ambiental y la aparición de enfermedades infecciosas, así como su dependencia de los cuerpos de agua y el contacto con sedimentos (Marco 2004; Henao 2011). Por tanto el agua, determina el aumento o disminución de cada especie de anfibio, pues de ella dependen para realizar todos los estadios del proceso de la reproducción (Quiroz y Rodríguez 2006).

Otro factor importante es la presencia de sustancias tóxicas en anfibios, pues tienen una piel delgada y permeable que absorbe rápidamente los contaminantes; sus huevos también son muy permeables (Mattoon 2000). Los plaguicidas explican también la reciente aparición de deformidades en los anfibios (aunque no hay una relación clara entre las deformidades y los declives). Los fertilizantes, por otro lado al ser altamente utilizados pueden estar creando problemas insospechados. Investigadores han descubierto que los renacuajos de la rana manchada de Oregón (*Rana pretiosa*) se envenenan en el agua con niveles de nitratos y nitritos más bajos

de los considerados admisibles para el agua potable por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de Estados Unidos. (Los fertilizantes son convertidos en nitratos y nitritos por los microorganismos) (Mattoon 2000). En cuanto a otros contaminantes, los detergentes o productos de limpieza y metales pesados, son compuestos químicos que han logrado despertar una creciente preocupación de los grupos gubernamentales y organizaciones privadas sobre la declinación de las poblaciones de anfibios, así como el efecto del daño de muchos químicos contaminantes, tanto orgánico e inorgánicos, en el ciclo de vida de los anfibios (Quiroz y Rodríguez 2006).

5.4. Estatus de *Ambystoma ordinarium*

En lo que respecta a la anfibiofauna mexicana es considerada seriamente amenazada y aún más alarmante es el hecho de que las salamandras mexicanas están más amenazada que los anuros; 69.1% de especies de salamandras en comparación del 48.3% de especies de anuros han sido evaluadas en una categoría de riesgo por la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) (Ramírez 2014).

Las especies del genero *Ambystoma* no son la excepción, al ser endémicas o incluso microendémicas las hace particularmente vulnerables (Shaffer 1989; Casas *et al.* 2004). En el caso de la salamandra michoacana *A. ordinarium* se encuentra enlistada en la categoría “en peligro” por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUNC 2015) y a nivel nacional, enlistada como “sujeta a protección especial” (Diario Oficial de la Federación 2010).

6. ANTECEDENTES

En cuanto a la calidad del agua y sedimentos, vinculados con las necesidades de los organismos acuáticos en el caso de los anfibios es aún escasa, por lo que diversos autores han puesto de manifiesto la importancia que presentan este tipo de estudios (Fernández *et al.* 2010).

La información sobre los *Ambystomas* michoacanos se relaciona básicamente con aspectos taxonómicos e información de su biología: Alvarado *et al.* (2003), Realizaron un estudio sobre la biología alimentaria de una población de *A. ordinarium* en San Miguel del Monte Morelia, Michoacán encontrando que su dieta la constituye numéricamente el orden Trichoptera con un 48.4% y en mayor volumen lo ocupa los Orthoptera con un 37.7% siendo el componente trófico más importante en la dieta de estos organismos las larvas de tricópteros. Huacuz (2008) reporta que los factores causantes del declive de las poblaciones de *Ambystoma* son: acidificación del medio, urbanización, toxicidad por metales pesados, enfermedades emergentes, introducción de especies alóctonas, radiación ultravioleta, contaminación química, destrucción o modificación del hábitat y efectos sinérgicos de factores.

García (2003) y Silva (2011) realizaron estudios ligados al hábitat de la salamandra *Ambystoma ordinarium* en la microcuenca del río Chiquito de Morelia, encontrando que esta salamandra no tolera altos índices de perturbación (aporte de sedimentos, disminución de la transparencia, etc.). Los microhábitats ocupados por la salamandra presentan mayor porcentaje de sombra, menor temperatura de fondo, menor flujo de la corriente y mayor profundidad, además se pueden localizar individuos de *A. ordinariim* en sus diferentes edades, en cualquier parte del arroyo sin importar el sustrato (arcilloso, rocoso, pedregoso, con vegetación sumergida, con raíces o en cavidades).

Soto (2012) registró parámetros de calidad del agua en 32 localidades en diferentes municipios del estado de Michoacán según el ámbito de distribución geográfica de *A. ordinarium*, encontrando a la salamandra en sitios con menor temperatura de fondo,

menor velocidad de la corriente, menor concentración de oxígeno disuelto, así como, menor porcentaje de rocas, mayor profundidad y mayor porcentaje de sombra.

Arreola, (2014) evaluó la concentración de metales pesados, determinó parámetros fisicoquímicos y biológicos en agua subterránea de Ciudad Hidalgo. Encontrando que en algunos sitios exceden los límites máximos permisibles establecidos por la NOM-127-SSA1-1994, únicamente para coliformes fecales, pH y hierro. En cuanto a la especiación química de arsénico y hierro, se encontró que el arsénico presenta estado de oxidación (V), siendo la especie química predominante H_2AsO_4^- , el hierro presenta estado de oxidación (III) y su especie predominante es $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$ para todos los sitios de estudio.

Reyes, (2015) determinó la concentración de metales pesados y arsénico, en arroyos en los municipios de Charo y Queréndaro donde se ha registrado *A. ordinarium*. Señalando que esta salamandra prefiere bajas temperaturas y aguas acidas. Tolera bajos niveles de oxígeno disuelto y baja conductividad eléctrica del agua. Las concentraciones de metales pesados (Cd, Pb, Ni, Zn, Cr, Cu y As) estuvieron por debajo del límite de detección del método analítico.

7. METODOLOGÍA

Área de estudio: Se seleccionaron ocho arroyos para la realización de este estudio en los municipios de Charo, Hidalgo y Morelia, donde históricamente se ha observado la presencia de la salamandra de montaña *A. ordinarium*; de los cuales cuatro arroyos aún cuentan con la presencia de la salamandra y cuatro de ellos carecen de este anfibio. Los arroyos fueron evaluados previamente mediante el Protocolo Rápido para Evaluar la Calidad Visual del Hábitat (PRECVH) (Barbour et al. 1999). Este método considera cuatro categorías de calidad del hábitat a través de otorgarles un valor numérico: pobre (0-59 puntos), marginal (60-112 puntos), subóptimo (113-165 puntos) y óptimo (166-200 puntos) (Figura 1 y Tablas 1 .y 2).

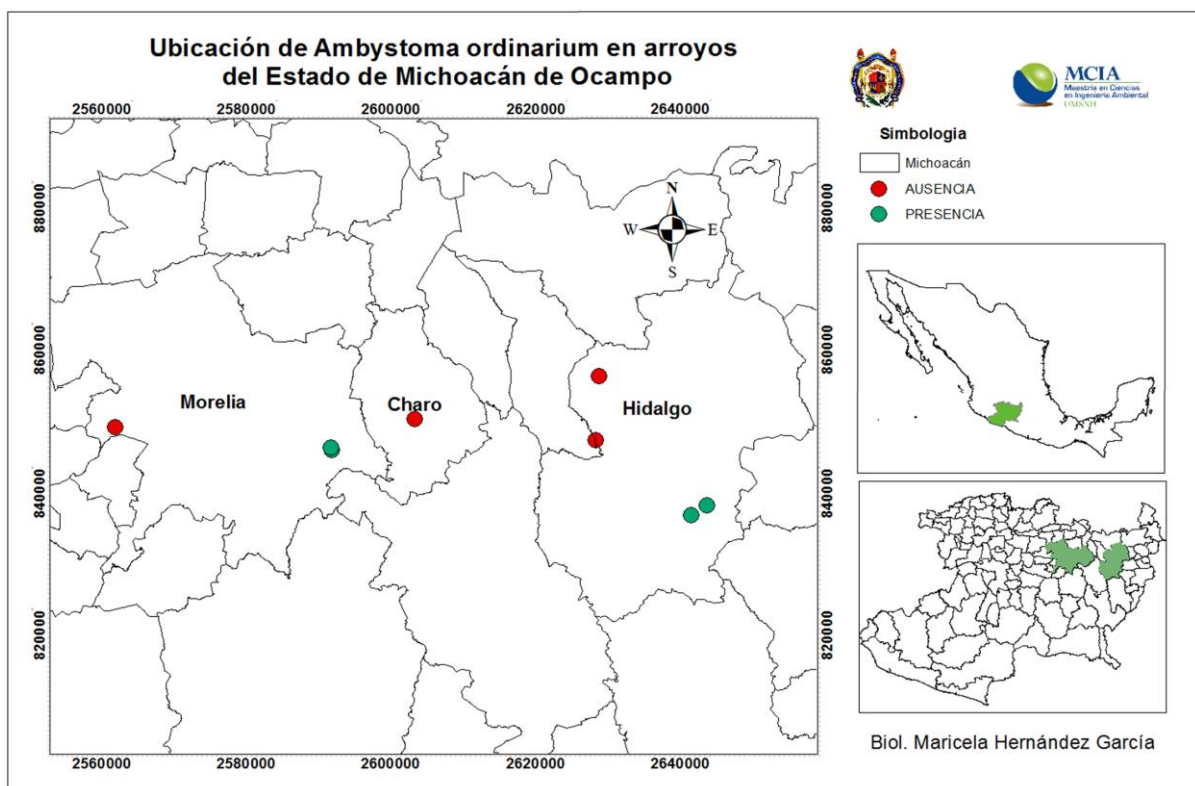


Figura 1. Ubicación histórica de *Ambystoma ordinarium* en ocho arroyos del Estado de Michoacán.

Tabla 1. Arroyos con presencia de *Ambystoma ordinarium* en Michoacán

Municipio	Arroyo	Nomenclatura	Categoría	Latitud (N)	Longitud (W)
Morelia	Río Bello	RBC	Óptimo	19° 36' 39.05"	101° 7' 25.5"
Morelia	Agua Zarca	AGZ	Subóptimo	19° 36' 52.16"	101° 7' 29.71"
Hidalgo	Agostitlán	AGO	Subóptimo	19° 32' 10.35"	100° 37' 40.11"
Hidalgo	Carindapaz	CPZ	Subóptimo	19° 31' 26.04"	100° 37' 29.63"

Tabla 2. Arroyos con ausencia de *Ambystoma ordinarium* en Michoacán

Municipio	Arroyo	Nomenclatura	Categoría	Latitud (N)	Longitud (W)
Hidalgo	Mil Cumbres	MC	Marginal	19° 37' 15.34"	100° 46' 27.11"
Hidalgo	Cieneguillas	CIEN	Marginal	19° 41' 59.42"	100° 46' 7.21"
Morelia	Iratzio	IRA	Pobre	19° 38' 31.45"	101° 24' 36.79"
Charo	Pino Real	PR	Pobre	19° 39' 1.04"	101° 0' 47.61"

Toma de muestras de agua: Se realizaron tres campañas de colecta de muestras, entre los meses de abril a noviembre del 2015 (en arroyos con ausencia sólo se tomó muestra en época de precipitación pluvial). Las muestras de agua (físicoquímicos,

metales pesados y coliformes fecales) se realizaron considerando los criterios establecidos para cada parámetro tanto de la Norma Oficial Mexicana (DOF, 1980a) como del manual APHA-AWWA-WPCF (1995) y métodos de la EPA (2001). La temperatura, pH, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto se determinaron *in situ*, con ayuda de un Multiparamétrico marca YSI 85 y un potenciómetro marca PC 18. Los componentes en el agua se determinaron tanto por espectrofotometría de absorción atómica (AAS) como por pruebas convencionales de laboratorio (Tabla 3). Los parámetros que se determinaron en el agua son: Turbiedad, sólidos (ST, SST, SDT, SS), alcalinidad total, dureza total, DQO, DBO₅, cationes (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺), aniones (Cl⁻, SO₄²⁻, PO₄³⁻, NO₃⁻, NH₃⁺, CO₃²⁻ y HCO₃⁻), metales pesados (Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, Zn y As) y coliformes fecales.

Tabla 3. Metodología indicada por la Normatividad Mexicana para cada parámetro.

Parámetros	Normatividad Mexicana
Turbiedad	DOF, 2001b
Dureza total	DOF, 2001g
Alcalinidad total	DOF, 2001f
Cationes y aniones	DOF. 1981, DOF. 2001i, DOF.2001e, DOF, 2001j, y APHA-AWWA-WPCF 1995
Sólidos	DOF 2001h y APHA-AWWA-WPCF, 1995
DQO	DOF 2001c
DBO ₅	DOF 2001d
Metales pesados y As	DOF, 2001k y APHA-AWWA-WPCF 1995
Coliformes fecales	DOF, 1994

Se realizó un balance iónico que nos permite comprobar la exactitud de los resultados de los análisis químicos mediante un cálculo aritmético (Anexo E), la modelación de la especiación química de los metales pesados predominantes mediante el programa visual Minteq 3.0 y la determinación del tipo de agua en la zona por medio de la construcción del diagrama de Piper, para su realización se utilizó el programa OriginPro 9.1.

Análisis estadístico: Se llevó a cabo un análisis multivariado de componentes principales (ACP) con el programa JMP 6.0, para los parámetros fisicoquímicos,

metales pesados y coliformes fecales con la finalidad de comprobar y/o determinar la relación que existe entre ellos y un análisis ANOVA por una vía y una prueba de rangos Mann-Whitney-Willcoxon con todas las variables entre época y entre la presencia-ausencia de *Ambystoma ordinarium*.

Toma de muestras de sedimentos: Se determinaron los parámetros físicos (color y tamaño de partícula), químicos (pH) y metales pesados en los sedimentos tomando como referencia los métodos establecidos por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, 2001) y la Norma Oficial Mexicana para análisis de suelos (DOF, 2000a) ya que no existen especificaciones para análisis de sedimentos en la normatividad mexicana (Anexo E). Todas las muestras de agua y sedimentos se mantuvieron a 4 °C a partir de la toma, durante su traslado al laboratorio y hasta el momento de llevar a cabo los análisis correspondientes (DOF 1980a).

Análisis estadístico: Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de rangos Mann Whitney-Wilcoxon para determinar las diferencias de los metales pesados y arsénico entre época y entre la presencia-ausencia de *Ambystoma ordinarium*.

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1. Agua

Los promedios generales de los parámetros de calidad del agua en los ocho arroyos de estudio se muestran en las Tablas 12 a 15 del Anexo A.

8.1.1. Parámetros *in situ*

Los parámetros fisicoquímicos de calidad del agua analizados, como la temperatura (Figura 2), estuvieron dentro del intervalo señalado por Huacuz (2008) para esta especie de 10 a 20 °C, a excepción del arroyo Iratzio, observándose además las temperaturas más elevadas en época de precipitación pluvial. Se ha reportado que temperaturas menores propician un ambiente de inactividad, disminución del

metabolismo y el apetito, mientras que un incremento de la temperatura conduce a un aumento del metabolismo y estrés en los organismos (Ahumada 2004).

En los arroyos el pH es alcalino y tiende a la neutralidad en los últimos meses de precipitación pluvial (Figura 3). Se carece de información acerca de cuál es el intervalo óptimo de pH para *A. ordinarium*, pero se ha registrado para localidades históricas de colecta de la salamandra por Anderson & Worthington (1971) en Puerto Garnica y en el Parque Nacional José M^a Morelos en 1967, de pH 7.5 y en Agua Zarca (pH 5 a 6) por Gracia (2003) y Huacuz (2008) reportó pH 6 a 7.5, esta autora a la vez reporta poblaciones de *Ambystomas loticos* en pH más altos (8-9), mientras que en pH 6 y menores no se encontraron poblaciones. En general se ha observado que altas concentraciones de alcalinidad o acidez en los ambientes acuáticos pueden causar afectación a huevos y larvas de *Ambystoma* (Huacuz 2008). Por lo que para este estudio los arroyos Rio Bello y Agua Zarca superan los valores máximos reportados en alcalinidad.

La conductividad eléctrica, explica la capacidad del agua de conducir una corriente eléctrica, midiendo los iones libres existentes, por lo que esta medida representa las concentraciones de los minerales disueltos en el agua. En general para los *Ambystomas* mexicanos se han establecido valores de conductividad eléctrica de 25 a 120 $\mu\text{S}/\text{cm}$ que han sido asociados al proceso metamórfico de los individuos (Shaffer, 1989). Altas concentraciones (mayores de 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$) afectarían a los procesos de desarrollo y fisiológicos de los organismos (Duelman & Trueb, 1994). Para *A. ordinarium* los valores de conductividad eléctrica en localidades históricas han sido observadas en un intervalo de 122.39 a 162.6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ por Soto (2012) y en Agua Zarca de 6.42 a 114 $\mu\text{S}/\text{cm}$ por García (2003) quien registra mayor supervivencia de crías (44%) a 39 $\mu\text{S}/\text{cm}$, que con una conductividad de 68 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (12%). Los arroyos presentaron valores de conductividad eléctrica mayores a los mencionados por García (2003) y superiores a los reportados por Soto (2012) en los arroyos Iratzio y Pino Real (Figura 4).

Se ha mencionado que algunas especies de *Ambystoma* pueden ser tolerantes a bajas concentraciones de oxígeno disuelto, no obstante la hipoxia crónica puede afectar el desarrollo de los individuos en cualquiera de las etapas del desarrollo, en donde concentraciones menores o iguales de 3.8 mg/L de oxígeno disuelto producen en *Ambystoma* anomalías en embriones, valores menores de 3.3 mg/L la eclosión y la supervivencia de crías decrece por lo que las concentraciones de oxígeno disuelto de 5 mg/L representan el límite óptimo para que los organismos lleven a cabo sus procesos vitales (Mills *et al.* 2001) en altas concentraciones de oxígeno disuelto (8.6 mg/L) Huacuz (2008) no reporta poblaciones de *A. ordinarium*. De acuerdo con los resultados obtenidos los arroyos presentan concentraciones menores al valor óptimo de oxígeno disuelto o por lo menos en alguna de las campañas de muestreo, excepto en el arroyo Cieneguillas (Figura 5).

En esta investigación se presentó cambios, debido a la variación de la temperatura respecto al contenido de oxígeno disuelto en la mayoría de los arroyos, excepto para los arroyos Carindapaz y Agostitlán, donde la relación entre ambos parámetros se mantuvo constante (Figura 2 y 5).

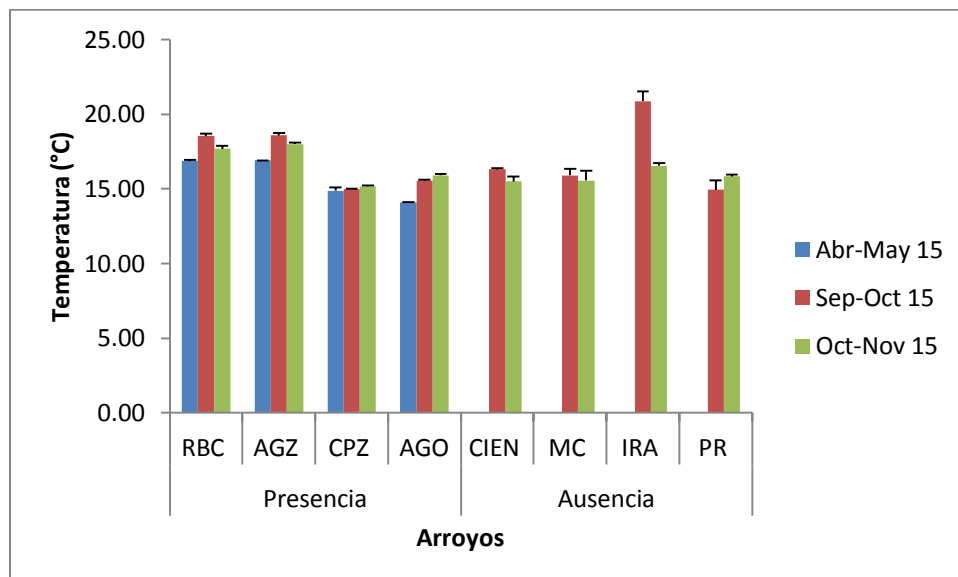


Figura 2. Valores de temperatura expresados en (°C) en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio.

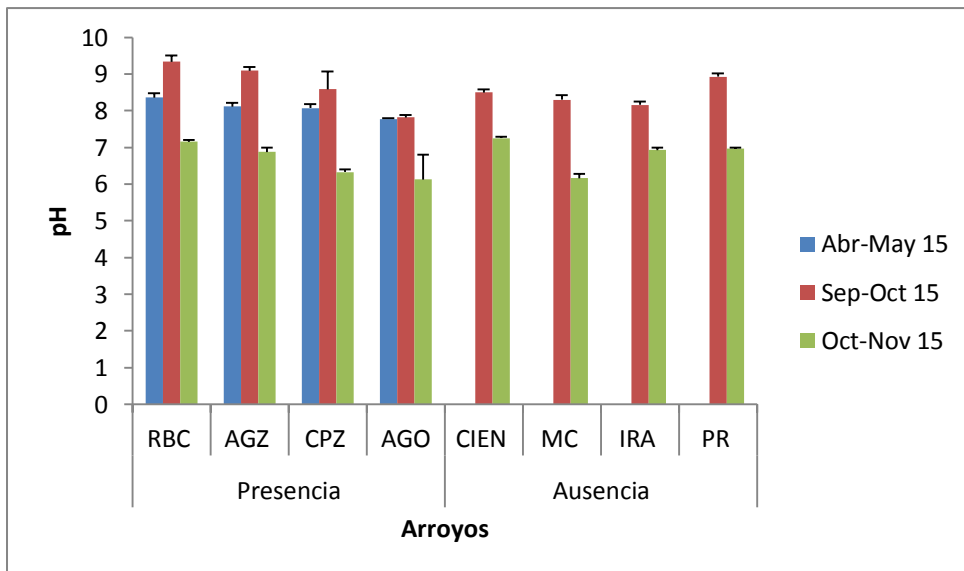


Figura 3 Valores de pH en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio.

