

MAESTRIA EN CIENCIAS EN INGENIERIA AMBIENTAL



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

MAESTRIA EN CIENCIAS EN INGENIERIA AMBIENTAL

Facultad de Biología
Facultad de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería Química

Evaluación de la calidad del agua y los sedimentos y su relación con la presencia de la salamandra de montaña (*Ambystoma ordinarium*) en arroyos de los municipios del noroeste del Estado de Michoacán

TESIS

Para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS EN INGENIERIA AMBIENTAL

Presentada por:
I.Q. Nancy Alvarado Gómez

Directoras de tesis:

Dra. Ruth Alfaro Cuevas Villanueva

Dra. Ileri Suazo Ortuño



Morelia, Michoacán, Septiembre, 2016.

Dedico este trabajo a la memoria de mis abuelos: José Gómez León†, Ángela Almanza García†, Francisco Alvarado Pizano† y María del Carmen Zambrano López†.

A mi madre María Guadalupe Gómez Almanza y a mi padre Alfredo Alvarado Zambrano.

A mi compañera: Karla Alejandra Guzmán Avilés.

A mis hermanos: Nallely, Alfredo y Luis Fernando.

A mis tíos: Lourdes, Patricia, Silvia, José, Ana, Ma. Dolores y Ma. Del Carmen.

Este trabajo se realizó en las instalaciones del Instituto de Investigaciones Químico Biológicas (IIQB) en el laboratorio de Espectrofotometría de Absorción Atómica (AAS,) y en el laboratorio de edafología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, bajo la dirección de la Doctora Ruth Alfaro Cuevas Villanueva en colaboración con mi coasesora la Doctora Ileri Suazo Ortuño.

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico brindado por medio de una beca con el número de becario 577690.

AGRADECIMIENTOS

- Agradezco primeramente a mi estimada asesora, la Doctora Ruth Alfaro Cuevas Villanueva por las enseñanzas durante estos dos años, por su paciencia y empatía que demostró hacia mi persona y por todo el apoyo para sacar adelante este proyecto.
- A mi coasesora la Doctora Ileri Suazo Ortuño por darme la oportunidad y confianza de participar en este proyecto.
- A mis apreciables sinodales, Dr. Raúl Cortes Martínez, Dra. Maricela Villicaña Méndez y al Dr. Luis Humberto Escalera por todas las enseñanzas y observaciones que contribuyeron a la mejora de este trabajo.
- Al Dr. Carlos Soto Rojas por el tiempo brindado para ayudar con el transporte para ir a los sitios de muestreo.
- A mis familiares por todo su apoyo.
- Al Ingeniero Juan Rangel Camarena por el apoyo en las determinaciones fisicoquímicas y bacteriológicas que se realizaron en el laboratorio de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).
- A la ingeniera Berenice por su colaboración en el laboratorio de meteorología de CONAGUA.
- A mi amiga y compañera, la Biol. Maricela Hernández García por su apoyo y colaboración dentro del laboratorio y en campo y por la valiosa amistad que me brindo durante la maestría.
- A mi fiel compañera Karla Alejandra Guzmán Avilés por todo su cariño y apoyo.
- A mis compañeros Nidia Libia Torres y Enrique Loya por su apoyo y compañerismo durante la maestría.
- A mis compañeros Juan Carlos Cuello, Mariela, Selene, Isabel y Karina por su colaboración en los laboratorios de edafología y de adsorción atómica.
- Al Dr. Marco Antonio Martínez Cinco por su comprensión y apoyo durante la maestría.

INDICE

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN	3
2. MARCO TEORICO.....	4
2.1. Generalidades.....	4
2.1.1. Disponibilidad del agua.....	4
2.2. Arroyos de montaña.....	4
2.3. Anfibios en México	5
2.3.1. Salamandras de la familia <i>Ambystomatidae</i>	6
2.4. <i>Ambystoma ordinarium</i>	7
2.4.1 Descripción de <i>Ambystoma ordinarium</i>	7
2.4.2 Hábitat y hábitos	8
2.5. Requerimientos de calidad de agua para <i>Ambystoma ordinarium</i>	9
2.6. Calidad del agua	11
2.7. Parámetros de calidad	11
2.7.1. Propiedades organolépticas	11
2.7.2. Parámetros fisicoquímicos	12
2.7.3. Metales pesados en agua.....	15
3. ANTECEDENTES	18
4. JUSTIFICACIÓN	20
5. HIPÓTESIS	20
6. OBJETIVOS	20
7. METODOLOGÍA.....	21
7.1. Descripción del área de estudio.....	21
7.2. Descripción de la zona de estudio	23
7.2.1 Charo	23
7.2.2 Queréndaro.....	24
7.2.3 Salvador Escalante	24
7.2.4 Tacámbaro.....	25
7.3. Parámetros a evaluar	26
7.4. Toma de muestras	26