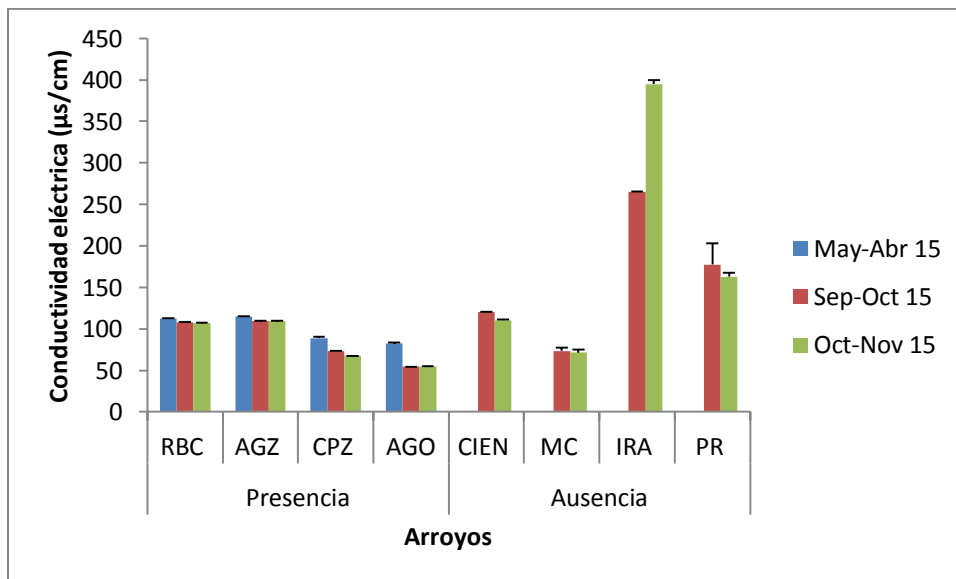


Figura 4. Valores de conductividad eléctrica expresados en ($\mu\text{S}/\text{cm}$) en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio

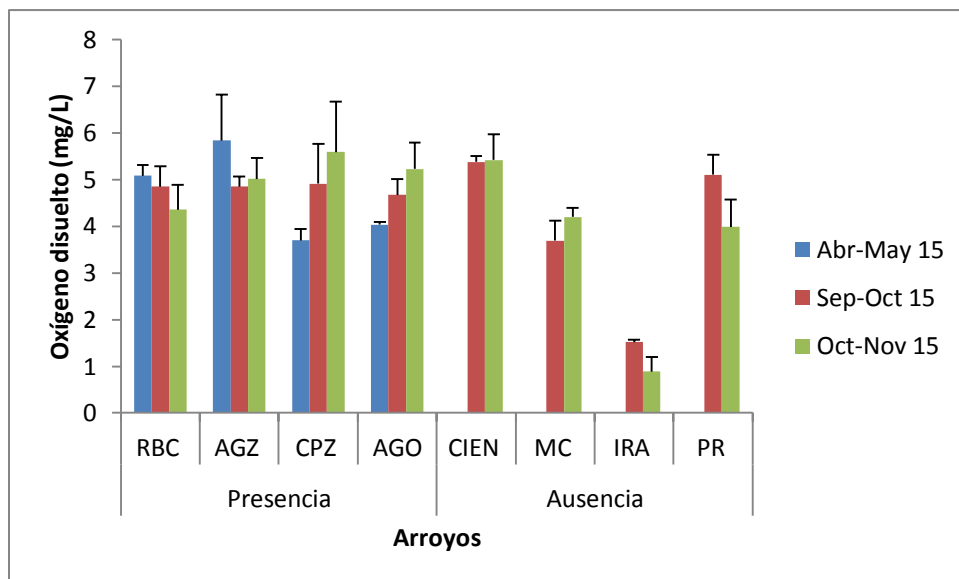


Figura 5. Concentraciones de oxígeno disuelto expresados en (mg/L) en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio.

8.1.2. Parámetros fisicoquímicos

Se puede apreciar en casi todos los arroyos la relación inversa que existe entre las concentraciones de oxígeno disuelto y DQO (Figura 5 y 6). De la misma manera, se aprecia la relación entre DQO y DBO₅ (Figuras 6 y 7), observándose en todos los arroyos que la DQO es siempre mayor a la DBO₅, debido a que la primera representa la capacidad de oxidación tanto de compuestos biodegradables como no biodegradables. De acuerdo con la clasificación de calidad del agua de CONAGUA DQO (20 < DBO₅ ≤ 40) y DBO₅ (6 < DBO₅ ≤ 30), los arroyos presentan un agua aceptable, con indicios de contaminación (Mejía *et al.* 2006), indicando un decaimiento de los residuos orgánicos que consume oxígeno.

La concentración promedio de DQO reportado por González y colaboradores (2006) en el arroyo Agua Zarca fue de 0.82 mg/L y 0.48 mg/L DBO₅; Arreola (2014) registró concentraciones de DBO₅ en un rango de 1 a 1.80 mg/L en el arroyo Carindapaz, por lo que todos los arroyos superan notablemente los valores antes mencionados. A mayor DBO₅ el oxígeno se agota más rápido, esto significa que menos oxígeno está disponible para formas más complejas de vida acuática. Las consecuencias de una

alta DBO_5 son las mismas que estas para bajo oxígeno disuelto: los organismos acuáticos se estresan, sofocan y mueren (MILACRON 2004).

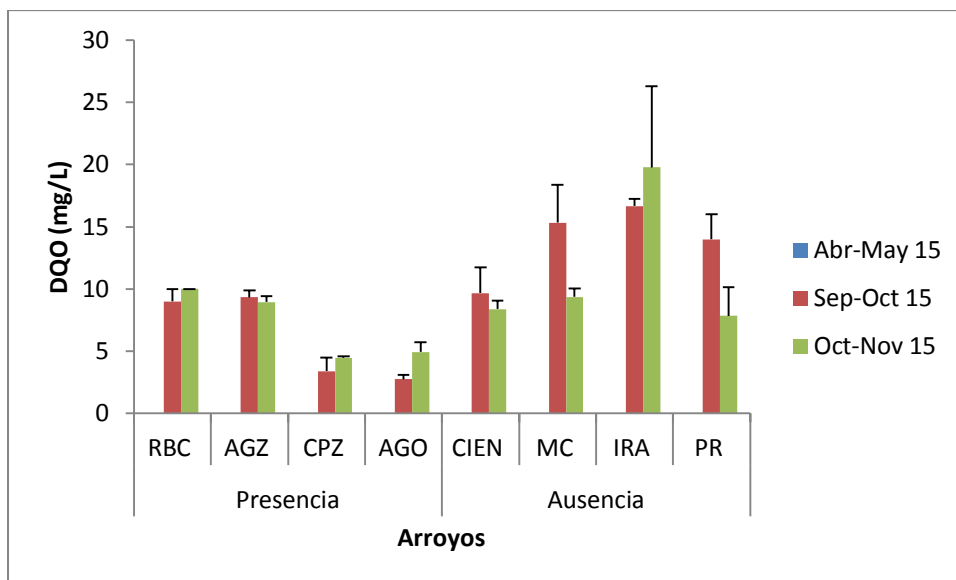


Figura 6 Concentraciones de demanda química de oxígeno expresados en (mg/L) en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio.

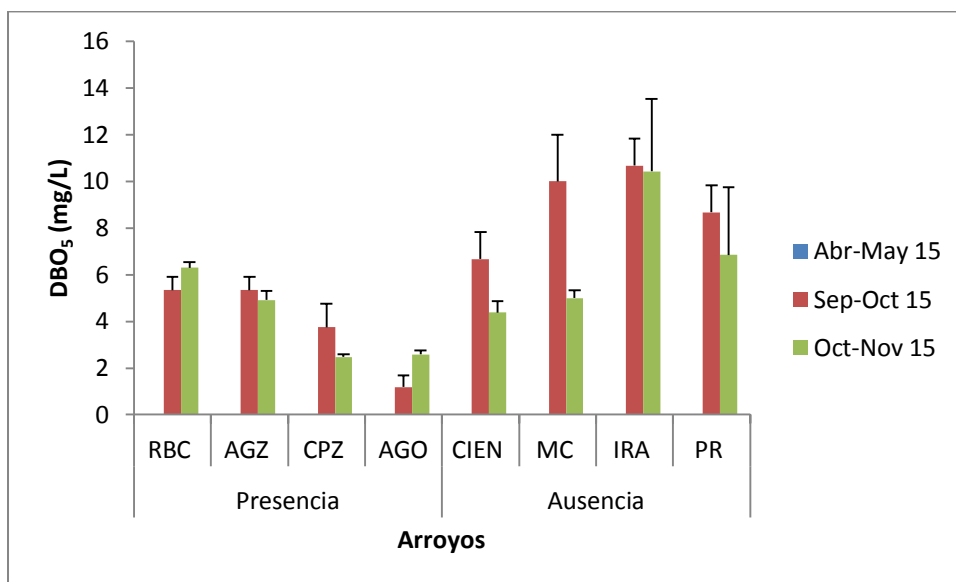


Figura 7 Concentraciones de demanda bioquímica de oxígeno expresados en (mg/L) en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio

Se ha documentado que elevados niveles de turbiedad obstaculiza la visibilidad del hábitat y se ha demostrado que puede estimular la proliferación de bacterias, lo que puede afectar a los organismos que viven en el cuerpo de agua (Marcó 2004). Sánchez (2011) registró en los arroyos Agua Zarca y Rio Bello una concentración promedio de turbiedad de 6.10 y 22.66 UTN y en el arroyo Carindapaz en un intervalo de 1 a 3 UTN por Arreola (2014). Realizada la comparación con el resto de los arroyos no superan el valor más elevado reportado por Sánchez y se observa un aumento en los valores de turbiedad en época de precipitación pluvial.

Los sólidos totales (ST) que engloba a los SDT y SST (Figuras 9 a 11) presentan tendencias similares, ubicando las concentraciones más elevadas en los arroyos Iratzio y Pino Real, los cuales superan los valores reportados por Arreola (2014) quien reporta concentraciones de ST en el arroyo Carindapaz de 118 a 137 mg/L. Para *A. ordinarium*, se ha observado que a mayor concentración de iones menor grosor de la capsula gelatinosa de los huevos que provee menor capacidad de amortiguamiento de la temperatura y menor protección contra la depredación, que redundan en una menor sobrevivencia, esto último apoyado por (García 2003) quien presentó concentraciones de ST en un rango de 17 a 72 mg/L.

Respecto a los sólidos sedimentables se presentaron las concentraciones más elevadas en los arroyos Agua Zarca en época de estiaje e Iratzio en época de precipitación pluvial (Figura 12).

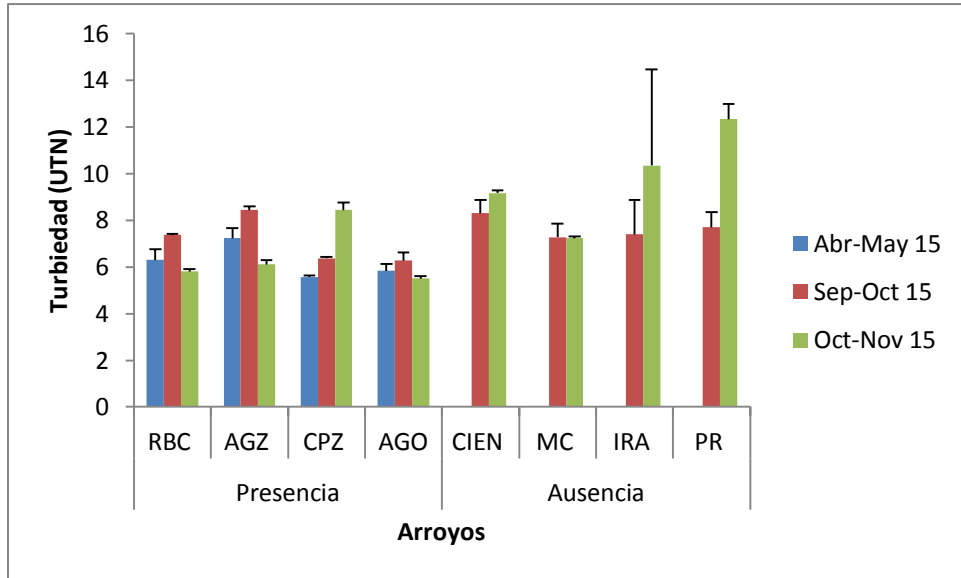


Figura 8 Valores de turbiedad expresados en (UTC) en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio.

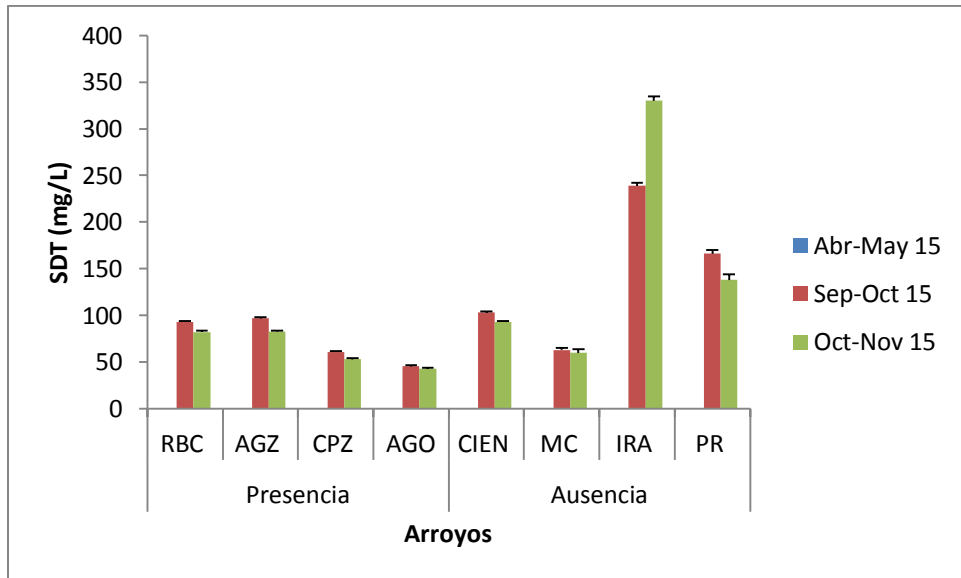


Figura 9. Concentraciones de sólidos disueltos totales expresados en (mg/L) en los ocho monitoreados durante todo el periodo de estudio.

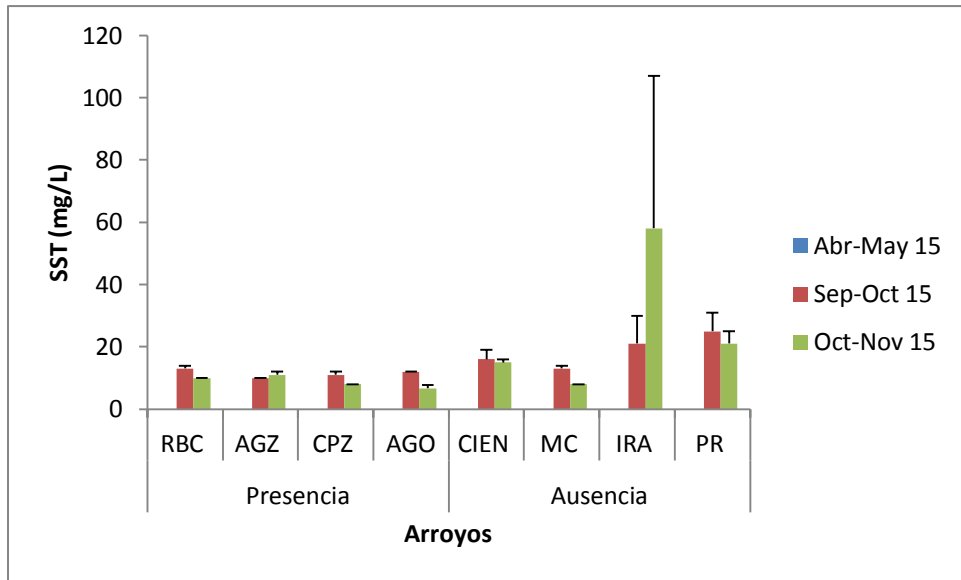


Figura 10. Concentraciones de sólidos suspendidos totales expresados en (mg/L) en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio.

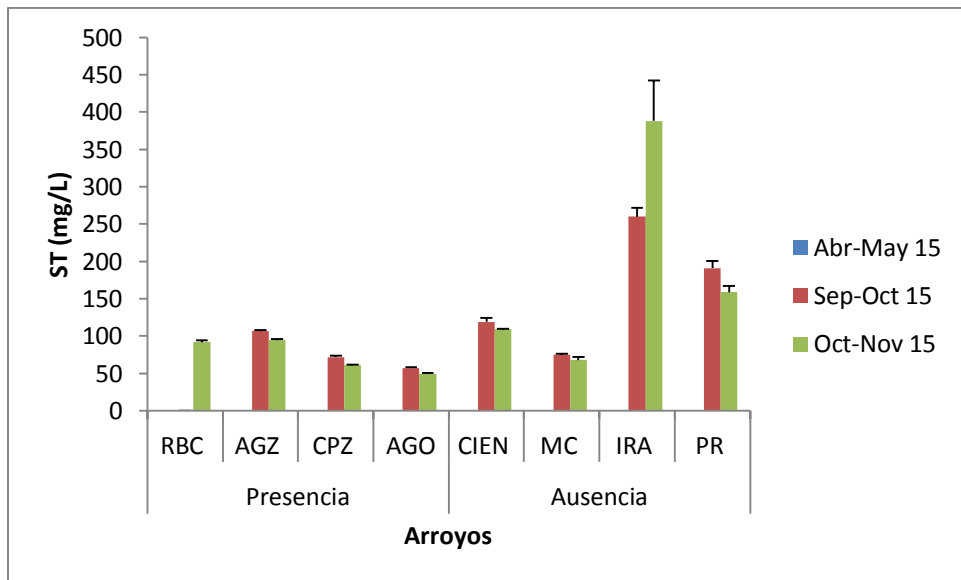


Figura 11. Concentraciones de sólidos totales expresados en (mg/L) en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio.

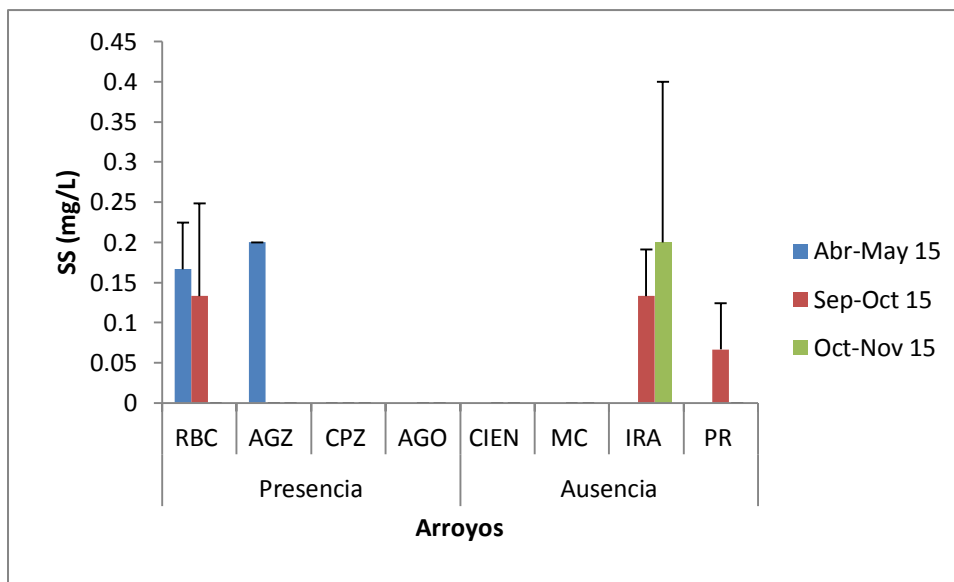


Figura 12. Concentraciones de sólidos sedimentables expresados en (mg/L) en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio.

Al ser la dureza un parámetro que está directamente relacionado con la alcalinidad, el cual tiene un carácter natural y corresponde al lavado de los terrenos, se encontró que los valores de la dureza total obtenidos en este estudio fueron menores a los de la alcalinidad para la mayoría de los arroyos (Figura 13 y 14). Indicando que el contenido de calcio y magnesio fue menor a los bicarbonatos que se forman.

Se observó además la disminución en los valores de dureza total en los arroyos en época de precipitación pluvial, excepto para el arroyo Iratzio los cuales se incrementaron (Figura 13). González y colaboradores (2006) registraron en el arroyo Agua Zarca una dureza de 17.60 mg/L; Huacuz (2008) registró un valor de 2 a 11 mg/L en el arroyo Iratzio; Sánchez (2011) presentó valores de dureza total en el arroyo Rio Bello de 49 mg/L y Arreola (2014) encontró concentraciones en un intervalo de 51.25 a 54.54 mg/L de dureza total en el arroyo Carindapaz. Se comparó el valor máximo reportado con los arroyos, observándose que Iratzio y Pino Real lo superan visiblemente. En estudios experimentales con *A. mexicanum* el valor óptimo de dureza total es de 107.09 a 285.57 mg/L se ha observado que aguas duras mantienen la integridad de la piel, ayudando además a la disminución de hongos y parásitos el (Armstrong y Malacinsk 1989 en Ahumada 2004; Mena y Servín 2014).

Los valores encontrados de alcalinidad total igualmente disminuyen para la mayoría de los arroyos en época de precipitación pluvial, excepto en Mil Cumbres e Iratzio los cuales se incrementan (Figura 14). Arreola (2014) encontró en el arroyo Carindapaz un valor de 68 a 77 mg/L de alcalinidad total, comparado este valor con los resultados en este estudio, la mayoría de los arroyos presentan concentraciones menores al valor reportado, excepto los arroyos Iratzio y Pino Real.

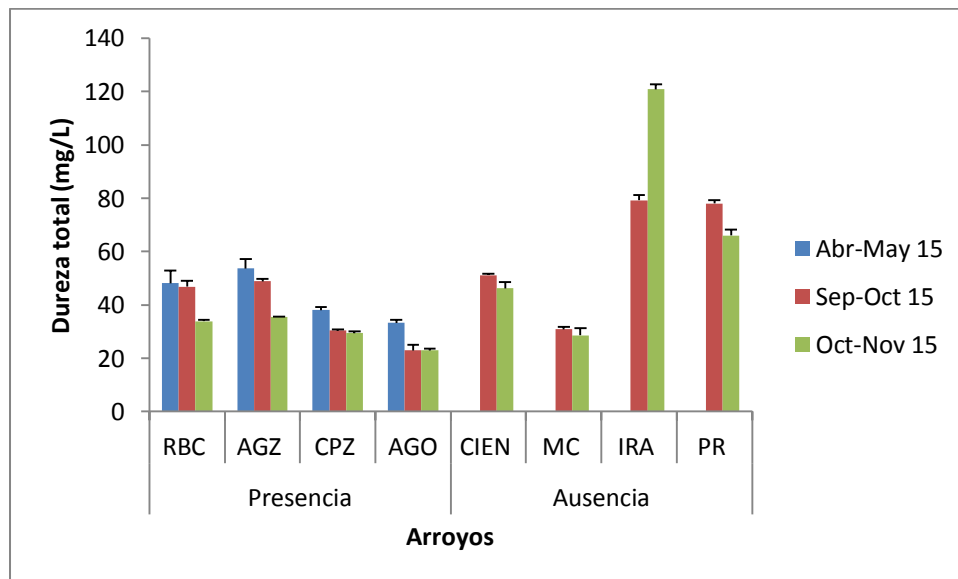


Figura 13. Concentraciones de dureza total expresados en (mg/L) en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio.

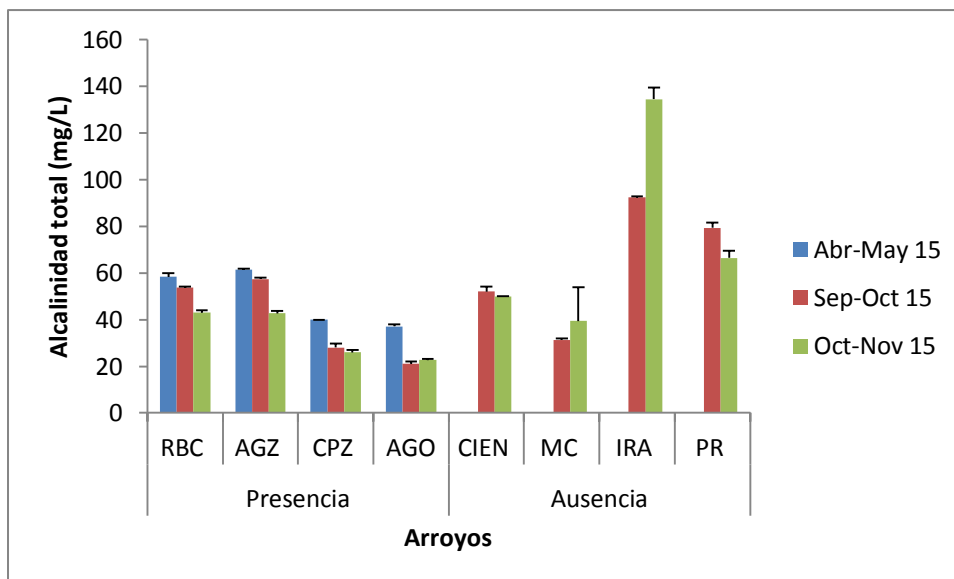


Figura 14. Concentraciones de alcalinidad total expresados en (mg/L) en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio.

Componentes mayores

Se puede observar en las Figuras 15 a 17 que las concentraciones de magnesio y sodio son bajas comparado con el contenido de calcio, indicado que este ion predominante le brinda la mayor dureza al agua en los arroyos, debido al tipo de roca que acontece en el lugar. Las concentraciones de los iones Ca^{2+} , Mg^{2+} y Na^+ en el arroyo Carindapaz, Arreola (2014) las reporta en un intervalo de 9 a 17.3 mg/L Ca^{2+} , de 2 a 6.9 mg/L Mg^{2+} y de 8.2 a 14.2 mg/L Na^+ . Comparado los resultados con la literatura, solo el arroyo Irtazio supera dichos valores para los tres iones principalmente en los últimos meses en época de precipitación pluvial y el arroyo Pino Real para el Mg^{2+} .

Los bicarbonatos (HCO_3^-) se encuentran de manera natural en los sistemas acuáticos, su proporción depende del valor de pH. De acuerdo al sistema de los carbonatos se empiezan a formar a partir de valores ligeramente ácidos de pH, lo que concuerda con los valores de pH en los arroyos (Figuras 3 y 19) y al ser la especie predominante, le brindo la mayor alcalinidad al agua de los arroyos (Figuras 14 y 19). Para este estudio no se encontró concentraciones de CO_3^{2-} .

Las concentraciones de los iones HCO_3^- , Cl^- y SO_4^{2-} en el arroyo Carindapaz han sido reportados por Arreola (2014) en intervalos de 68 a 77 mg/L HCO_3^- , de 5.2 a 7.9 mg/L Cl^- y de 5.8 a 10.2 mg/L SO_4^{2-} , comparando estos valores con los recaudados en este estudio, solo los arroyos Iratzio y Pino Real los superan notablemente en época de precipitación pluvial (Figuras 18 a 20).

En los ecosistemas acuáticos el fosfato orgánico es indispensable para el desarrollo de las cadenas tróficas, sin embargo, su presencia excesiva puede llegar a causar eutrofización. González y colaboradores (2006) registraron en el arroyo Agua Zarca una concentración de 0.69 mg/L PO_4^{3-} y en el 2011 de 1.24 mg/L PO_4^{3-} por Sánchez (2011) quien además reportó en el arroyo Rio Bello un valor de 0.74 mg/L PO_4^{3-} . De acuerdo con lo anterior se puede apreciar un incremento importante de PO_4^{3-} en los arroyos Rio Bello y Agua Zarca para este estudio y comparado el máximo valor reportado con los resultados obtenidos, todos los arroyos lo superan, a excepción de Carindapaz y Agostitlán solo entre los primeros meses de precipitación pluvial (Figura 21).

El N-NH_3 es una de las formas reducidas del nitrógeno que por oxidación puede convertirse fácilmente en nitrato (N-NO_3) la forma más usual y estable. Sánchez (2011) reporta en los arroyos Rio Bello y Agua Zarca una concentración de 0.03 y 0.04 mg/L N-NH_3 y Arreola (2014) encontró en el arroyo Carindapaz una concentración de 0.10 mg/L N-NH_3 y 0.11 mg/L N-NO_3 . De acuerdo con las referencias todos los arroyos presentan valores por encima de los reportados (Figuras 22 y 23). Las fuentes naturales de estos iones son las rocas ígneas, el drenaje del terreno, suelos ricos en materia orgánica y los restos de animales y plantas, son nutrientes esenciales para las plantas acuáticas y sus fluctuaciones estacionales pueden estar causadas por el crecimiento y decaimiento de sus poblaciones. En aguas superficiales el N-NH_3 y N-NO_3^- rara vez exceden de 0.1 mg/L N-NO_3^- concentraciones mayores a 0.2 mg/L indica posibles condiciones de eutrofización y disminución de oxígeno (Chapman y Kimstach 1996; Heathcote 1998 en Sánchez 2011).

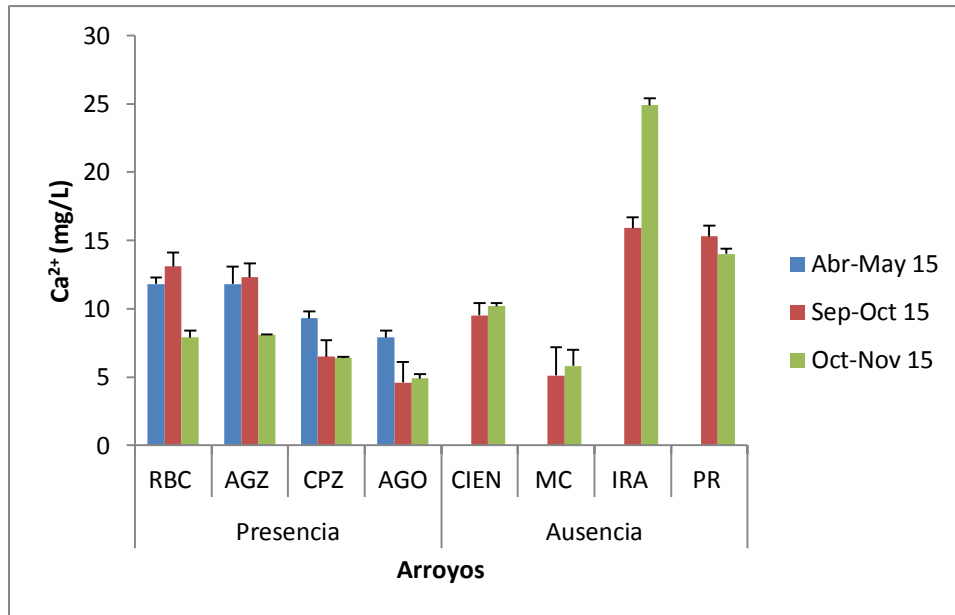


Figura 15. Concentraciones de calcio expresados en (mg/L) en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio

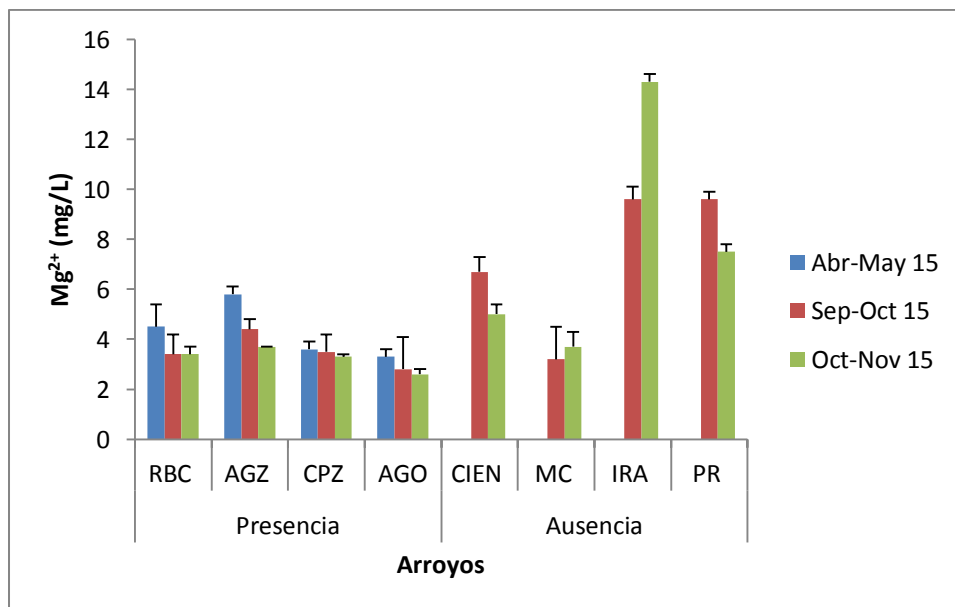


Figura 16. Concentraciones de magnesio expresados en (mg/L) en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio.

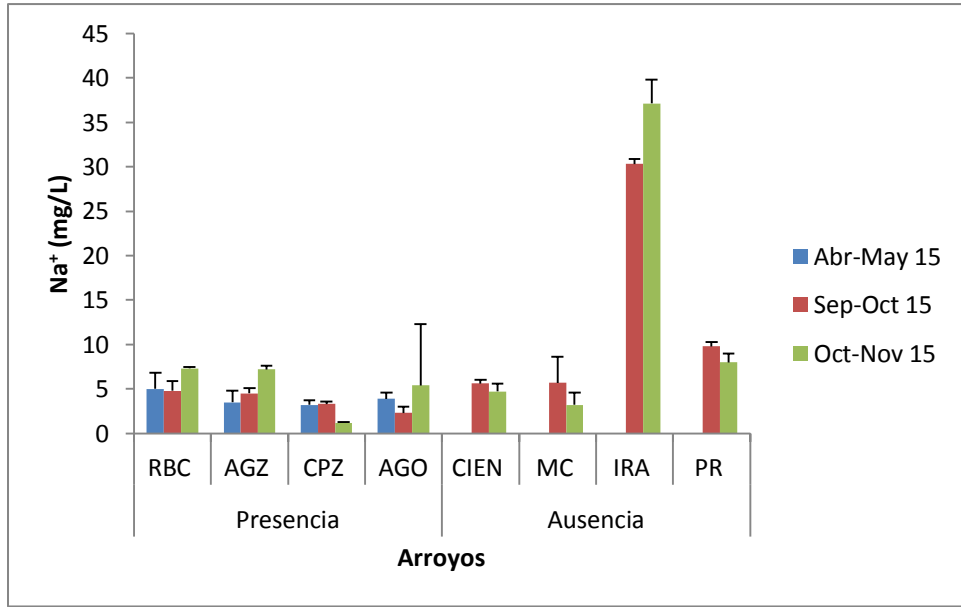


Figura 17. Concentraciones de sodio expresados en (mg/L) en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio.

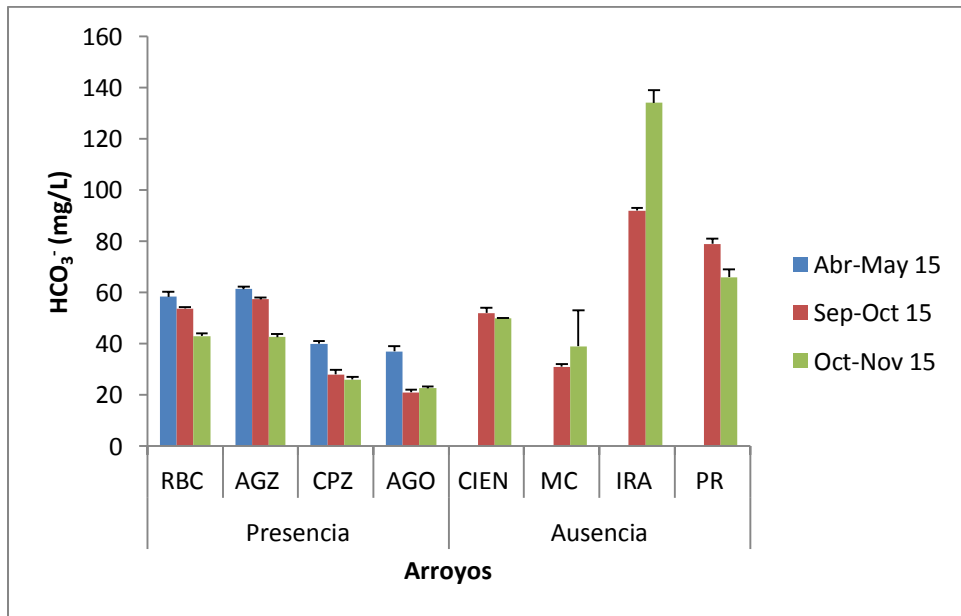


Figura 18. Concentraciones de bicarbonato expresados en (mg/L) en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio.

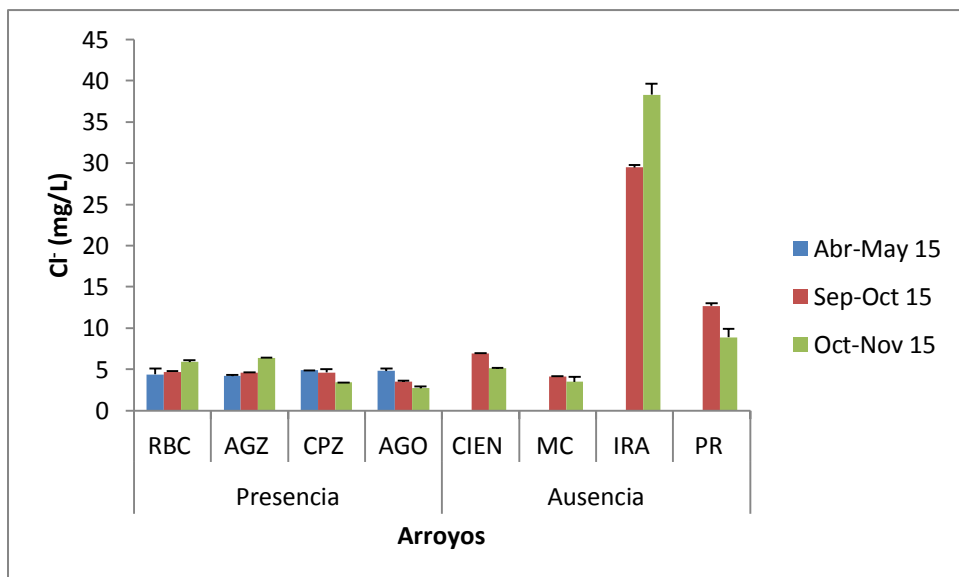


Figura 19. Concentraciones de cloruro expresados en (mg/L) en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio.

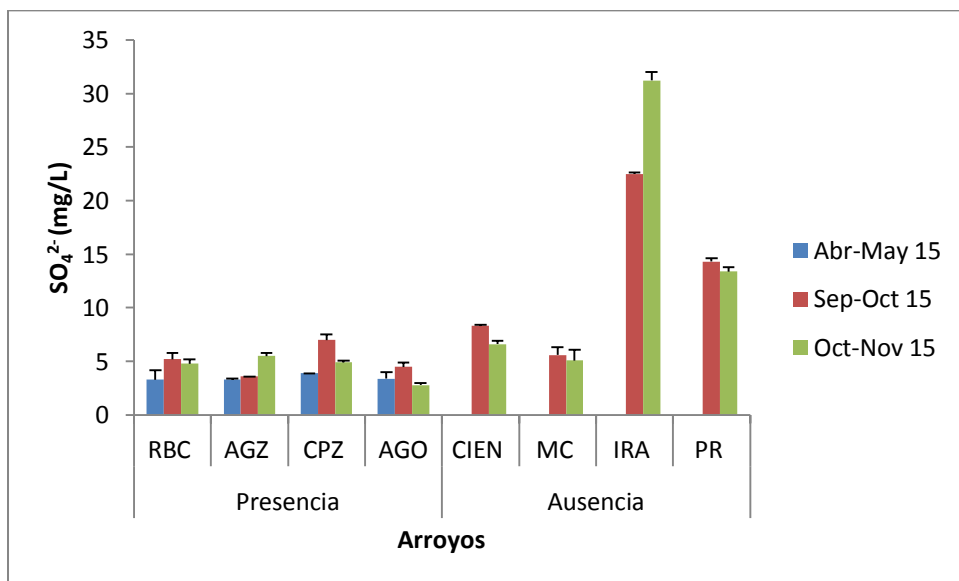


Figura 20. Concentraciones de sulfato expresados en (mg/L) en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio.

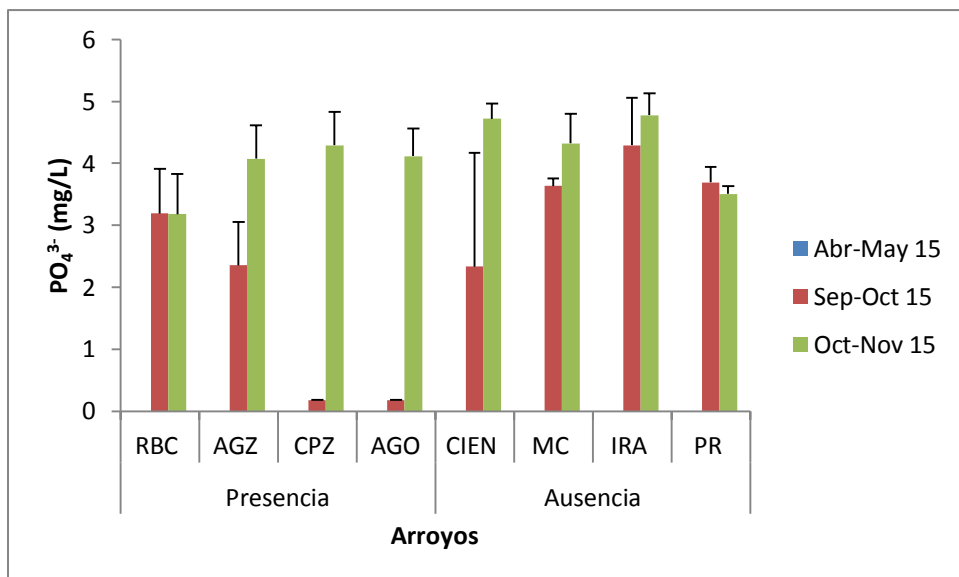


Figura 21. Concentraciones de fosfato expresados en (mg/L) en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio

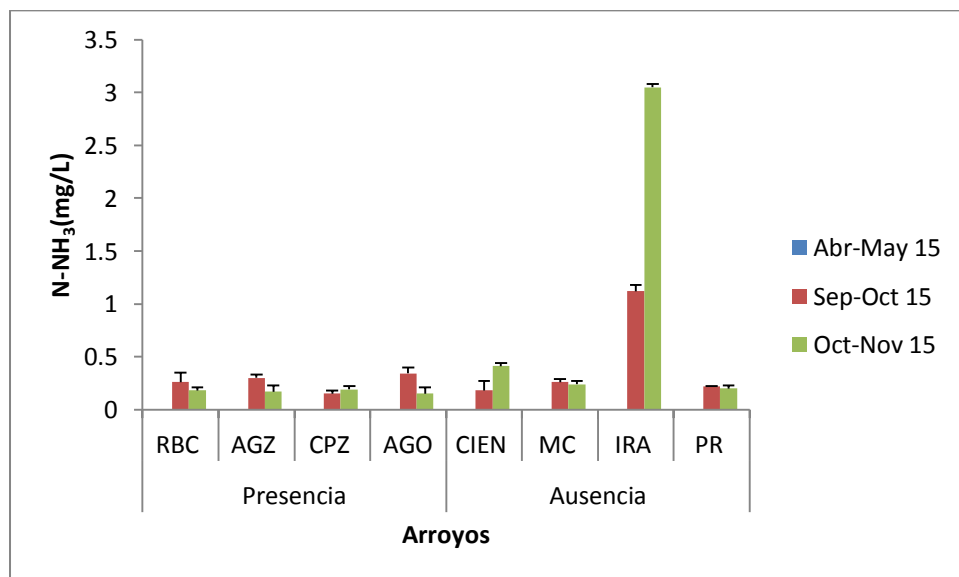


Figura 22 Concentraciones de nitrógeno amoniacal expresados en (mg/L) en los ocho arroyos durante todo el periodo de estudio.

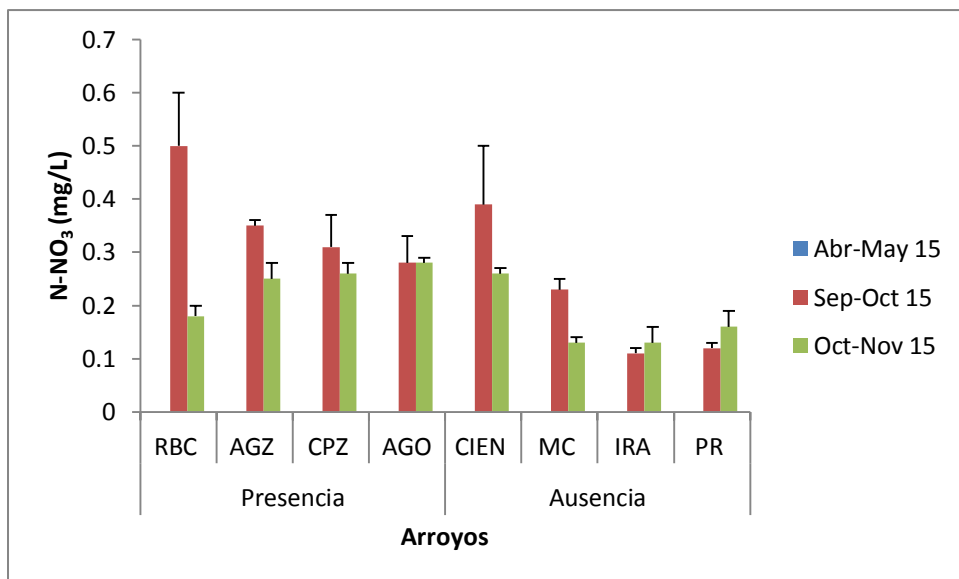


Figura 23 Concentraciones de nitrato expresados en (mg/L) en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio.

Balance iónico

Se calculó el error porcentual para los datos obtenidos durante todo el periodo de estudio en todos los arroyos (Tabla 16 del Anexo A). En la Figura 25 se exhibe un balance iónico aceptable ya que no excede el error permitido (10%), excepto el arroyo Agostitlán en el tercer muestreo, perteneciente a época de precipitación pluvial.

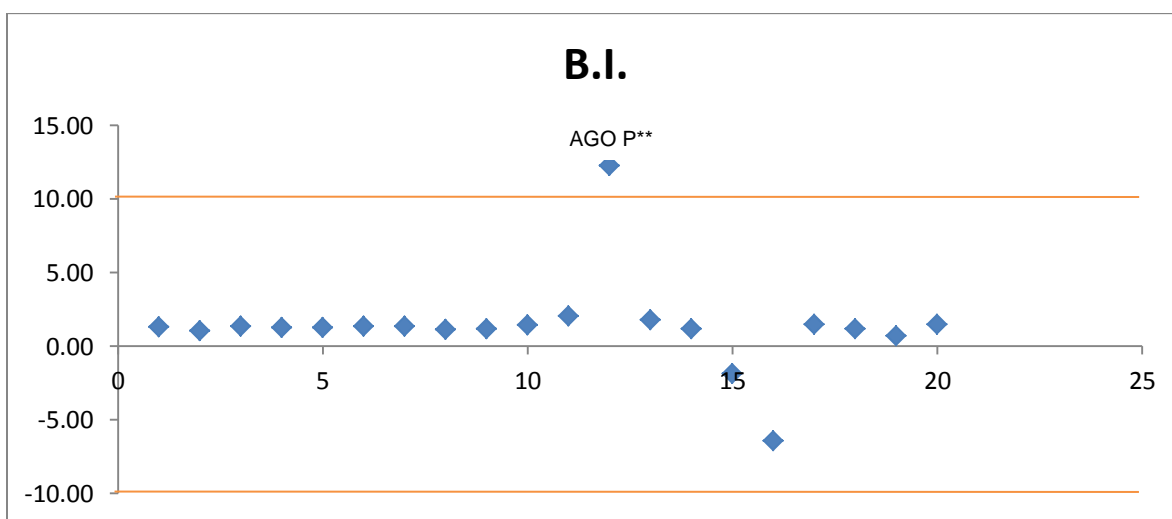


Figura 24. Representación gráfica del balance iónico

8.1.3. Metales pesados y arsénico

Las concentraciones de Cu, Fe, Ni, Pb, Zn y As en el agua se muestran en la Tabla 17 del Anexo A. No se encontraron en mayores concentraciones Cr y Cd, en los arroyos estudiados.

La información sobre la toxicidad del cobre en anfibios es limitada y está orientada principalmente en anuros, en los cuales se ha informado de efectos teratógenos por exposición al metal, como malformaciones, reducción en la tasa de crecimiento, retraso en la metamorfosis y alteraciones en el comportamiento bajo concentraciones de 0.025 y 0.1 mg/L en *Rana pipens* (Chen *et al.* 2007; Sandoval *et al.* 2008). Un estudio realizado en un canal de Xochimilco, área donde habita *A. mexicanum* por Moreno (2012) reportó concentraciones de Cu en un intervalo de 0.002 a 0.023 mg/L, comparativamente con los resultados de este estudio, solo el arroyo Agua Zarca supera el valor reportado en época de precipitación pluvial (Figura 25).

El alto contenido de Fe en los arroyos puede deberse al tipo de suelo dominante (luvisol y andosol) y el tipo de roca (ígneas extrusivas) (INEGI 2010), los cuales se caracterizan por presentar en su composición a este metal, otro posible factor es el lavado de estructuras metálicas en el lugar. Se ha reportado para *A. ordinarium* por Reyes (2015) concentraciones de este metal en el arroyo San José de la Cumbre en un intervalo de 1.5 a 2.4 mg/L, de acuerdo con lo anterior y comparado con los resultados obtenidos ninguno de los arroyos supera el valor máximo reportado, cabe resaltar que las concentraciones más elevadas de Fe se ubicaron a principios de la época de precipitación pluvial (Figura 26).

Por otro lado en un estudio realizado a la rana *Rhinella arenarum* se determinó que concentraciones menores a 0.1 mg/L de Ni no presentaron efectos letales, tampoco se observan efectos sub-letales, tal como malformaciones, disminución de la talla y/o peso corporal (Sztrum 2010), en contraste con los valores encontrados ninguno de los arroyos supera dicho valor y se ubicaron los valores más elevados en los arroyos con presencia en época de estiaje y en los arroyos con ausencia a principios de la época de precipitación pluvial (Figura 27).

El Pb es un metal ampliamente distribuido en la corteza terrestre y los animales lo absorben principalmente a través de sus sistemas respiratorio y digestivo, por su tamaño y carga este metal puede sustituir al calcio en un organismo, siendo su sitio de acumulación, los tejidos óseos. En estudios experimentales con embriones de *Bufo arenarum* la exposición de Pb en concentraciones de 10 y 20 mg/L, provocan en el embrión retraso en el desarrollo, falta de crecimiento de la aleta dorsal y ventral de la cola, escaso desarrollo de las branquias externas y menor talla (Sandoval *et al.* 2004). En el arroyo Carindapaz hábitat de *A. ordinarium* Arreola (2014) encontró una concentración de 0.0029 mg/L de Pb, comparado con los resultados de este estudio, todos los arroyos presentan concentraciones mayores al reportado (Figura 28), pero menores a las concentraciones registradas con daños en *Bufo arenarum*.

En cuanto al Zn es un metal traza esencial, y actúa como cofactor de funciones bioquímicas relacionadas con la expresión génica, por lo que incide en las etapas tempranas del desarrollo de diferentes organismos. Comúnmente el Zn se encuentra asociado a otros metales y se documentó que permite evitar el efecto tóxico del Cd y Ni en anuros (Herkovits y Pérez 1991). En concentraciones de 0.50 mg/L Zn la sobrevivencia de embriones *Bufo arenarum* fue del 100% (Herkovits y Pérez 1991). Para localidades históricas de *A. ordinarium* Arreola (2014) en el arroyo Carindapaz y Reyes (2015) en los arroyos San José de Lagunillas, San José de la Cumbre, Queréndaro y el Vaquerito no presentaron concentraciones de este metal. Por lo que para nuestro estudio puede observarse la presencia de Zn en todos los arroyos, presentándose las concentraciones más altas de este metal en época de estiaje en la mayoría de los arroyos con presencia y en arroyos con ausencia al finalizar la época de precipitación pluvial (Figura 29).

El arsénico es un elemento natural de la corteza terrestre; ampliamente distribuido en todo el medio ambiente, está presente en el aire, el agua y la tierra (Flanagan *et al.* 2012). Para el As se reportó una concentración de 0.002 mg/L en el arroyo Carindapaz, por Arreola (2014), comparado con los resultados obtenidos, ninguno de los arroyos estudiados supera el valor reportado (Figura 30).

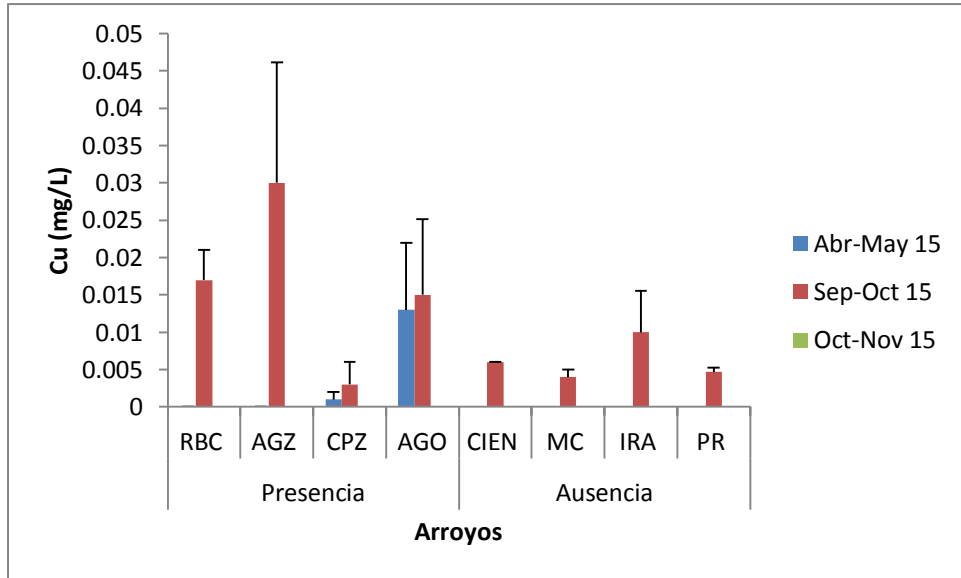


Figura 25. Concentraciones de cobre expresados en (mg/L) en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio

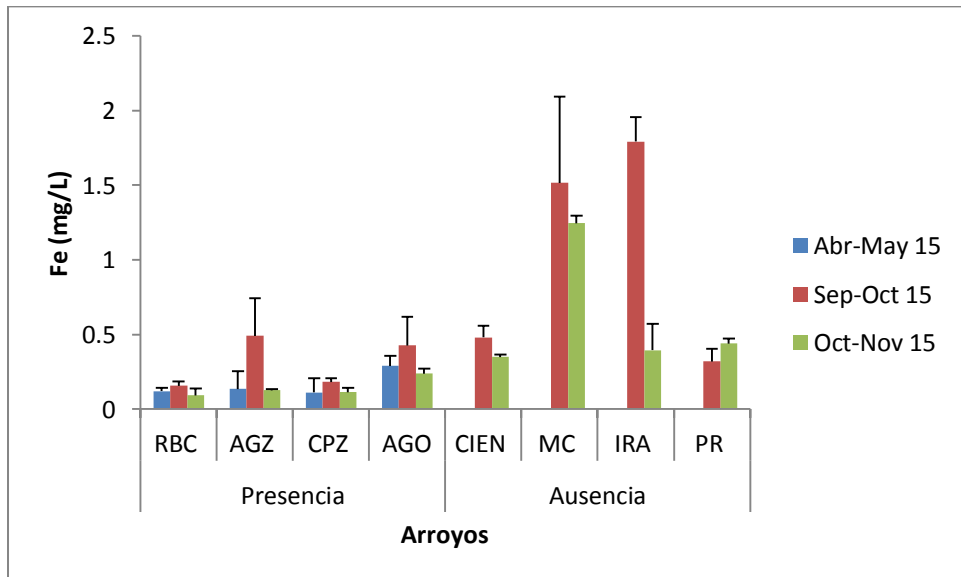


Figura 26. Concentraciones de hierro expresados en (mg/L) en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio

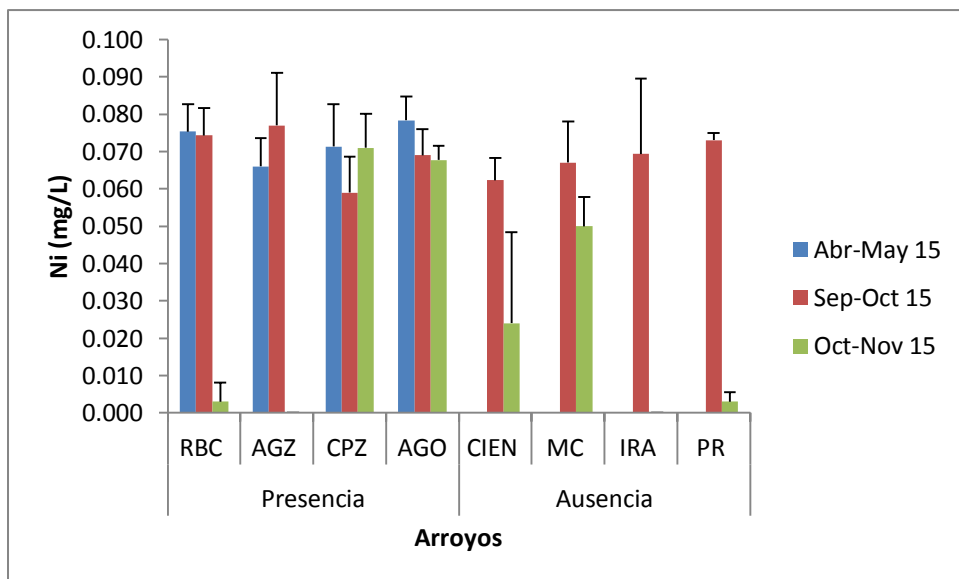


Figura 27. Concentraciones de níquel expresados en (mg/L) en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio.

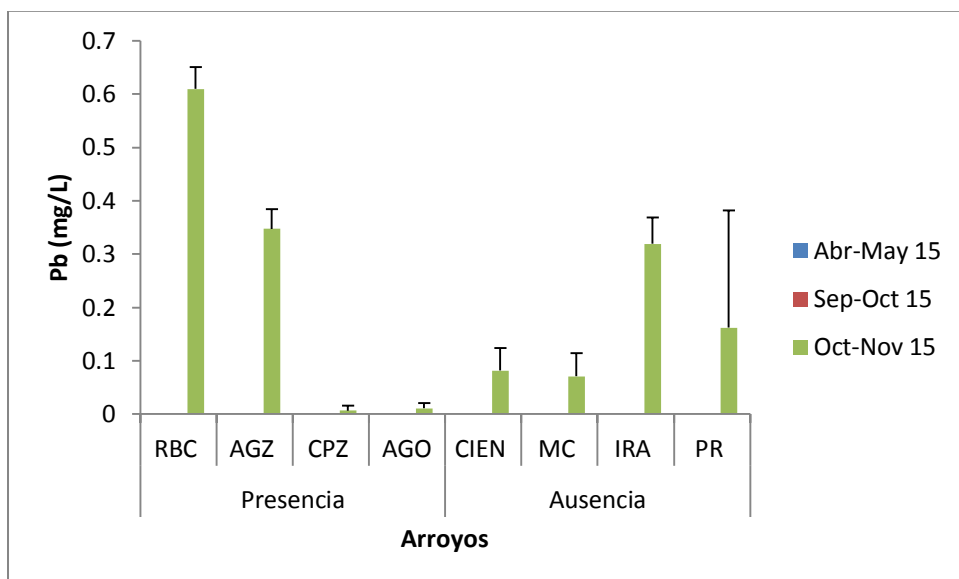


Figura 28. Concentraciones de plomo expresados en (mg/L) en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio.

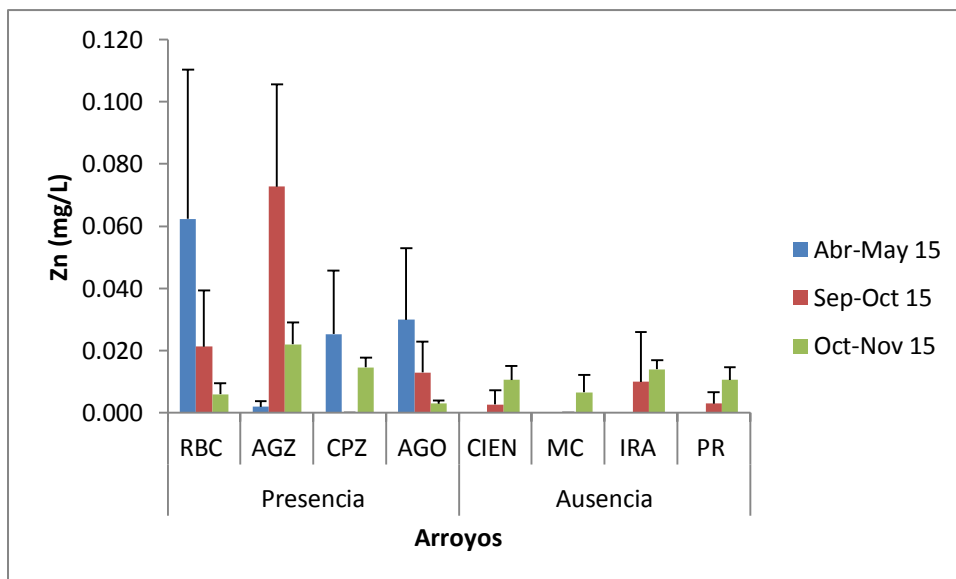


Figura 29. Concentraciones de zinc expresados en (mg/L) en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio.

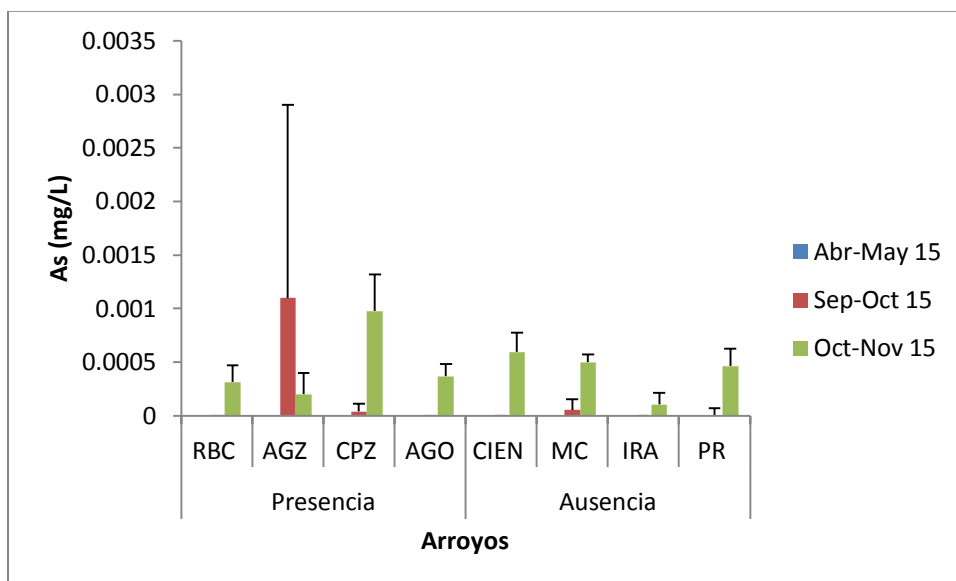


Figura 30. Concentraciones de arsénico expresados en (mg/L) en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio.

8.1.4 Modelación de la especiación química

La especiación química se realizó para Fe, Ni y Zn considerando las concentraciones máximas encontradas de cada metal. Los porcentajes de las especies químicas predominantes en el periodo de estudio en los arroyos se muestran en las Tablas 18 a 20 del Anexo A.

En la Figura 31 se puede observar que la especie química predominante del hierro en los arroyos es el Fe (II). Esto nos sirve como indicativo de que algunos metales pesados puedan estar en esta forma lo cual los hace más peligrosos ya que es más fácil que cuando ingresen a las especies acuáticas ataquen a los diferentes sistemas o tejidos que los conforman y permanezcan en ellos (Díaz 2013). La deposición de este metal en las branquias de los peces provoca estrés oxidativo (Gutiérrez *et al* 2015).

Para el caso del níquel, puede observarse en la Figura 32 que la especie acuosa predominante es Ni (II), encontrándose habitualmente en esta forma química en sistemas acuáticos y depende entre otros factores del pH.

En la Figura 33, se puede observar la distribución de las especies de Zn. En los arroyos Río Bello y Agua Zarca predominan la especie hidroxilada como $Zn(OH)_{2(aq)}$, producto de hidrólisis, lo cual sugiere también la presencia del Zn en forma coloidal en estos arroyos, mientras que en los arroyos restantes puede apreciarse una distribución de la especie Zn (II).

De la concentración total del metal, sólo ciertas formas químicas son tóxicas para los organismos estas incluyen los metales liposolubles y los iones libres (Morrison *et al* 1989 en Rosas 2001), siendo estos últimos los mayoritariamente presentes en el análisis de especiación química de los metales Fe, Ni y Zn.

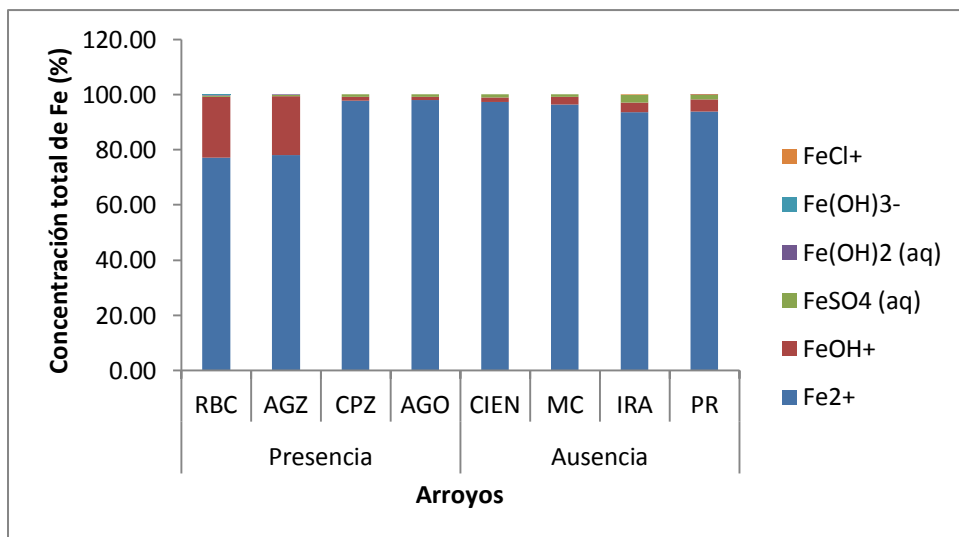


Figura 31. Especies predominantes de hierro expresado en (%) para los ocho arroyos de muestreo a partir de concentraciones máximas obtenidas.

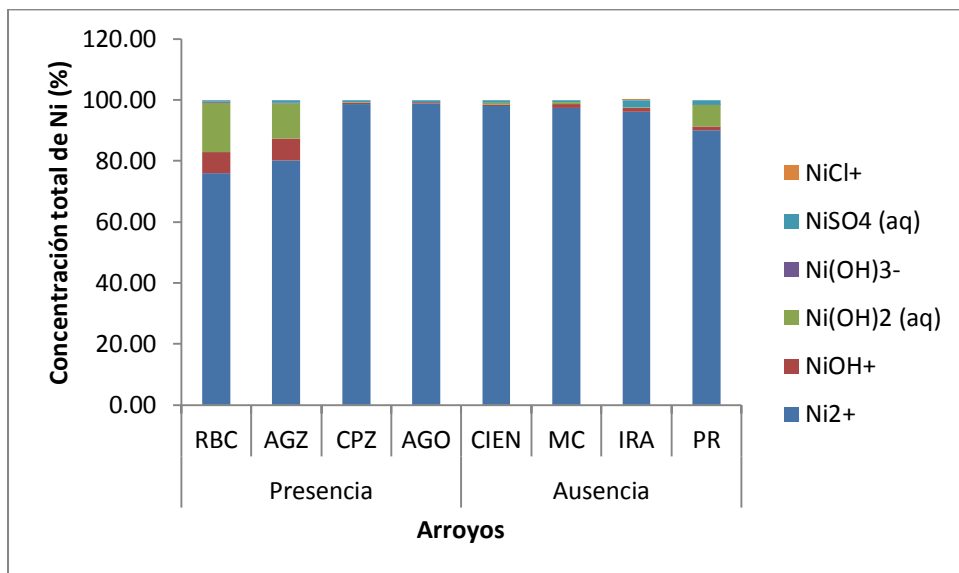


Figura 32. Especies predominantes de níquel expresado en (%) para los ocho arroyos de muestreo a partir de concentraciones máximas obtenidas.

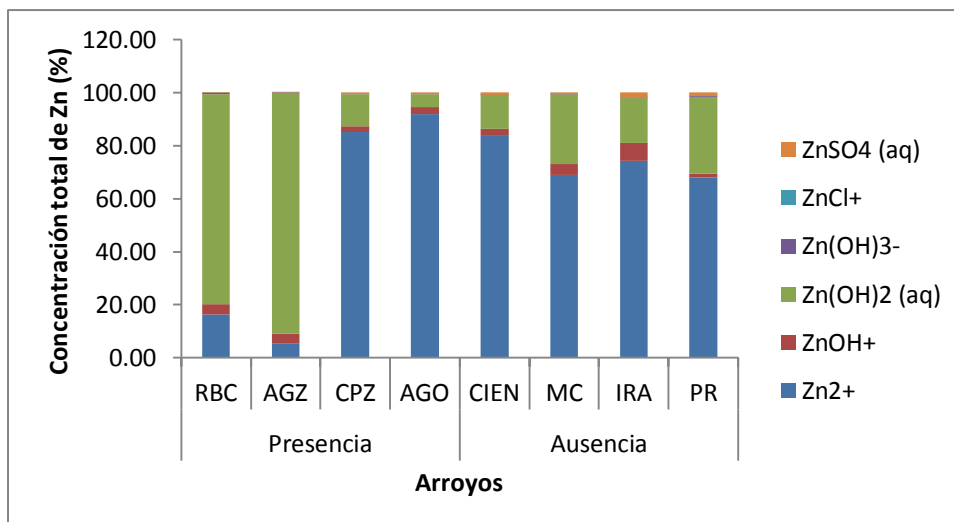


Figura 33. Especies predominantes de zinc expresado en (%) para los ocho arroyos de muestreo a partir de concentraciones máximas obtenidas.

8.1.4. Coliformes fecales

En las tablas 21 del Anexo A se presentan los resultados obtenidos en la determinación de coliformes fecales.

Un alto nivel de bacterias coliformes fecales, por lo general indica la presencia en el agua de heces que pueden tener un serio impacto en el ambiente o en los organismos que habitan en el agua. González y colaboradores (2006) reportaron en el arroyo Agua Zarca concentraciones de coliformes fecales de 30 NMP/100mL y en el 2011 de 50 NMP/100mL por Sánchez (2011) el mismo autor registró en el arroyo Rio Bello una concentración de 433 NMP/100mL y en el arroyo Carindapaz de 7 a 34 NMP/100mL por Arreola (2014). Para este estudio todos los arroyos presentaron coliformes fecales y se observan las concentraciones más elevadas en la mayoría de los arroyos en época de precipitación pluvial (Figura 34), lo que sugiere una fluctuación en la concentración de coliformes fecales, debido posiblemente a los poblados cercanos y el uso de áreas verdes en los alrededores del arroyo como sitios de descanso y realización de actividades campestres.

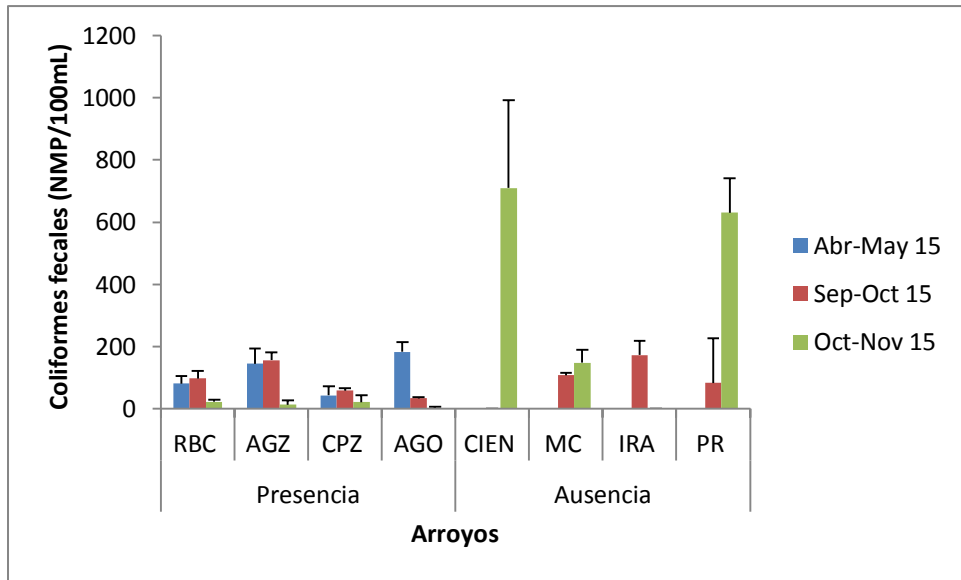


Figura 34. Concentraciones de coliformes fecales expresados en NMP/100mL en los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio

Tipo de agua en la zona

El tipo de agua presente en los arroyos de acuerdo al diagrama de Piper es $\text{Ca}^{2+} \text{HCO}_3^-$ (bicarbonatada cálcica), excepto en el arroyo Iratzio el cual presentó un tipo de agua $\text{Ca}^{2+} \text{Na}^+ \text{HCO}_3^- \text{Cl}^-$ (bicarbonatada clorurada sódica cálcica) (Figura 35). Ambos tipos de agua pertenecen a la familia bicarbonatada cálcica y/o magnésica. Se pueden asociar al lavado de roca caliza, aumentando de forma natural el pH del agua. El pH de aguas como este tipo es alcalino, pero con frecuencia es próximo a la neutralidad o ligeramente ácida, lo que concuerda con los valores encontrados de pH en los arroyos, para el último tipo de agua se asocia principalmente con sales cloruradas (Figura 35).

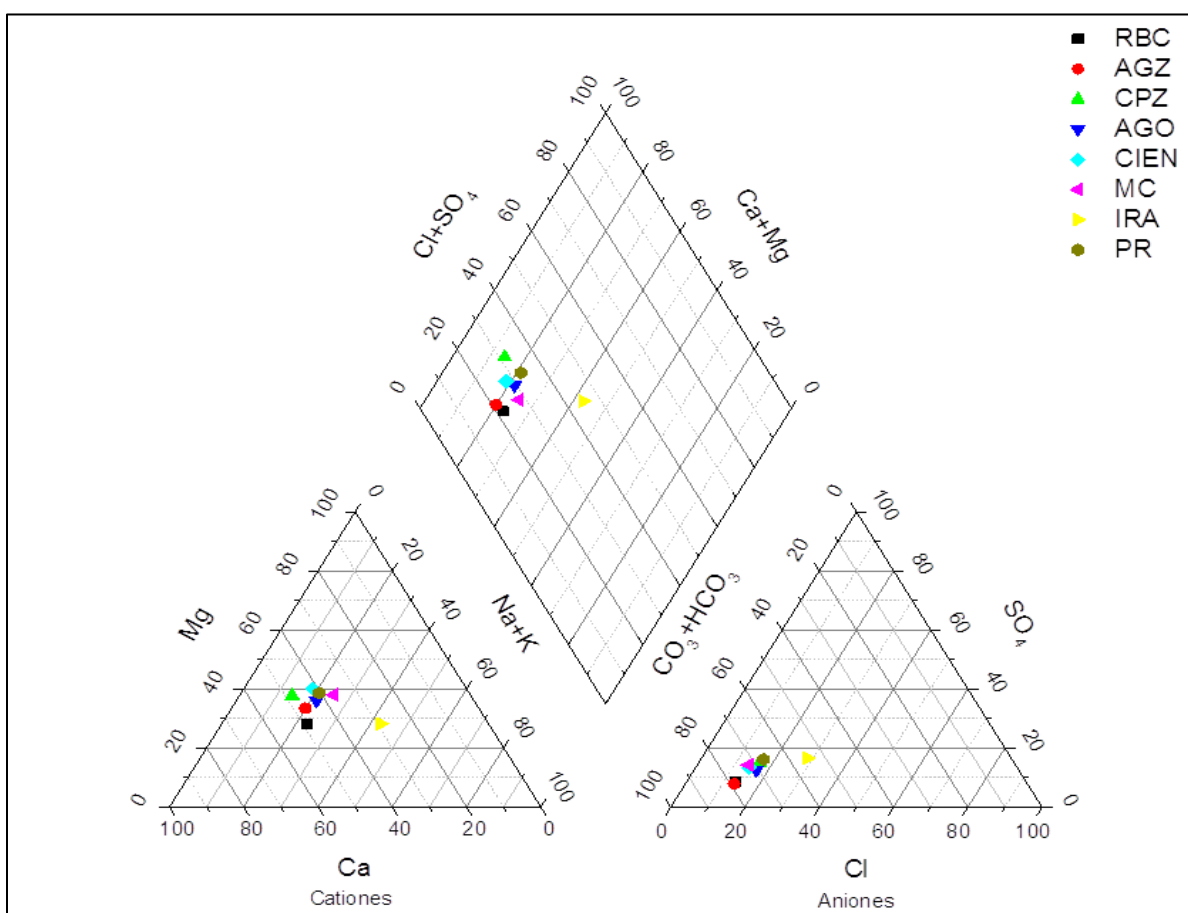


Figura 35. Diagrama de Piper en los arroyos de estudio.

8.1.5. Análisis estadístico

Componentes principales

Se realizó un análisis de correlación con todas las variables y posteriormente un análisis de componentes principales (ACP) para observar cómo se comportan los parámetros fisicoquímicos, bacteriológicos y metales pesados en arroyos donde hay presencia del *A. ordinarium* con respecto a los arroyos donde actualmente hay ausencia de esta salamandra (Tabla 22 del Anexo B y Figura 36).

Las variables con mayor peso en el *Primer componente* son: temperatura, Pb y Ni, de tal manera que un incremento en la temperatura hay mayor dilución de Pb y menor de Ni. En el *Segundo componente*: el oxígeno disuelto y Zn, nos revelan que a mayor concentración de oxígeno disuelto, menor Zn y el *Tercer componente*: los sólidos sedimentables y coliformes fecales, nos permiten deducir que un aumento en la concentración de sólidos sedimentables, los microorganismos se multiplican.

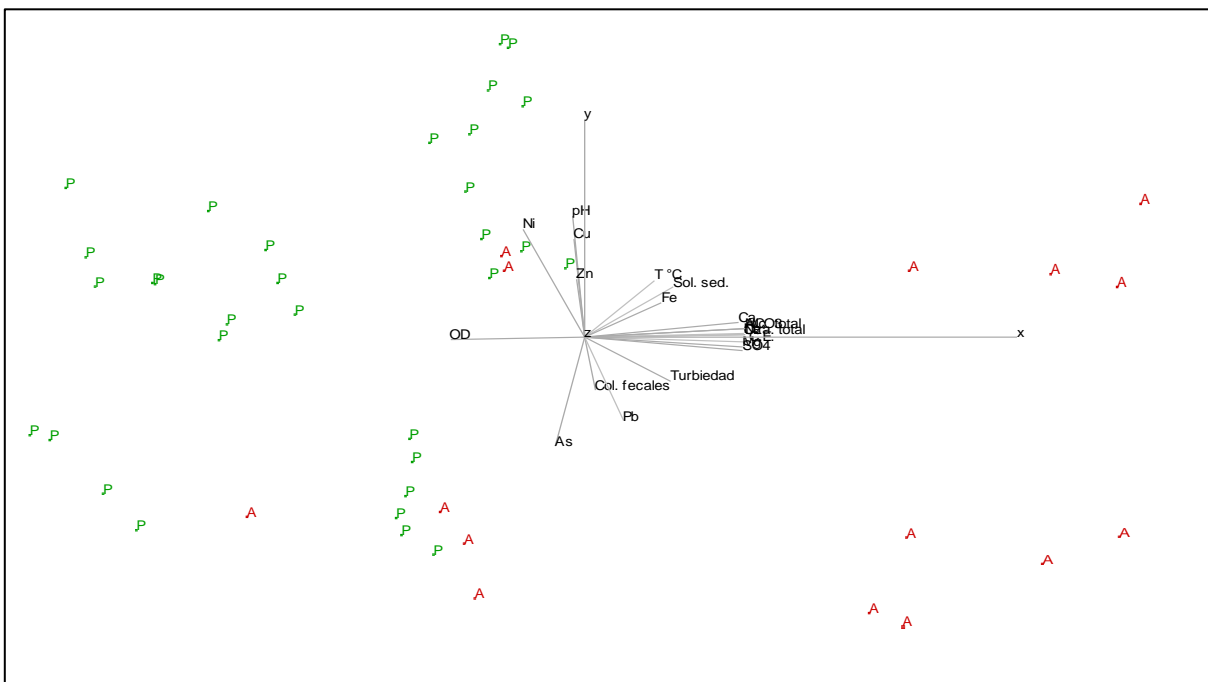


Figura 36. Comportamiento estadístico de los parámetros fisicoquímicos en arroyos con presencia (P) o ausencia (A) de *A. ordinarium* en el análisis de componentes principales

8.1.5.1 Análisis ANOVA entre presencia-ausencia de *A. ordinarium*

En el análisis de varianza, los valores de oxígeno disuelto y Ni presentan diferencia significativa entre presencia-ausencia de *A. ordinarium* ($p=0.0010^*$ y $p=0.0085^*$, Tabla 4 y 5) respectivamente. Las concentraciones más bajas se muestran en arroyos con ausencia y las más altas en los arroyos con presencia de la salamandra, lo que indica que son aguas con mayor oxigenación y el níquel podría estar actuando como nutriente ya que no parece afectar la presencia del organismo en la zona.

En cuanto a la conductividad eléctrica, turbiedad, dureza total, alcalinidad total, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2+} , HCO_3^- , Fe y Coliformes fecales, presentaron diferencias significativas ($p= <0.0001^*$, Tabla 4 y 5) entre presencia-ausencia de *A. ordinarium*, registrando las mayores concentraciones de todos estos parámetros en los arroyos con ausencia y los más bajos en los arroyos con presencia de este organismo. Estos resultados sugieren un elevado contenido de sólidos y sales disueltas en el agua de los arroyos con ausencia, condiciones que resultan favorables para la proliferación de bacterias ya que las sales junto con el hierro son nutrientes necesarios para el desarrollo de los microorganismos.

Tabla 4. Análisis de varianza (ANOVA) de una vía y prueba Mann –Whitney – Willcoxon entre presencia-ausencia de *Ambystoma ordinarium*.

Parámetro	G.L.	t	Prob > F
T (°C)	1	0.8868	0.5106
pH	1	0.2554	0.1554
C.E. ($\mu S/cm$)	1	<.0001	<.0001
O.D (mg/L)	1	0.0542	0.001
Turbiedad (UTC)	1	<.0001	<.0001
Sól. Sed. (mg/L)	1	0.694	0.5946
Dza. total (mg/L)	1	<.0001	<.0001
Alc. total (mg/L)	1	<.0001	<.0001
Ca^{2+} (mg/L)	1	0.0002	<.0001
Mg^{2+} (mg/L)	1	<.0001	<.0001
Na^+ (mg/L)	1	<.0001	<.0001
Cl^- (mg/L)	1	<.0001	<.0001
HCO_3^-	1	<.0001	<.0001
SO_4^{2-}	1	<.0001	<.0001
Col. fecales (NMP100mL)	1	0.0404	0.0001

Tabla 5. Análisis de varianza (ANOVA) de una vía y prueba Mann –Whitney – Willcoxon entre presencia-ausencia de *Ambystoma ordinarium*.

Parámetro	G.L.	t	Prob > F
Cu (mg/L)	1	0.5993	0.3018
Fe (mg/L)	1	<.0001	<.0001
Ni (mg/L)	1	0.0127	0.0085
Pb (mg/L)	1	0.0504	0.7001
Zn (mg/L)	1	0.2324	0.0928
As (mg/L)	1	0.1929	0.1418

8.1.5.2 Análisis ANOVA entre época

La turbiedad ($p=0.0223^*$), SO_4^{2-} ($p=0.0165$), Fe ($p=0.0300$), Pb ($p=0.0384$) y As ($p=0.0117^*$, Tabla 6), presentaron diferencias significativas entre épocas, con las concentraciones más bajas en estiaje y las más elevadas en época de precipitación pluvial. Por lo que se puede inferir que en época de precipitación pluvial hay un mayor aporte de estos componentes, a causa del arrastre de partículas al agua por lavado del terreno y en el caso de los sulfatos otra posible fuente es la liberación mediante precipitación desde la atmósfera.

En cuanto a los sólidos sedimentables ($p=0.0545$) y Ni ($p=0.0059^*$, Tabla 6), presentaron diferencias significativas entre épocas, pudiendo observar las mayores concentraciones de estos dos parámetros en estiaje y las menores en época de precipitación pluvial. Lo que se puede deducir es, en ausencia de lluvia hay menor arrastre de las partículas por la corriente, por lo que hay mayor concentración de sólidos sedimentables y por lo tanto mayor retención de Ni en la fase líquida.

Tabla 6. Análisis de varianza (ANOVA) de una vía y prueba Mann –Whitney – Willcoxon entre época.

Parámetro	G.L.	t	Prob > F
T (°C)	1	0.1279	0.0784
pH	1	0.1028	0.1365
C.E. (µS/cm)	1	0.9706	0.2043
O.D (mg/L)	1	0.7872	0.2980
Turbiedad (UTC)	1	0.0083	0.0223
Sól. Sed. (mg/L)	1	0.0223	0.0545
Dza. total (mg/L)	1	0.6499	0.4944
Alc. total (mg/L)	1	0.7589	0.6641
Ca ²⁺ (mg/L)	1	0.6945	0.8158
Mg ²⁺ (mg/L)	1	0.9022	0.2896
Na ⁺ (mg/L)	1	0.0539	0.0988
Cl ⁻ (mg/L)	1	0.1188	0.1110
HCO ₃	1	0.7589	0.6641
SO ₄ ²⁻	1	<.0001	0.0165
Cu (mg/L)	1	0.3730	0.2446
Fe (mg/L)	1	0.0075	0.0530
Ni (mg/L)	1	0.0056	0.0059
Pb (mg/L)	1	0.0037	0.0384
Zn (mg/L)	1	0.2741	0.0662
As (mg/L)	1	0.0037	0.0117
Col. fecales (NMP100mL)	1	0.3314	0.4695

8.2. Sedimentos

8.2.1. Parámetros físicos

El color de los sedimentos se debe al material que lo conforma. Los colores claros se relacionan con el contenido de carbonatos, los oscuros a materia orgánica y los amarillos, naranjas, rojos y cafés a los óxidos de Fe. Con base en lo anterior, todos los arroyos contienen materia orgánica y óxidos de hierro, lo que concuerda con las concentraciones encontradas de este metal en el análisis de metales pesados en agua y sedimentos (Tablas 7 y 8).

Tabla 7. Color en los sedimentos en arroyos con presencia de *Ambystoma ordinarium*.

Arroyo	Determinación	Matiz (Hue)	Brillo (Value)	Intensidad (Chroma)	Color
RBC	Seco	10YR	5	3	Marrón
	Húmedo	10YR	3	3	Marrón Oscuro
AGZ	Seco	7.5YR	6	4	Marrón
	Húmedo	7.5YR	3	3	Marrón Oscuro
CPZ	Seco	10YR	5	4	Marrón Amarillento
	Húmedo	10YR	3	4	Marrón Amarillento oscuro
AGO	Seco	10 YR	6	2	Marrón grisáceo
	Húmedo	10 YR	4	2	Marrón grisáceo oscuro

Tabla 8. Color en los sedimentos en arroyos con ausencia de *Ambystoma ordinarium*.

Sitio	Determinación	Matiz (Hue)	Brillo (Value)	Intensidad (Chroma)	Color
CIEN	Seco	10YR	6	2	Marrón grisáceo
	Húmedo	10YR	4	2	Marrón grisáceo oscuro
MC	Seco	10 YR	4	3	Marrón
	Húmedo	7.5 YR	3	2	Marrón oscuro
IRA	Seco	7.5 YR	4	2	Marrón
	Húmedo	7.5 YR	3	2	Marrón oscuro
PR	Seco	7.5YR	5	4	Marrón
	Húmedo	7.5YR	3	4	Marrón oscuro

En las Tablas 9 y 10 se muestran los porcentajes obtenidos y la clase textural en sedimento de todos los arroyos.

Los sedimentos francos presentan características combinadas de arena, limo y arcilla, pero puede surgir otra textura, como franco-limosa o franco-arenosa, entre otras. En los arroyos con presencia de *A. ordinarium* predominan los franco y franco-arenosos. En los arroyos con ausencia de la salamandra predominan los franco-arenosos y las texturas arenosas. Para todos los arroyos se encontró una alta proporción de arena seguido del limo en su composición, mientras que las fracciones arcillosas se hallaron en menor cantidad, pero pueden ser fuente de adsorción de metales pesados, debido al valor de superficie específica que presentan, por el contrario las arenas carecen de capacidad de fijación. La predominancia de la fracción arenosa sobre la arcillosa puede deberse a la topografía irregular del terreno, así como a procesos erosivos y sedimentarios del lecho. Además, en época de estiaje, cuando el fenómeno de sedimentación supera al de mezcla, la fracción fina que se deposita sobre la gruesa es más susceptible al arrastre por las corrientes de agua, lo cual sumado a la disminución en el aporte de materiales de las laderas del río, permite que aumente la proporción de materiales gruesos del sustrato.

Tabla 9. Tamaño de partícula en los sedimentos de arroyos con presencia de *Ambystoma ordinarium*.

Sitio	Época	Arcilla (R) %	Limos (L) %	Arenas (A) %	Clase de textura
RBC	Estiaje	17.2	34	48.9	Franco
	Precipitación pluvial	13.2	36.7	50.2	Franco
		16.8	52.2	31.1	Franco Limoso
AGZ	Estiaje	14.4	50.9	34.8	Franco Limoso
	Precipitación pluvial	9.2	36.8	54	Franco
		15.2	33.8	51	Franco
CPZ	Estiaje	11.2	35.8	53	Franco
	Precipitación pluvial	7.6	27.2	65.2	Franco Arenoso
		9.2	28.1	62.7	Franco Arenoso
AGO	Estiaje	4.4	31	64.6	Franco Arenoso
	Precipitación pluvial	2.4	12	85.6	Areno Francoso
		1.6	13.8	84.6	Areno Francoso

Tabla 10. Tamaño de partícula en los sedimentos de arroyos con ausencia de *Ambystoma ordinarium*.

Sitio	Época	Arcilla (R) %	Limos (L) %	Arenas (A) %	Clase de textura
CIEN	Precipitación pluvial	2.8	3.8	93.4	Arena
		2.8	9.6	87.7	Arena
MC	Precipitación pluvial	4.8	32.8	62.4	Franco Arenoso
		5.6	35.3	59.2	Franco Arenoso
IRA	Precipitación pluvial	16.4	51.3	32.4	Franco Limoso
		20	55.3	24.7	Franco Limoso
PR	Precipitación pluvial	11.2	41.4	47.5	Franco
		8.8	19.4	71.8	Franco Arenoso

8.2.2. Parámetros químicos

Los resultados obtenidos de pH en el sedimento para los ocho arroyos de muestreo se muestran en la Figura 59. (Tabla 23 del Anexo C).

En los sedimentos el pH es ácido en todos los arroyos. Se ha indicado que los pH ácidos favorecen mejores retenciones por parte de limos y arcillas de los metales como el Ni, Cr y Cd, pero para los metales como el Fe, Cu, Zn, Pb y As este pH facilita la extracción de los sedimentos por lo cual se tiene una mayor interacción de estos metales con la fase líquida y sólida (Díaz 2013).

8.2.3. Metales pesados y arsénicos

En las Figuras 38 a 41 y la Tabla 23 del Anexo C, se muestran las concentraciones encontradas en los sedimentos de Cu, Fe, Ni y Zn, no se encontraron concentraciones mayores de Cd, Cr y Pb.

Se carece de información sobre las concentraciones de metales pesados en sedimentos en arroyos donde históricamente se ha reportado a la salamandra *A. ordinarium* y el efecto sobre la misma, por lo que de acuerdo a lo recaudado, se tomó como base de comparación, un estudio realizado por Sánchez y colaboradores (2009) en canales de Xochimilco hábitat de la salamandra *A. mexicanum*, donde reportan concentraciones de Cu, Fe, Ni y Zn en intervalos de 0.015 a 0.044 mg/kg

Cu, de 28.83 a 222.04 mg/kg Fe, 0.19 a 1.07 mg/kg Ni y de 0.21 a 5.89 mg/kg Zn. Por lo que se puede observar que todos los arroyos estudiados presentan concentraciones de Cu, Fe, Ni y Zn superiores a los valores reportados en la literatura.

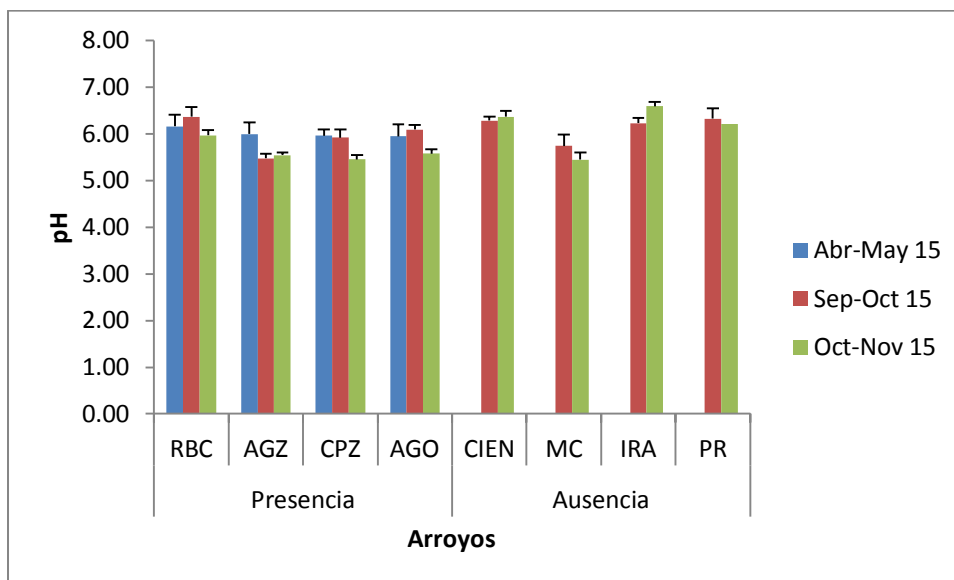


Figura 37. pH obtenido en los sedimentos de los ocho arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio

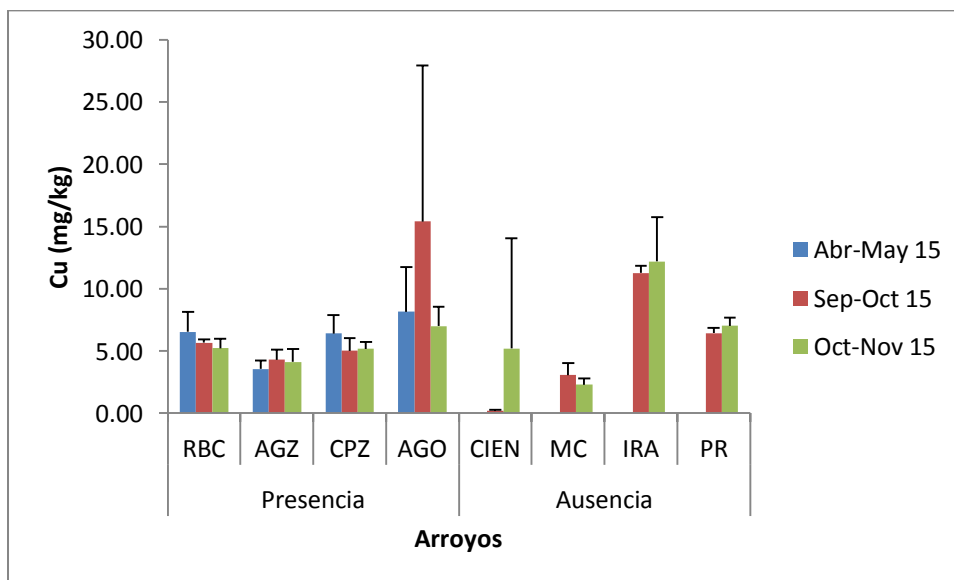


Figura 38. Concentraciones de cobre expresados en (mg/kg) en los arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio

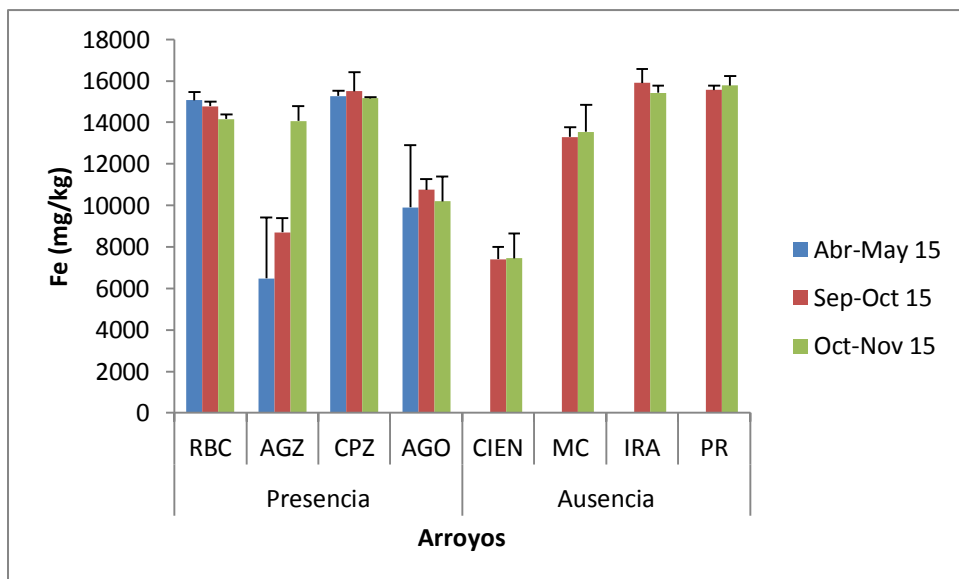


Figura 39. Concentraciones de hierro expresados en (mg/kg) en los arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio

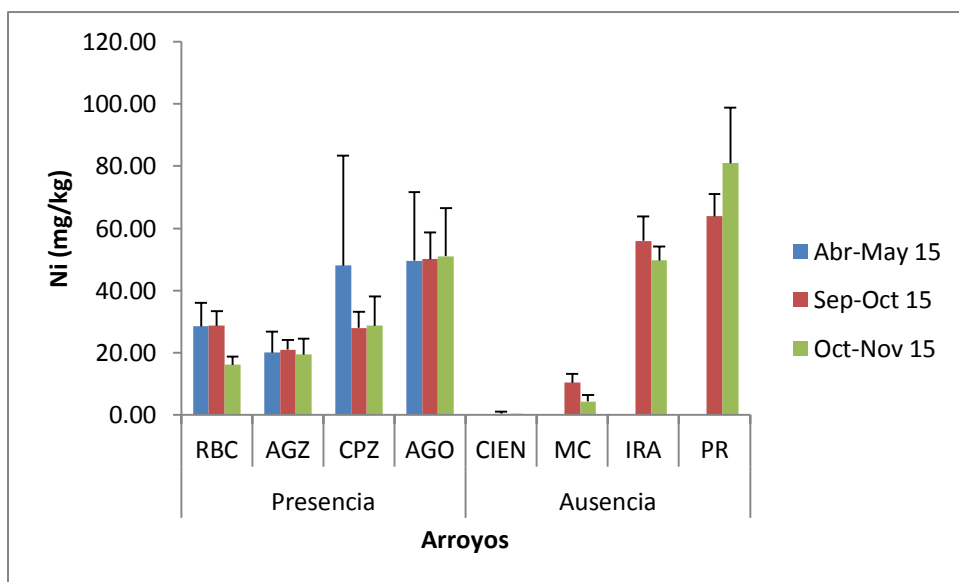


Figura 40. Concentraciones de níquel expresados en (mg/kg) en los arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio

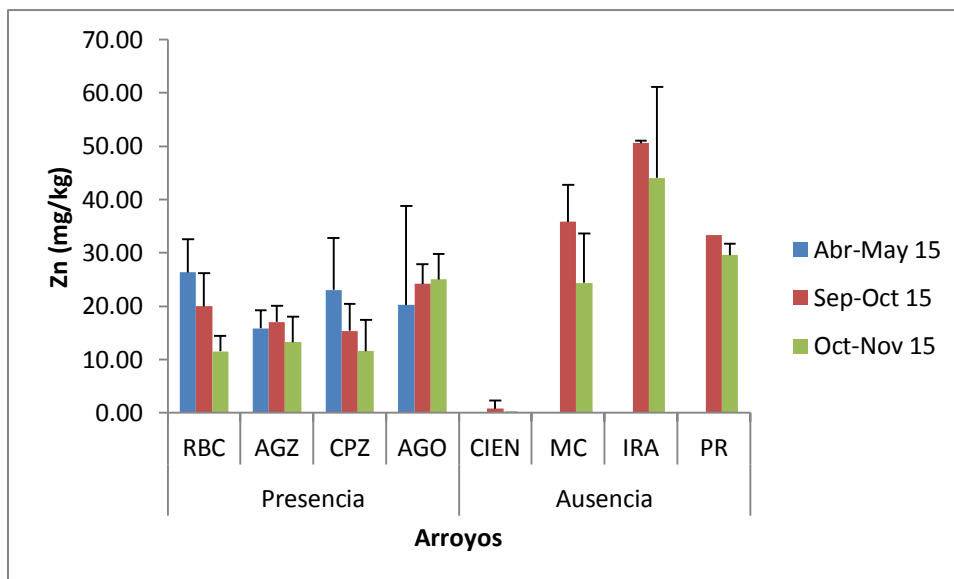


Figura 41. Concentraciones de zinc expresados en (mg/kg) en los arroyos monitoreados durante todo el periodo de estudio

8.2.4. Análisis estadístico en sedimento

El Zn presentó diferencias significativas ($p=0.0134^*$) entre presencia-ausencia de *A. ordinarium* con las mayores concentraciones en los arroyos con ausencia y las más bajas en los arroyos con presencia de la salamandra (Tabla 11). Esto quizá se debe a que los arroyos con ausencia tienen contacto con poblados cercanos cuyas descargas pueden estar llegando a los arroyos y presentar contenidos de este metal, pero se infiere principalmente a la geología del terreno.

Tabla 11. Análisis de varianza (ANOVA) de una vía y prueba Mann-Whitney-Wilcoxon, entre presencia-ausencia de *Ambystoma ordinarium*.

Parámetro	G.L.	t	Prob > F
Cu (mg/L)	1	0.8374	0.9007
Fe (mg/L)	1	0.1407	0.4093
Ni (mg/L)	1	0.7161	0.7699
Zn (mg/L)	1	0.0134	0.0102

9. CONCLUSIONES.

- Los arroyos experimentan indicios de contaminación por lo que pueden albergar a la salamandra, pero el incremento de los diversos contaminantes al agua y sedimentos, pueden llegar a causar un efecto negativo en las poblaciones de *A. ordinarium*.
- Los parámetros pH y conductividad eléctrica para la mayoría de los arroyos se incrementan en época de precipitación pluvial y de acuerdo con la literatura pueden causar efectos adversos en la salamandra, en cuanto a la temperatura sólo el arroyo Iratzio presentó un valor mayor a las registradas en poblaciones de *A. ordinarium*.
- En el agua en los ocho arroyos presentaron niveles de materia orgánica, que están contribuyendo al deterioro prematuro del cuerpo de agua y se ve reflejado en los bajos contenidos de oxígeno disuelto.
- Los arroyos Iratzio y Pino Real presentaron las máximas concentraciones para la mayoría de los parámetros fisicoquímicos.
- Se detectó la presencia de los metales Cu, Fe, Ni, Pb, Zn y As en el agua de los cuales sólo el arroyo Agua Zarca supera los valores reportados de Cu que pueden llegar a causar daños en la salamandra.
- En la especiación química para Fe, Ni y Zn, predominaron sus iones libres, (Fe^{+2} , Ni^{+2} , y Zn^{+2}) los cuales son considerados tóxicos para los organismos acuáticos.
- Al construir el diagrama de Piper se concluye que los arroyos presentan aguas mayormente alcalinas con intercambios catiónicos, en su paso por la dilución de rocas.
- Los arroyos con *A. ordinarium* presentaron aguas con mayor oxigenación y Ni, a diferencia de los arroyos con ausencia en donde se encontraron mayores concentraciones de sólidos, sales disueltas, Fe y coliformes fecales.
- En época de precipitación pluvial se observaron mayores concentraciones de turbiedad, SO_4^{2-} , Fe, Pb y As y en estiaje fue mayor la presencia de sólidos sedimentables y Ni.

- En los sedimentos se presentaron colores oscuros y marrones, que sugieren contenidos de materia orgánica y óxidos de Fe.
- Se presentaron texturas mayormente arenosas, con algunos contenidos de limo y arcilla, los que pueden estar reteniendo en los sedimentos a los metales Cu, Fe, Ni y Zn, que de acuerdo con la literatura exceden los valores, pudiendo llegar a causar efectos en las salamandras.
- El zinc presentó diferencias significativas en los arroyos con ausencia, pudiendo llegar este metal al agua por contaminación de las poblaciones cercanas.

10.RECOMENDACIONES

- Es de suma importancia continuar con el monitoreo de los arroyos analizados, para aportar información que contribuya a conservar el hábitat de la salamandra *A. ordinarium*.
- Es necesario realizar estudios en los arroyos sobre toxicidad, contenido de metales y As, ahora en organismos vivos para obtener un mayor conocimiento sobre esta temática en este cuerpo de agua.

11.LITERATURA CITADA

- Acosta, V., Lodeiros, C., Senior, W. & Martínez, G. (2002). Niveles de metales pesados en sedimentos superficiales en tres zonas litorales de Venezuela. *Interciencia* 27(12): 686-690.
- Ahumada, G. A. (2004). Efecto de la salinidad sobre la supervivencia y crecimiento en larvas de *Ambystoma andersoni* (Krebs and Brandon, 1984); para fines de cultivo. Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 47pp
- Alfaro R. 2010. Estudio de la movilidad y toxicidad de metales pesados y arsénico en agua y sedimentos del lago de Cuitzeo, Michoacán. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Altamirano, M. M. G. (2013). Estudio hidroquímico y de calidad del agua superficial en la cuenca del río Mira. Tesis de Licenciatura. Facultad de Química. Universidad central del Ecuador. 123pp.
- Alvarado, D. J., García-Garrido, P. y Suazo-Ortuño, I. (2003). Food habits of a paedomorphic population of the Mexican salamander, *Ambystoma ordinarium* (Caudata: Ambystomatidae). *The Southwestern Naturalist*. 48(1): 100-102 pp.
- Avecillas. A. A. L. (2014). Caracterización físico-químico del estero salado entre el puente de la Avenida Kennedy y el puente 5 de junio efectuado en el periodo agosto – octubre del año 2012. Tesis de Licenciatura. Facultad de Química. Universidad de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador.
- Armienta, M. A.; Zamora, V. y Juárez, F. (1994). Manual para el análisis químico de aguas naturales, en el campo y en el laboratorio. Comunicaciones Técnicas. Serie de docencia y divulgación No. 4. IGFUNAM.
- Arreola, C. M. (2014). Evaluación de la calidad del agua subterránea en función de la presencia de arsénico, flúor y boro en Ciudad Hidalgo, Michoacán. Tesis de Maestría. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. 109 pp.
- APHA-AWWA-WPCF. (1995). Methods for the examination of water, 19^a Edition, American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Pollution Control Federation (WPCF). USA.

- Aubriot, L., Piccini, C., Machín, E. (2012). Calidad de agua del Arroyo Canelón Chico (2011-12) e identificación de problemas ambientales. Facultad de Ciencias. Instituto de Ecología y Ciencias Ambientales 67:251-263.
- Barbour, M.T., J. Gerritsen, B.D. Snyder, y J. B. Stribling. 1999. Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish, Second Edition. EPA 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency; Office of Water; Washington, D.C.
- Blanchfield, D. (2011). Environmental encyclopedia. Cuarta edición. Editorial Cengage Learning.
- Chávez, S. J. M. y Orantes, G. E. E. (2010). Reconocimiento de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos como alternativa para determinar la calidad del agua del Río Sensunapán, Departamento de Sonsonate, El Salvador, C.A. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Agronómica. Universidad del Salvador. 113 pp.
- Cedeño, R., Calderon y C. Pozo de la Tijera. (2008). Guía rústica de los anfibios de la region de Calakmul, México, CONABIO, México D.F
- Chen, T., Gross, J. A. y Karasov, W. H. (2007). "Adverse effects of chronic copper exposure in larval northern leopard frogs (*Rana pipiens*)." Environ Toxicol Chem. 26(7): 1470-5.
- Cuellar L., Molina E., D. P. A., Maldonado G. (2012). Distribución espacial de los fluoruros en fuentes de abasto de aguas subterráneas en cuatro provincias de Cuba. *Higiene y epidemiología*. 50 (3): 365-379.
- Diaz, R. L. S. (2013). Evaluación de la calidad en agua y sedimentos del Río grande de Morelia, Michoacán. Tesis de Maestría. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 198 pp.
- Duellman, W.E. & L. Trueb, 1994. *Biology of Amphibians*. McGraw-Hill, New York.
- DOF. 1980a. Diario Oficial de la Federación. Norma Mexicana NMX-AA-014-1980. 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 y tóxicas .México.

- DOF. 1980b. Diario Oficial de la Federación. Norma Mexicana NMX-AA-093-2000. Análisis de agua- Determinación de la conductividad electrolítica. México.
- DOF. 1981. Diario Oficial de la Federación. Norma Mexicana NMX-AA-074-1981. Análisis de agua –Determinación del ion sulfato. México.
- DOF. 1994. Diario Oficial de la Federación. Norma Mexicana NMX-AA-112-SSA1-1994. Determinación de bacterias coliformes. Técnica del número más probable. México.
- DOF. 2000a. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreos y análisis. México.
- DOF. (2001a). Diario Oficial de la Federación. Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSAI-1994. Salud ambiental, agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamiento a que debe someterse el agua para su potabilización. México.
- DOF. 2001b. Diario Oficial de la Federación. Norma Mexicana NMX-038-SCFI-2001. Análisis de agua – Determinación de turbiedad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba. México
- DOF. 2001c. Diario Oficial de la Federación. Norma Mexicana NMX-030-SCFI-2001. Análisis de agua – Determinación de la demanda de química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas- método de prueba. México.
- DOF. 2001d. Diario Oficial de la Federación. Norma Mexicana NMX-028-SCFI-2001. Análisis de agua – Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales (DBO5) y residuales tratadas - Método de prueba- México.
- DOF. (2001e). Diario Oficial de la Federación. Norma Mexicana NMX-AA-029-SCFI-2001. Análisis de aguas - Determinación de fósforo total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba. México.
- DOF. 2001f. Diario Oficial de la Federación. Norma Mexicana NMX-036-SCFI-2001. Análisis de agua – Determinación de la acidez y alcalinidad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas –Método de prueba. México.

- DOF. 2001g. Diario Oficial de la Federación. Norma Mexicana NMX-072-SCFI-2001. Análisis de agua – Determinación de la dureza total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas –Método de prueba. México.
- DOF. 2001h. Diario Oficial de la Federación. Norma Mexicana NMX-034-SCFI-2001. Análisis de agua – Determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas –Método de prueba. México.
- DOF. 2001i. Diario Oficial de la Federación. Norma Mexicana NMX-AA-073-SCFI-2001. Análisis de agua – Determinación de cloruros totales en aguas naturales, residuales y residuales tratadas –Método de prueba. México.
- DOF. 2001j. Diario Oficial de la Federación. Norma Mexicana NMX-AA-079-SCFI-2001. Análisis de agua – Determinación de nitratos en aguas naturales, residuales y residuales tratadas –Método de prueba. México.
- DOF. 2001k. Diario Oficial de la Federación. Norma Mexicana NMX-AA-051-SCFI-2001. Análisis de agua – Determinación de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas –Método de prueba. México.
- DOF. 2001. Diario Oficial de la Federación. NOM-059-SEMARNAT-2010. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. México.
- Elizarrarás Ruiz, M. de J. (2011). Estudio de la contaminación del agua en el Meandro del río Lerma en la Piedad, Michoacán. Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México 76pp.
- EPA (2001). Technical Manual: “Methods for collection, Storage Manipulation of Sediments for and Toxicological Analyses” Environmental Protection Agency U.S.A.
- Flanagan, SV, Johnston RB and Zheng Y (2012). Arsenic in tube well water in Bangladesh: health and economic impacts and implications for arsenic mitigation. *Bull World Health Organ* 90:839-846
- Flores, T. F. J. (2001). Toxicidad del cromo en ecosistemas dulceacuícolas. *Investigación y Ciencia*. 24 (9):16-19. Aguascalientes, México.

- García G., P. (2003). Características de hábitat y atributos demográficos de *Ambystoma ordinarium* Taylor 1940 (Amphibia: Caudata) en Agua Zarca, Municipio de Morelia. México. Tesis de Maestría. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 66 p.
- Gaur, R. (2008). Environmental engineering laboratory manual. New Delhi: New Age International.
- González, C. J. C., Cabrera, G. A. y Ayala, G. J. M. (2006). Flujo, calidad de agua y uso potencial de los manantiales de la microcuenca Atécuaro, Morelia, Michoacán, México. *Biológicas* 8:31-46.
- Gutiérrez, X. Aguilera, A. Espinoza, C. Autland Aa. (2015). Calidad del agua en la producción de smolt. *Salmonexpert* 5:28-36.
- Herkovits, J y Pérez de C. C. (1991). Relación cadmio/zinc en embriones protegidos del efecto letal del cadmio mediante la administración simultánea de zinc. Buenos Aires (51) 5:477-478.
- Henao, M. L. M., Bernal, B. M. H. (2011). Tolerancia al pH en embriones y renacuajos de cuatro especies de anuros Colombianos. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.* 35 (134): 105-110, 2011. ISSN 0370-3908.
- Hem D.J. (1992). Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water; 3 Edition, U.S. Geological Survey Water- supply paper 2254.
- Herrera M. A. (2007). Evaluación de metales pesados y arsénico en agua y sedimentos del lago de Cuitzeo. Tesis de Licenciatura. Facultad de biología. UMSNH.
- Herrera N. J., Rodríguez C. J., Coto, C. J. M. Salgado, S. V., Borbón, A. H. (2012). Evaluación de metales pesados en los sedimentos superficiales del río Pirro. *Tecnología en Marcha.* 26 (1):27-36
- Herrejon, G. D. (2013). Dieta de la salamandra *Ambystoma amblycephalum* (Taylor, 1940) Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. 76 pp.
- Huacuz E., D. (2008). Biología y Conservación del género *Ambystoma*, en Michoacán, México. Tesis Doctoral. Departamento de Biología Animal, Parasitología, Ecología, Edafología y Química Agrícola. Universidad de Salamanca. 385 pp.

- INEGI (2010). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Hidalgo, Michoacán de Ocampo Clave geoestadística 16034.
- INEGI (2010). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Charo, Michoacán Clave geoestadística 16022.
- INEGI (2010). Compendio de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Morelia Michoacán de Ocampo Clave geoestadística 16053.
- IUCN (2013). Red list of threatened Species. The World Conservation Union. <http://www.iucnredlist.org/> (Accesada en Junio de 2015).
- Lannoo M, ed. 2005. Amphibian Declines: The Conservation Status of United States Species. Berkeley: University of California Press
- Matton, A. (2000). El declive de los anfibios. *World-Watch*. July/ Agosto: 10-21
- Marco, L. Azario R. Metzler C. y García M del C. (2004) La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadoras a partir de fuentes superficiales. *Higiene y Sanidad Ambiental* 4: 72-82
- Manahan S. E. (2007). Introducción a la Química Ambiental. 1ª Ed. Editorial Reverté UNAM. México D.F. 725 pp.
- Mariani, C. & Pompêo, M. (2008). La calidad del sedimento: La contaminación por metales puede ser una amenaza para los seres vivos. *Revista Ciencia Hoy*, 18(107): 48-53.
- Marrugo, N. J. L. Paternina, U. R. (2011). Evaluación de la contaminación por metales pesados en la ciénaga La Soledad y Bahía de Cispatá, cuenca del Bajo Sinú, departamento de córdoba. Facultad de Ciencias Básicas Departamento de Química Montería. Universidad de Córdoba. 78 pp.
- Metcalf, & Eddy. (1994). Ingeniería Sanitaria: tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. Estados Unidos: Editorial Labor.
- Mena, G.H. y Servín Z. E. (2014). manual básico para el cuidado en cautiverio del ajolote de Xochimilco (*Ambystoma mexicanum*). Instituto de Biología. Universidad Autónoma de México.
- Mejía, M. E., Rosales, C. F. Rojas, G. J. A., Molina, S. C. (2006). Evaluación de la calidad del agua. En: Atlas de la Cuenca Lerma-Chapala. pp 101-102. Construyendo una visión conjunta., SEMARNAT-INE-UNAM. México, D. F.

- Mills, N.E. & M.C. Barnhart, (2001). Effects of hypoxia on egg capsule conductance in *Ambystoma* (Class Amphibia, Order Caudata). *Journal of Experimental Biology* 204:3747-3753.
- Milacron, 2004. ¿Por qué es importante el oxígeno disuelto?. Reporte Técnico. Querétaro, México. 1pp
- Nalco Company (2009). *The Nalco Water Handbook*. Tercera Edición, New York. Editorial McGraw Hill.
- OMS (2003). Iron in drinking-water. Documento de referencia para la elaboración de las Guías de la OMS para la calidad del agua potable. Ginebra (Suiza), Organización Mundial de la Salud (WHO/SDE/WSH/03.04/8).
- Parra, O.G., Flores, V. O. y Mendoza A. C. (2014). Biodiversidad de anfibios en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, Suplo. 85:S460-S466.
- Pérez, G. G. (2005). Disponibilidad de metales tóxicos en sitios contaminados Aplicaciones y limitaciones de la fracción en la determinación de gradientes de polución. Memoria para aspirar al grado de Doctor en Química, Universidad Autónoma de Barcelona, Departamento de Química, Unidad de Química Analítica.
- Pedraza I. (2007). Dinámica población bacteriana en el lago de Cuitzeo, Michoacán, México. Tesis de Maestría en Conservación y Manejo de los recursos Naturales, Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México.
- Pérez, V. J. (2008). Caracterización hidrogeoquímica del agua subterránea del Valle de Querétaro para el estudio de sistemas de flujo. Tesis de Maestría. Facultad de Química. Universidad Autónoma de Querétaro. 82pp
- Pérez M. R.M. y Pineda L. R. (2009). Calidad de ríos y arroyos en el centro de México: posibilidades para evaluar la integridad ecológica de microcuencas. Facultad de biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Propuesta.
- Peters, J. E. Campoy Favela y Karl Flessa (eds.). (2009). *Ciénega de Santa Clara Comprehensive Monitoring Program*. Publicación especial del Instituto Nacional de Ecología, México.

- Quiroz, M. H., Rodríguez, C. V. A. (2006). Bioindicadores de contaminación en sistemas acuáticos (insectos acuáticos). 1^{ra} ed. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, México. 76-80 pp.
- Ramírez, H. G. (2014). Perfil leucocitario y Carga parasitaria del Ajolote de Montaña (*Ambystoma ordinarium*) como Indicadores de la Perturbación del hábitat. Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. 68 pp.
- Reyes, U. M. I. (2015). Evaluación del contenido de metales pesados y arsénico en arroyos de Charo y Queréndaro, Michoacán, sitios registrados como hábitat de *ambystoma ordinarium* (taylor, 1940)". Tesis d Licenciatura. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 56 pp.
- Rigola, L.M. (1990). Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y residuales. Editorial Alfaomega. 33 y 34pp.
- Rodier, J. (1998). Análisis de las aguas. Aguas naturales, aguas residuales, agua de mar. Editorial Omega, España.
- Roldan, P. G. (2003). Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Universidad de Antioquia (Ed). Colombia. 165 pp.
- Rojas, M. C. M., 2011. Estudios de la contaminación de los recursos hídricos en la cuenca del Rio San Pedro, previos a la construcción de una hidroeléctrica (P.H. Las Cruces) en Nayarit, México. Tesis Licenciatura. Universidad de Guadalajara. 168 pp.
- Rosas, R. H. (2001). Estudio de la contaminación por metales pesados en la cuenca del Llobregat. Universidad Politécnica de Catalunya. Departamento de Energía, Minería y Recursos Naturales. Tesis Doctoral. 281pp
- Rodríguez, S. M., Martínez C. N., Romero, M.C., del Río, L.A., Sandalio, L.M. (2008). Toxicidad del Cadmio en Plantas. Ecosistemas 17(3):139-146.
- Rueda, A. J. V. (1999). Anfibios y reptiles amenazados de extinción en Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc., 23:475-498. ISSN 0370-3908.
- Sánchez, M. E. P., Romero, J. J., Negrete, P. R., López, R.S. y Malpica S. A. (2009). Aprovechamiento de los ambientes reducidos para la producción de organismos

- acuáticos susceptibles a cultivo, para el consumo humano *Vet. Méx.*, 40 (1):55-67.
- Sánchez, S. H. U., 2011. Calidad del agua y contexto social como base para la planeación y gestión en cuencas periurbanas. El caso del río Chiquito, Morelia, Michoacán. Tesis de Maestría. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad Nacional Autónoma de México. 286 pp.
- Sandoval, M. T., Pérez, C. C. y Herkovits, J. (2004). Teratogénesis y alteración del desarrollo de embriones de *Bufo arenarum* por exposición al plomo. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Universidad Nacional del Noreste. Buenos Aires, Argentina. 10 pp.
- Sandoval, T. M., Arazon C., Perez de C. C. y Herkovits, J. (2008). Toxicidad del cobre durante el desarrollo embrionario de *Chaunus arenarum*. Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. Universidad Nacional del Noreste. Buenos Aires, Argentina.
- Samboni R.N., Carvajal E.Y, Escobar J. (2007). "A review of physical-chemical parameters as water quality and contamination indicators" Universidad Nacional de Colombia 27 (003):127-181.
- Silva, M. M. C. (2011). Uso y Selección del Microhábitat de la Salamandra Michoacana *Ambystoma ordinarium* (Caudata: Ambystomatidae) en la Microcuenca del Río Chiquito, Morelia; Michoacán, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. 63 pp.
- Soto, R. C. 2012. Uso y selección del microhábitat de la salamandra de montaña *Ambystoma ordinariu*. Tesis de Maestría. Facultad de Biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. 63 pp.
- Schmitt J. C. (2004). Concentrations of arsenic, cadmium, copper, lead, selenium, and zinc in fish from the Mississippi river basin, 1995. *Environmental Monitoring and Assessment*, 90: 289-321.
- Shaffer, H. B. 1989. Natural History, Ecology and Evolution of the Mexican "Axolotls". *Axolotl Newsletter* 18: 5-11

- Shaffer, H.B., Flores, V. O., Parra, O. G., Wake, D. (2008). *Ambystoma ordinarium*. La IUCN Lista Roja de Especies Amenazadas. Version 2015.2. <www.iucnredlist.org>. Consultada en Julio 2015.
- Sztrum, A. A. (2010). Susceptibilidad diferencial al níquel en distintos estadios del desarrollo embrio-larval de *Rhinella* (Bufo) *arenarum*. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 154pp
- Tejeda, S., Ávila, P. P., Zarazúa, G., Carapia, M. L., Díaz, D. C., Lugo, J. (2005). Distribución de metales pesados en sedimentos: Estudio del Curso Alto del Río Lerma. 279-296 pp. En: Rivera, T. F., Gutiérrez, L. A., Val, S. R., Mejía, Z. R., Sánchez, R. P. A., Aparicio, M. J., Díaz, F. L. L. (Editores). La Medición de sedimentos en México. Ediciones IMTA-UJAT, Jiutepec, Morelos/Villahermosa, Tabasco, Mexico 318 pp
- Tipping E., Loftis S., Lawlor A.J., (1998). "Modelling the chemical speciation of trace metals in the surface waters of the Humber system". *The Science of the Total Environment* 210/211 63-77.
- WWF (2013). Guía de iniciativas locales para los anfibios. Ed. Amaya Asiain, Madrid, España. 48pp.

ANEXOS

Anexo 1. Cuadros de valores de los parámetros fisicoquímicos, coliformes fecales, metales pesados y As obtenidos en arroyos del Estado de Michoacán

Tabla 12. Concentraciones promedio de parámetros *in situ* en el agua de arroyos con presencia y ausencia de *Ambystoma ordinarium*.

Arroyo	Época	T	Des. Est.	pH	Des. Est.	C.E.	Des. Est.	O.D	Des. Est.
		(°C)				(µs/cm)		(mg/L)	
Rio Bello	Estiaje	16.87	0.058	8.36	0.120	112.53	0.404	5.08	0.231
	Precipitación pluvial	18.53	0.153	9.34	0.161	107.77	0.252	4.85	0.439
		17.67	0.208	7.16	0.040	107.13	0.231	4.35	0.527
Agua Zarca	Estiaje	16.9	0.000	8.11	0.106	114.7	0.173	5.83	0.981
	Precipitación pluvial	18.57	0.153	9.09	0.107	109.07	0.702	4.85	0.218
		18	0.100	6.88	0.108	109.1	0.500	5.01	0.446
Carindapaz	Estiaje	14.87	0.208	8.08	0.107	88.97	1.629	3.7	0.246
	Precipitación pluvial	15	0.000	8.58	0.496	73.23	0.416	4.91	0.852
		15.17	0.058	6.33	0.070	67.47	0.153	5.59	1.081
Agostitlán	Estiaje	14.1	0.000	7.78	0.020	82.23	1.137	4.03	0.058
	Precipitación pluvial	15.57	0.058	7.82	0.069	54.33	0.058	4.67	0.342
		15.9	0.100	6.13	0.674	54.93	0.058	5.22	0.560
Cien	Precipitación pluvial	16.3	0.100	8.5	0.080	120.43	0.231	5.38	0.122
		15.5	0.310	7.26	0.040	110.57	0.493	5.42	0.554
Mil Cumbres	Precipitación pluvial	15.9	0.436	8.3	0.132	73.23	3.915	3.69	0.431
		15.6	0.643	6.16	0.124	71.6	3.859	4.20	0.199
Iratzio	Precipitación pluvial	20.9	0.666	8.16	0.086	265.03	0.907	1.52	0.044
		16.5	0.208	6.93	0.074	394.77	4.646	0.89	0.311
Pino Real	Precipitación pluvial	14.9	0.643	8.93	0.085	177.5	25.572	5.1	0.435
		15.8	0.115	6.97	0.023	162.93	4.900	3.98	0.592

Temperatura (T, °C), conductividad eléctrica (C.E, µS/cm), oxígeno disuelto (O.D, mg/ L) no aplica (NA)

Tabla 13. Concentraciones promedio de parámetros fisicoquímicos en el agua de arroyos con presencia y ausencia de *Ambystoma ordinarium*.

Arroyo	Época	DQO	Des. Est.	DBO ₅	Des. Est.	Turbiedad	Des. Est.	SDT	Des. Est.	SST	Des. Est.	ST	Des. Est.
		(mg/L)		(mg/L)		(UTN)		(mg/L)		(mg/L)		(mg/L)	
Rio Bello	Estiaje					6.3	0.458						
	Precipitación pluvial	9	1	5.33	0.577	7.37	0.058	93	1	13	1	106	0
		10	0	6.29	0.253	5.8	0.1	82	2	10	0	92	2
Agua Zarca	Estiaje					7.23	0.416						
	Precipitación pluvial	9.33	0.577	5.33	0.577	8.43	0.153	97	1	10	0	106.67	1.155
		8.94	0.498	4.91	0.378	6.1	0.2	83	1	11	1	94.67	1.155
Carindapaz	Estiaje					5.57	0.058						
	Precipitación pluvial	3.41	1.099	3.75	1.009	6.37	0.058	61	1	11	1	72	2
		4.49	0.1	2.47	0.127	8.43	0.321	53	1	8	0	61	1
Agostitlán	Estiaje					5.83	0.306						
	Precipitación pluvial	2.77	0.327	1.19	0.503	6.27	0.351	45	1.15	12	0	57.33	1.155
		4.94	0.796	2.58	0.183	5.5	0.1	43	1.15	6.67	1.155	49.33	1.155
Cien	Precipitación pluvial	9.67	2.082	6.67	1.155	8.3	0.557	103	1	16	3	119	5
		8.39	0.697	4.38	0.478	9.17	0.115	93	1	15	1	109	1
Mil Cumbres	Precipitación pluvial	15.33	3.055	10	2	7.27	0.586	63	2	13	1	75	1
		9.36	0.684	5	0.329	7.23	0.058	60	4	8	0	68	4
Iratzio	Precipitación pluvial	16.67	0.577	10.67	1.155	7.4	1.48	239	3	21	9	260	12
		19.78	6.501	10.43	3.112	10.33	4.114	330	5	58	49	388	54
Pino Real	Precipitación pluvial	14	2	8.67	1.155	7.7	0.66	166	4	25	6	191	10
		7.85	2.285	6.84	2.916	12.33	0.64	138	6	21	4	159	8

Demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos disueltos totales (SDT), sólidos suspendidos totales (SST), sólidos totales (ST),

Tabla 14. Concentraciones promedio de parámetros fisicoquímicos en el agua de arroyos con presencia y ausencia de *Ambystoma ordinarium*.

Arroyo	Época	SS (mg/L)	Des. Est.	Dza. total (mg/L)	Des. Est.	Alc. total (mg/L)	Des. Est.	Ca ²⁺ (mg/L)	Des. Est.	Mg ²⁺ (mg/L)	Des. Est.	Na ⁺ (mg/L)	Des. Est.
Rio Bello	Estiaje	0.167	0.058	48.11	4.763	58	1.528	11.8	0.5	4.5	0.9	5	1.8
	Precipitación pluvial	0.133	0.115	46.82	2.297	54	0.577	13.1	1	3.4	0.8	4.8	1.1
		0	0	33.91	0.546	43	1	7.9	0.5	3.4	0.3	7.3	0.2
Agua Zarca	Estiaje	0.2	3.40E-17	53.61	3.568	61	0.577	11.8	1.3	5.8	0.3	3.5	1.3
	Precipitación pluvial	0	0	48.87	0.993	57	0.577	12.3	1	4.4	0.4	4.5	0.6
		0	0	35.54	0	43	1.155	8.1	0	3.7	0	7.2	0.4
Carindapaz	Estiaje	0	0	38.1	1.184	40	0	9.3	0.5	3.6	0.3	3.2	0.5
	Precipitación pluvial	0	0	30.4	0.307	28	1.732	6.5	1.2	3.5	0.7	3.3	0.3
		0	0	29.41	0.744	26	1	6.4	0.1	3.3	0.1	1.2	0.1
Agostitlán	Estiaje	0	0	33.33	1.178	37	1	7.9	0.5	3.3	0.3	3.9	0.7
	Precipitación pluvial	0	0	22.99	2.06	21	1	4.6	1.5	2.8	1.3	2.3	0.7
		0	0	22.97	0.566	23	0.577	4.9	0.3	2.6	0.2	5.4	6.9
Cien	Precipitación pluvial	0	0	51.14	0.443	52	2	9.5	0.9	6.7	0.6	5.6	0.4
		0	0	46.18	2.321	50	0	10.2	0.2	5	0.4	4.7	0.9
Mil Cumbres	Precipitación pluvial	0	0	30.91	0.816	31	0.577	5.1	2.1	3.2	1.3	5.7	2.9
		0	0	28.65	2.65	39	14.468	5.8	1.2	3.7	0.6	3.2	1.4
Iratzio	Precipitación pluvial	0.133	0.058	79.23	2.03	92	0.577	15.9	0.8	9.6	0.5	30.3	0.6
		0.2	0.2	120.78	1.98	134	4.933	24.9	0.5	14.3	0.3	37.1	2.7
Pino Real	Precipitación pluvial	0.067	0.058	77.97	1.189	79	2.082	15.3	0.8	9.6	0.3	9.8	0.5
		0	0	66	2.286	66	3.215	14	0.4	7.5	0.3	8	1

Sólidos sedimentables (SS), Dureza total (Dza. total), alcalinidad total (Alc. total), calcio (Ca²⁺), magnesio (Mg²⁺), sodio (Na⁺).

Tabla 15. Concentraciones promedio de parámetros fisicoquímicos en el agua de arroyos con presencia y ausencia de *Ambystoma ordinarium*.

Arroyo	Época	Cl ⁻	Des. Est.	HCO ₃ ⁻	Des. Est.	SO ₄ ²⁻	Des. Est.	PO ₄ ³⁻	Des. Est.	N-NO ₃	Des. Est.	N-NH ₃	Des. Est.
		(mg/L)		(mg/L)		(mg/L)		(mg/L)		(mg/L)		(mg/L)	
Rio Bello	Estiaje	4.4	0.7	58	1.53	3.3	0.9	-	-	-	-	-	-
	Precipitación pluvial	4.7	0.1	54	0.58	5.2	0.6	3.19	0.72	0.5	0.1	0.26	0.09
		5.9	0.2	43	1	4.8	0.4	3.18	0.65	0.18	0.02	0.18	0.03
Agua Zarca	Estiaje	4.2	0.1	61	0.58	3.3	0.1	-	-	-	-	-	-
	Precipitación pluvial	4.6	0	57	0.58	3.6	0	2.35	0.7	0.35	0.01	0.3	0.03
		6.4	0	43	1.15	5.5	0.3	4.07	0.54	0.25	0.03	0.17	0.06
Carindapaz	Estiaje	4.9	0	40	0	3.9	0	-	-	-	-	-	-
	Precipitación pluvial	4.6	0.4	28	1.73	7	0.5	0.18	0	0.31	0.06	0.15	0.03
		3.4	0	26	1	4.9	0.2	4.29	0.54	0.26	0.02	0.19	0.03
Agostitlán	Estiaje	4.8	0.3	37	1	3.4	0.6	-	-	-	-	-	-
	Precipitación pluvial	3.5	0.1	21	1	4.5	0.4	0.18	0	0.28	0.05	0.34	0.06
		2.7	0.2	23	0.58	2.8	0.2	4.11	0.44	0.28	0.01	0.15	0.06
Cien	Precipitación pluvial	6.9	0.1	52	2	8.3	0.1	2.33	1.83	0.39	0.11	0.18	0.09
		5.1	0.1	50	0	6.6	0.3	4.72	0.24	0.26	0.01	0.41	0.03
Mil Cumbres	Precipitación pluvial	4.1	0.1	31	1	5.6	0.7	3.63	0.12	0.23	0.02	0.26	0.03
		3.5	0.6	39	14	5.1	1	4.32	0.48	0.13	0.01	0.24	0.03
Iratzio	Precipitación pluvial	29.5	0.3	92	1	22.5	0.1	4.29	0.77	0.11	0.01	1.12	0.06
		38.3	1.3	134	5	31.2	0.8	4.77	0.36	0.13	0.03	3.05	0.03
Pino Real	Precipitación pluvial	12.7	0.3	79	2	14.3	0.3	3.69	0.25	0.12	0.01	0.22	0
		8.9	1	66	3	13.4	0.4	3.5	0.13	0.16	0.03	0.2	0.03

Cloruro (Cl⁻), bicarbonato (HCO₃⁻), sulfato (SO₄²⁻), fosfato (PO₄³⁻). Nitrato (N-NO₃), nitrógeno amoniacal (N-NH₃).

Tabla 16. Balance iónico en el agua de arroyos con presencia y ausencia de *Ambystoma ordinarium*

Arroyos	Época	B.I. (%)
RBC E	Estiaje	1.31
RBC P*	Precipitación Pluvial	1.04
RBC P**		1.35
AGZ E	Estiaje	1.25
AGZ P*	Precipitación Pluvial	1.24
AGZ P**		1.35
CPZ E	Estiaje	1.34
CPZ P*	Precipitación Pluvial	1.12
CPZ P**		1.17
AGO E	Estiaje	1.43
AGO P*	Precipitación Pluvial	2.04
AGO P**		12.26
CIEN P*	Precipitación Pluvial	1.80
CIEN P**		1.18
MC P*	Precipitación Pluvial	-1.89
MC P**		-6.44
IRA P*	Precipitación Pluvial	1.48
IRA P**		1.16
PR P*	Precipitación Pluvial	0.68
PR P**		1.48

Estiaje (E), Precipitación pluvial (P* sep-oct)-(P** oct-nov)

Tabla 17. Concentraciones promedio de metales pesados y As en el agua de arroyos con presencia y ausencia de *Ambystoma ordinarium*.

Arroyo	Época	Cu	Des. Est.	Fe	Des. Est.	Ni	Des. Est.	Pb	Des. Est.	Zn	Des. Est.	As	Des. Est.
		(mg/L)		(mg/L)		(mg/L)		(mg/L)		(mg/L)		(mg/L)	
Rio Bello	Estiaje	0.000	0.000	0.121	0.024	0.075	0.007	0.000	0.000	0.062	0.048	0.000	0.000
	Precipitación pluvial	0.017	0.000	0.158	0.03	0.074	0.007	0.000	0.000	0.021	0.018	0.000	0.000
		0.000	0.000	0.094	0.047	0.003	0.005	0.609	0.042	0.006	0.004	0.0003	0.0002
Agua Zarca	Estiaje	0.000	0.000	0.136	0.118	0.066	0.008	0.000	0.000	0.002	0.002	0.000	0.000
	Precipitación pluvial	0.03	0.016	0.492	0.249	0.077	0.014	0.000	0.000	0.073	0.033	0.0011	0.0018
		0.000	0.000	0.128	0.008	0.000	0.000	0.348	0.036	0.022	0.007	0.0002	0.0002
Carindapaz	Estiaje	0.001	0.001	0.112	0.095	0.071	0.011	0.000	0.000	0.025	0.021	0.000	0.000
	Precipitación pluvial	0.003	0.003	0.182	0.025	0.059	0.01	0.000	0.000	0.000	0.000	4.15E-05	7.18E-05
		0.000	0.000	0.114	0.029	0.071	0.009	0.007	0.01	0.015	0.003	0.001	0.0003
Agostitlán	Estiaje	0.013	0.009	0.291	0.065	0.078	0.006	0.000	0.000	0.03	0.023	0.000	0.000
	Precipitación pluvial	0.015	0.01	0.427	0.191	0.069	0.007	0.000	0.000	0.013	0.01	0.000	0.000
		0.000	0.000	0.239	0.035	0.068	0.004	0.011	0.01	0.003	0.001	0.0004	0.0001
Cien	Precipitación pluvial	0.006	0.000	0.48	0.08	0.062	0.006	0.000	0.000	0.003	0.005	0.000	0.000
		0.000	0.000	0.349	0.019	0.024	0.024	0.082	0.043	0.011	0.005	0.0006	0.0002
Mil Cumbres	Precipitación pluvial	0.004	0.001	1.514	0.576	0.067	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	5.63E-05	9.75E-05
		0.000	0.000	1.244	0.051	0.05	0.008	0.071	0.044	0.007	0.006	0.0005	0.0001
Iratzio	Precipitación pluvial	0.01	0.006	1.792	0.163	0.069	0.02	0.000	0.000	0.01	0.016	0.000	0.000
		0.000	0.000	0.394	0.177	0.000	0.000	0.319	0.05	0.014	0.003	0.0001	0.0001
Pino Real	Precipitación pluvial	0.005	0.001	0.319	0.084	0.073	0.002	0.000	0.000	0.003	0.004	3.97E-05	6.88E-05
		0.000	0.000	0.439	0.034	0.003	0.003	0.162	0.219	0.011	0.004	0.0005	0.0002

Cobre (Cu), hierro (Fe), níquel (Ni), plomo (Pb) zinc (Zn) y arsénico (As)

Tabla 18. Especiación química del Fe expresado en (%) en arroyos con presencia y ausencia de *Ambystoma ordinarium*.

Especie	Presencia					Ausencia		
	RBC	AGZ	CPZ	AGO	CIEN	MC	IRA	PR
Fe ²⁺	77.21	78.01	97.76	98.10	97.25	96.33	93.64	93.84
FeOH ⁺	21.91	21.42	1.35	1.14	1.64	2.78	3.46	4.32
FeSO ₄ (aq)	0.57	0.44	0.89	0.77	1.11	0.89	2.86	1.79
Fe(OH) ₂ (aq)	0.28	0.12						0.04
Fe(OH) ₃ ⁻	0.03							
FeCl ⁺							0.04	0.01

Tabla 19. Especiación química del Ni expresados en (%) en arroyos con presencia y ausencia de *Ambystoma ordinarium*.

Especie	Presencia					Ausencia		
	RBC	AGZ	CPZ	AGO	CIEN	MC	IRA	PR
Ni ²⁺	76.00	80.13	98.66	98.92	97.99	97.39	96.22	90.00
NiOH ⁺	6.81	7.24	0.45	0.38	0.55	1.32	1.15	1.22
Ni(OH) ₂ (aq)	16.18	11.58	0.14	0.04	0.53	0.54	0.18	7.19
Ni(OH) ₃ ⁻	0.55	0.16						0.08
NiSO ₄ (aq)	0.47	0.88	0.75	0.65	0.93	0.76	2.42	1.51
NiCl ⁺							0.02	

Tabla 20. Especiación química del Zn expresados en (%) en arroyos con presencia y ausencia de *Ambystoma ordinarium*.

Especie	Presencia					Ausencia		
	RBC	AGZ	CPZ	AGO	CIEN	MC	IRA	PR
Zn ²⁺	16.33	5.54	85.05	91.74	83.60	69.01	74.19	68.02
ZnOH ⁺	3.83	3.63	2.10	2.66	2.64	4.04	6.72	1.35
Zn(OH) ₂ (aq)	79.23	90.42	12.10	4.91	12.85	26.33	16.90	29.09
Zn(OH) ₃ ⁻	0.45	0.39			0.03	0.03	0.02	0.30
ZnCl ⁺	0.01		0.03	0.02	0.03	0.02	0.14	0.05
ZnSO ₄ (aq)	0.16	0.02	0.72	0.65	0.85	0.57	2.04	1.19

Tabla 21. Concentración promedio de coliformes fecales en el agua de arroyos con presencia y ausencia de *Ambystoma ordinarium*

Arroyo	Época	Coliformes fecales	Des. Est.
		NMP/100mL	
Rio Bello	Estiaje	81	23.459
	Precipitación pluvial	98	24.132
		23	6.083
Agua Zarca	Estiaje	146	48.645
	Precipitación pluvial	157	24.515
		13	15.275
Carindapaz	Estiaje	44	29.462
	Precipitación pluvial	59	7.211
		22	22.546
Agostitlán	Estiaje	183	32.146
	Precipitación pluvial	34	3.606
		3	4.619
Cien	Precipitación pluvial	0	0
		709	282.002
Mil Cumbres	Precipitación pluvial	108	7.638
		148	42.143
Iratzo	Precipitación pluvial	173	46.188
		0	0
Pino Real	Precipitación pluvial	83	144.338
		631	109.569

ANEXO B. TABLAS DE ESTADÍSTICA DE AGUA

Tabla 22. Valores de las variables creadas para cada parámetro en el análisis ACP en JMP.

Variables	CP1	CP2	CP3
T	0.5228	0.371	0.3031
pH	0.05092	0.27618	-0.29919
OD	0.11627	0.30781	0.06679
C.E.	-0.03051	-0.05263	-0.05647
Turbiedad	0.09572	0.07098	-0.02565
Sol. sed.	-0.05429	0.23129	0.61177
Dza. total	-0.05154	0.007	-0.07987
Alc. total	0.02891	0.01749	-0.00285
Ca	0.05442	-0.01915	-0.07723
Mg	-0.149	0.03077	-0.07977
Na	-0.01863	-0.07364	0.0358
Cl	-0.0952	-0.09348	-0.01562
SO4	-0.11824	-0.06904	-0.10435
HCO3	0.02891	0.01749	-0.00285
Cu	0.26251	-0.02096	-0.40877
Fe	0.03632	0.05272	0.22687
Ni	-0.30837	-0.14362	0.20525
Pb	0.44602	0.12135	-0.16323
Zn	0.49485	-0.72874	0.16234
As	0.09517	-0.12744	0.28861
Col. fecales	0.02165	-0.19745	0.61229

Temperatura (T, °C), Oxígeno disuelto (O.D, mg/ L), Conductividad eléctrica (C.E, $\mu\text{S}/\text{cm}$), Sólidos sedimentables (Sól. Sed.), Dureza total (Dza. total), Alcalinidad total (Alc. total), Calcio (Ca^{2+}), Magnesio (Mg^{2+}), Sodio (Na^+), Cloruros (Cl^-), Sulfatos (SO_4^{2-}) y Bicarbonatos (HCO_3^-).Cobre (Cu), Hierro (Fe), Níquel (Ni), Plomo (Pb) Zinc (Zn) y Arsénico (As), Coliformes fecales (Col. fecales).

ANEXO C PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DE SEDIMENTOS

Tabla 23. pH y metales pesados en sedimentos de arroyos con presencia y ausencia de *Ambystoma ordinarium*.

Arroyo	Época	pH	Des. Est.	Cu (mg/kg)	Des. Est.	Fe (mg/kg)	Des. Est.	Ni (mg/kg)	Des. Est.	Zn (mg/kg)	Des. Est.
Rio Bello	Estiaje	6.15	0.254	6.53	1.626	15073	385.5	28.53	7.444	26.33	6.178
	Precipitación pluvial	6.36	0.211	5.67	0.252	14780	230.0	28.70	4.757	19.97	6.231
		5.96	0.110	5.23	0.737	14160	230.0	16.17	2.663	11.53	2.902
Agua Zarca	Estiaje	5.99	0.244	3.57	0.666	6490	2943.7	20.13	6.700	15.83	3.436
	Precipitación pluvial	5.47	0.105	4.30	0.819	8710	668.4	21.00	3.208	17.03	3.009
		5.54	0.058	4.13	1.050	14070	703.8	19.43	5.034	13.27	4.806
Carindapaz	Estiaje	5.96	0.128	6.40	1.480	15273	257.0	48.03	35.392	23.07	9.773
	Precipitación pluvial	5.92	0.179	5.03	1.026	15503	910.3	28.03	5.108	15.37	5.064
		5.45	0.090	5.17	0.551	15163	66.6	28.70	9.331	11.60	5.862
Agostitlán	Estiaje	5.95	0.250	8.17	3.591	9910	2984.2	49.57	22.155	20.23	18.570
	Precipitación pluvial	6.09	0.096	15.40	12.557	10757	519.6	50.10	8.628	24.17	3.656
		5.58	0.084	7.00	1.572	10193	1202.7	51.07	15.372	25.03	4.743
Cien	Precipitación pluvial	6.28	0.080	0.20	0.100	7410	580.3	0.50	0.624	0.83	1.443
		6.36	0.125	5.20	8.834	7460	1185.3	0.00	0.000	0.000	0.000
Mil Cumbres	Precipitación pluvial	5.74	0.241	3.07	0.961	13290	463.6	10.43	2.743	35.83	6.886
		5.45	0.150	2.30	0.520	13540	1304.6	4.37	2.201	24.4	9.280
Iratzio	Precipitación pluvial	6.22	0.091	11.27	0.569	15900	663.6	56.00	7.831	50.57	0.473
		6.59	0.117	12.20	3.537	15420	343.9	49.73	4.424	44.03	17.052
Pino Real	Precipitación pluvial	6.32	0.223	6.43	0.404	15567	194.3	63.90	7.108	33.3	3.041
		6.21	0.031	7.03	0.643	15777	443.8	80.90	17.781	29.6	2.152

Cobre (Cu), hierro (Fe), níquel (Ni), zinc (Zn)

ANEXO E Técnicas aplicadas en agua y sedimentos

Cationes y aniones

La determinación de Ca^{2+} y Mg^{2+} se realizó por espectrometría de absorción atómica (APHA-AWWA-WPCF 1995). Los SO_4^{2-} , Cl^- y PO_4^{3-} se evaluaron por métodos tritrimétricos (DOF 1981, DOF 2001i) y finalmente, los CO_3^{2-} y HCO_3^- se calcularán mediante las ecuaciones 1 y 2, con base en los valores de alcalinidad total y pH obtenidos (Deutsch, 1997):

$$\text{CO}_3^{2-} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{\left[\text{Alcalinidad total} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CaCO}_3 \right) \right] 60}{(2 + 10^{-\text{PH}}/10^{-10.3})50}$$

Ecuación 1. Cálculo de la concentración de CO_3^{2-} en agua.

$$\text{HCO}_3^- \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{\left[\text{Alcalinidad total} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{CaCO}_3 \right) \right] 60}{(1 + 2 * 10^{-\text{PH}}/10^{-10.3})50}$$

Ecuación 2. Cálculo de la concentración de HCO_3^- en agua.

Balance iónico o condición de electroneutralidad

El balance iónico o condición de electroneutralidad permite comprobar la exactitud de los resultados de los análisis químicos mediante un cálculo aritmético, el cálculo se basa en la obtención del error porcentual de la neutralidad eléctrica de las muestras de agua de los principales cationes y aniones determinados. El error que resulta de dicho balance se expresa por la diferencia de iones (Ecuación 1 y 2). Si el error es negativo, hay exceso de aniones y si es positivo exceso de cationes. Se considera aceptable un error menor o igual al 10% (Alfaro 2010, Peña *et al.* 2012).

$$\% \text{Electroneutralidad} = \frac{\sum \text{Cationes} - \sum \text{Aniones}}{\sum \text{Cationes} + \sum \text{Aniones}} \times 100$$

Ecuación 3. Cálculo del error porcentual

Tipo de agua mediante el diagrama de Piper

La composición mayor de los iones presentes en el agua se utiliza para clasificar las aguas en diversos tipos, se basa en la concentración de cationes y aniones dominantes que se proyectan a un punto en un cuadrilátero que representa las características químicas del agua (Deutsch 1997). Para representarlo de manera gráfica se utilizan los diagramas de Piper o diagramas trilineales.

La figura 2. Muestra la forma básica del trazado del diagrama trilineal para analizar el agua y proyecta los distintos tipos de agua de acuerdo a las concentraciones de cationes y aniones mayoritarios.

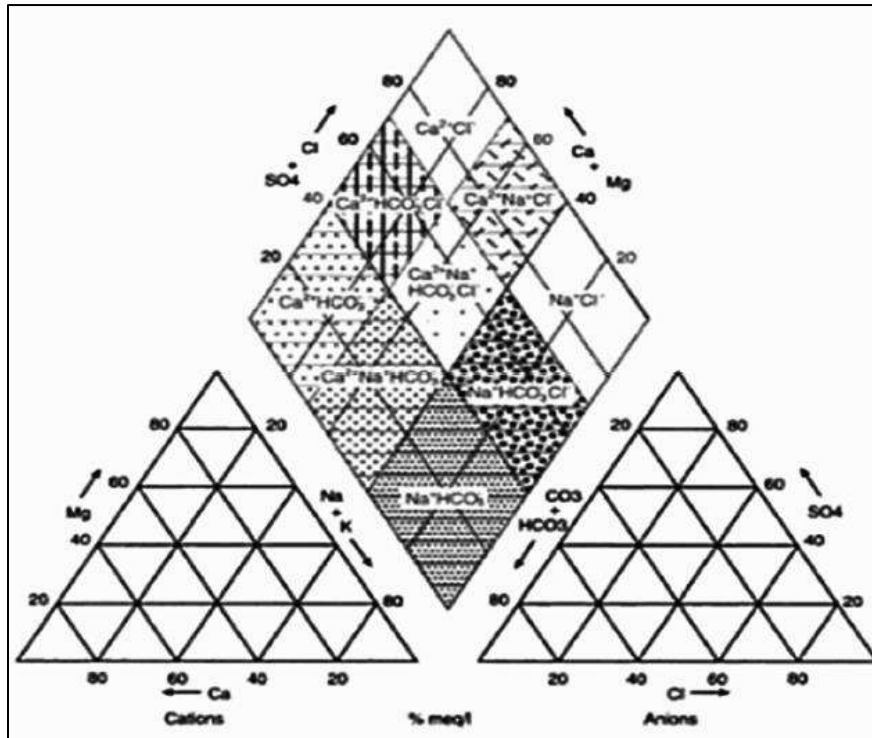
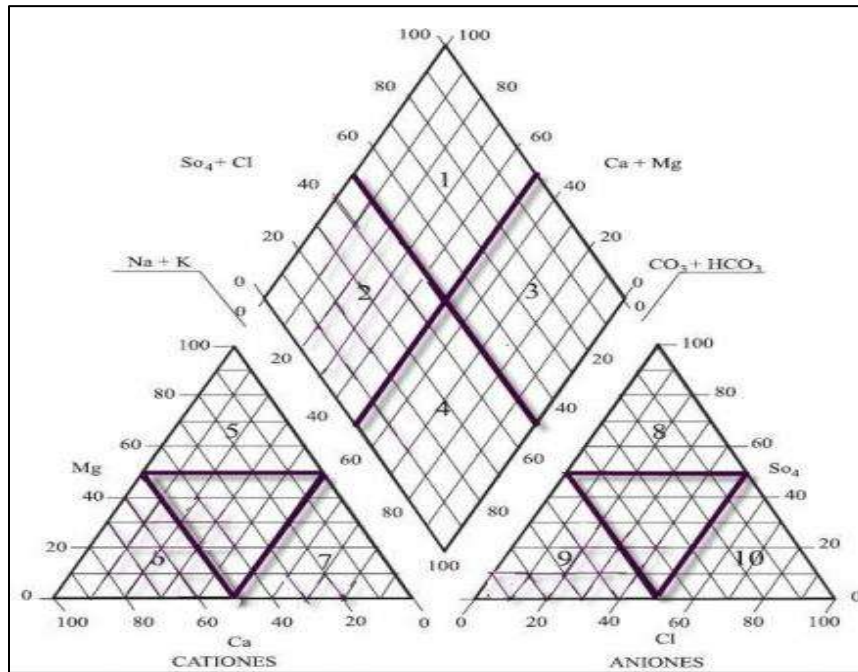


Figura 42. Esquema del diagrama de Piper Hill.



Familias del Diagrama de Piper Hill: 1. Sulfatadas y/o clorurada cálcicas y/o magnésicas. 2. Bicarbonatadas cálcicas y/o magnésicas. 3. Cloruradas y/o sulfatadas sódicas 4. Bicarbonatadas sódicas 5. Tipo magnésicas 6. Tipo cálcicas 7. Tipo sódicas 8. Tipo Sulfatadas 9. Tipo Bicarbonatadas 10. Tipo cloruradas.

Digestión ácida para sedimentos

MATERIAL Y REACTIVOS

- Recipientes de digestión
- Matraz aforado
- Matraz de bola
- Refrigerante
- Mangueras
- Bomba para agua
- Horno de secado
- Termómetro
- Papel filtro Whatman No. 40
- Balanza analítica
- Manta de calentamiento
- Embudo de vidrio
- Probeta
- Pipetas volumétricas
- Soporte universal
- Espátula
- Reactivos
- Agua desionizada
- HNO₃ de alta pureza
- H₂O₂ al 30%
- HCl de alta pureza

PROCEDIMIENTO

1. Pesar 1 g de sedimento seco y transferirlo al recipiente de digestión.
2. Preparar ácido nítrico 1:1 (5 mL de agua desionizada y 5 mL de HNO₃), añadir 10 mL de ácido nítrico 1:1, mezclar ligeramente el sedimento y cubrir con el aparato de reflujo.
3. Calentar la muestra a 95 ± 5 °C en reflujo y una vez controlada la temperatura esperar 10 min sin permitir ebullición. Dejar que se enfríe la muestra.
4. Una vez enfriada la muestra, añadir 5 mL de HNO₃, calentar en reflujo por 30 min, si se generan humos color café, se debe repetir este paso las veces que sean necesarias hasta no generar humos cafés.
5. Evaporar la solución hasta aproximadamente 5 mL sin ebullición o calentar a 95 ± 5 °C sin ebullición por 2 h. Mantener siempre cubierta la muestra con solución en el recipiente.
6. Terminado el paso anterior dejar enfriar, y añadir 2 mL de agua desionizada y 3 mL de H₂O₂ al 30 %, calentar en reflujo, teniendo cuidado de no calentar demasiado para evitar efervescencia excesiva para de esta manera disminuir pérdidas. Calentar hasta que no haya efervescencia y enfriar el recipiente.
7. Una vez enfriado el recipiente, continuar añadiendo H₂O₂ al 30 % en alícuotas de 1 mL con calentamiento hasta que la efervescencia sea mínima y la apariencia no cambie.

Nota: No añadir más de 10 mL de H₂O₂ al 30%.

8. Terminado el paso anterior dejar enfriar, añadir 10 mL de HCl y calentar en reflujo por 15 min.
9. Después del paso anterior, enfriar la muestra, filtrarla con papel whatman No. 440 recibiendo el líquido en un matraz aforado de 100 mL y llevar al volumen con agua desionizada.

Determinación de color en sedimento

Método de la tabla Munsell para la determinación del color de los suelos. La determinación se basa en el igualamiento del color observado en el sedimento tanto en seco como en húmedo respecto al color registrado en las tarjetas de color, ubicadas en cada una de las páginas de la Tabla Munsell, donde se manejan los parámetros de matiz (Hue), Brillo (Value) e Intensidad (Chroma).

MATERIAL Y EQUIPO

- Tabla de color Munsell (Munsell soil color charts)
- Placa de porcelana con huecos
- Piceta
- Tamiz con aberturas de 2 mm de diámetro

PROCEDIMIENTO

Determinación en seco

1. Tome aproximadamente 100 g del suelo previamente secado al aire y páselo por el tamiz de abertura de 2mm.
2. De la muestra de suelo tamizado tome una pequeña cantidad, suficiente para enrasar uno de los huecos de la placa de porcelana.
3. Tome la cápsula de porcelana y colóquela debajo de la página de la Tabla Munsell, ubicando la muestra de suelo por debajo de cada orificio de la carta junto al cual se tiene la tarjeta con el color.
4. Recorre las páginas que considere tiene una mayor similitud entre el color que presenta el suelo y el color de las tarjetas, hasta encontrar el color que más se parezca al del suelo.
5. Una vez ubicada el color registre el valor de Hue que encuentra en la parte superior derecha de la página, asimismo registre el valor del Value ubicado en el eje vertical de la página y el valor de chroma ubicado en el eje "x" de la página.

Determinación en húmedo

Para la determinación en húmedo se sigue el mismo procedimiento anterior con la diferencia que una vez colocada el suelo en la placa de porcelana se humedece sin saturarlo, teniendo cuidado de no exceder el agua, para evitar que brille.

Determinación del tamaño de partículas para sedimento

Se determina por el método de la pipeta para el tamaño de las partículas de los suelos. El método de la pipeta es un procedimiento de muestreo directo. El método consiste en tomar una submuestra (alícuota) de una suspensión de sedimento en agua donde se está llevando a cabo un proceso de sedimentación. La submuestra es tomada a una profundidad h y a un tiempo t , en el que todas las partículas con diámetro mayor o igual a 0.002 mm han sedimentado, teniéndose en las alícuotas únicamente partículas pertenecientes a la fracción arcillosa. El método se basa en la Ley de Stokes.

REACTIVOS

- Hexametáfosfato de sodio 1N
- Agua destilada

MATERIAL Y EQUIPO

- Pipeta lowy
- Botellas de 250 mL
- Tamices de 300 mallas
- Cápsula de porcelana
- Estufa de aire forzado
- Balanza analítica
- Agitador de vidrio
- Probetas graduadas de 1L
- Sedimento sin materia orgánica

PROCEDIMIENTO

1. Pesar 20 g de suelo el cual debe estar seco, sin materia orgánica, tamizado a través de la malla de <2 mm.
2. Se colocó la muestra en una botella de 250 mL.
3. Se agregó a la botella con suelo 10 mL del dispersante hexametáfosfato de sodio.
4. Una vez agregado el dispersante a la botella, colocar agua destilada hasta casi llenarla, dejando un espacio de 4 cm para que se pueda agitar.
5. Se pone agitar la botella con los reactivos durante 16 h.
6. Al día siguiente la solución de la botella se pasa por un tamiz N. 105 con diámetro de 0.105 mm, separando así las arenas de los limos y arcillas.
7. Una vez separados los limos y arcillas por el tamiz, las arenas son lavadas con agua de la llave (eliminando la materia orgánica de las arenas) y se colocan en frascos para después ponerlas a secar.
8. Los limos y arcillas se pasan a una probeta de 1 L, se afora con agua destilada, se deja reposar toda la noche.
9. Al día siguiente se agitan durante 1 min todas las probetas, se toma una alícuota de limo grueso y se esperan 10 min para tomar dos alícuotas de limo fino con la pipeta de lowy, las alícuotas se colocan en frascos y se ponen a secar. (Con base a la temperatura es la profundidad a la que se toma la muestra de limo grueso; para limos finos se toma la muestra a la mitad de la solución que quede en la probeta).
10. Se dejan reposar las probetas durante 4.5 h, se extraen cada media alícuotas de arcilla hasta llegar a cinco alícuotas, se colocan en frascos y se ponen a secar. (Con base a la temperatura es la profundidad a la que se toma la muestra).
11. Una vez seca todas las muestras se pesan y se realizan los cálculos para determinar la cantidad que se tienen en el suelo de cada una de las texturas.

Determinación de pH en sedimento

Se determina mediante el método 9045 de la EPA, el cual indica el procedimiento electrométrico para medir el pH en suelos y muestras de sedimento, pueden ser sólidos, lodos, o líquidos no acuosos. Si el agua está presente, debe constituir menos del 20% del volumen total de la muestra.

Inmediatamente después de la colecta, la muestra se mezcla con agua desionizada, y el pH de la solución acuosa que resulte se mide.

MATERIAL

- Frascos de 50 mL
- Termómetro
- Potenciómetro

PROCEDIMIENTO

1. A 20 gr de sedimento en un frasco de 50 mL añadir 20 mL de agua destilada, cubrir y agitar continuamente la suspensión durante 5 min.
2. Permitir que la suspensión de sedimento repose por una hora para que la mayor parte de la arcilla suspendida sedimente, si es necesario filtrar o centrifugar la fase acuosa para la medición del pH.
3. Tomar la temperatura de la solución.
4. Reportar los resultados como "pH de sedimento medido en agua a – T °C"