7.4.1 Toma de muestras del agua	27
7.5 Toma de muestras para sedimentos.....	28
7.5.1. Transporte y almacenamiento	28
7.5.2 Homogeneización	28
7.5.3 Secado.....	29
7.6. Procedimiento general para el análisis de agua	29
7.6.1. Parámetros organolépticos	29
7.6.2. Parámetros fisicoquímicos <i>in situ</i>	29
7.6.3. Parámetros fisicoquímicos en laboratorio	30
7.6.4. Coliformes fecales	31
7.7. Metales pesados	31
7.8. Análisis estadístico para agua.....	31
7.9. Procedimiento general para análisis de sedimentos	32
7.9.1. Parámetros físicos	32
7.9.2. Parámetros químicos	32
7.10. Análisis estadístico para sedimentos	33
8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	33
8.1. Agua.....	33
8.1.1. Parámetros Físicos	33
8.1.2. Parámetros <i>in situ</i>	38
8.1.3. Parámetros fisicoquímicos del laboratorio	42
8.1.4. Coliformes fecales	53
8.1.5. Metales pesados.....	54
8.2. Análisis estadístico multivariado para presencia-ausencia de <i>A. ordinarium</i>	60
8.2.1. ANOVA y tukey para parámetros <i>in situ</i> por presencia-ausencia de <i>A. ordinarium</i>	60
8.2.2. ANOVA y tukey para parámetros fisicoquímicos de laboratorio por presencia-ausencia de <i>A. ordinarium</i>	61
8.2.3. ANOVA y tukey para metales pesados en agua por presencia- ausencia de <i>A. ordinarium</i>	64
8.3. Análisis estadístico multivariado por temporadas de muestreo en agua	65
8.3.1. ANOVA y Tukey de parámetros <i>in situ</i>	65
8.3.2. ANOVA y Tukey de parámetros fisicoquímicos de laboratorio por temporadas de muestreo.....	67

8.3.3. ANOVA y Tukey de metales pesados en agua por temporadas de muestreo.....	68
8.4. Sedimentos	70
8.4.1. Parámetros físicos	70
8.4.2. Parámetros químicos.....	74
8.4.3. Metales pesados en sedimentos.....	75
8.5. Análisis estadístico de sedimentos	79
8.5.1. Análisis estadístico de metales pesados en sedimentos por presencia-ausencia de <i>A. ordinarium</i>	80
8.5.2. Análisis estadístico de sedimentos por temporadas	81
8.6. Análisis de componentes principales	81
9. CONCLUSIONES	83
10. RECOMENDACIONES	84
11. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	84
12. ANEXOS	90

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ejemplar adulto de <i>Ambystoma ordinarium</i> colectada en la localidad de Ichaqueo, Municipio de Morelia, Michoacán.....	8
Figura 2. Localización de sitios de estudio	22
Figura 3. Valores de turbiedad para los ocho sitios de muestreo.....	36
Figura 4. Valores de color para los ocho sitios de muestreo	36
Figura 5. Valores de profundidad para los ocho sitios de muestreo.....	37
Figura 6. Valores de temperatura para los ocho sitios de muestreo	41
Figura 7. Valores de conductividad eléctrica para los ocho sitios de muestreo	41
Figura 8. Valores de pH para los ocho sitios de muestreo	42
Figura 9. Valores de oxígeno disuelto para los ocho sitios de muestreo.....	42
Figura 10. Valores de DQO para los ocho sitios de muestreo.....	47
Figura 11. Valores de DBO5 para los ocho sitios de muestro	47
Figura 12. Valores de sólidos totales para los ocho sitios de muestreo	48
Figura 13. Valores de los sólidos suspendidos totales para los ocho sitios de muestreo	48
Figura 14. Valores de sólidos disueltos totales para los ocho sitios de muestreo	49
Figura 15. Valores de alcalinidad total para los ocho sitios de muestreo	49
Figura 16. Valores de dureza total para los ocho sitios de muestreo	50
Figura 17. Valores de sulfatos para los ocho sitios de muestreo	50
Figura 18. Valores de bicarbonatos para los ocho sitios de muestreo	51

Figura 19. Valores de nitratos para los ocho sitios de muestreo	51
Figura 20. Valores de amonio para los ocho sitios de muestreo	52
Figura 21. Valores de coliformes fecales para los ocho sitios de muestreo	53
Figura 22. Valores de concentración de níquel para los ocho sitios de muestreo	56
Figura 23. Valores de concentración de zinc para los ocho sitios de muestreo	57
Figura 24. Valores de concentración de cobre para los ocho sitios de muestreo	57
Figura 25. Valores de concentración de hierro para los ocho sitios de muestreo	58
Figura 26. Valores de concentración de cromo para los ocho sitios de muestreo	58
Figura 27. Valores de concentración de arsénico para los ocho sitios de muestreo	59
Figura 28. Análisis de una vía para la temperatura en los 8 sitios de muestreo por presencia-ausencia de la salamandra.....	62
Figura 29. Análisis de una vía para la conductividad eléctrica en los 8 sitios de muestreo por presencia-ausencia de la salamandra.....	62
Figura 30. Análisis de una vía para la turbiedad en los 8 sitios de muestreo por presencia-ausencia de la salamandra.....	62
Figura 31. Análisis de una vía para la profundidad en los 8 sitios de muestreo por presencia-ausencia de la salamandra.....	63
Figura 32. Análisis de una vía para la dureza total en los 8 sitios de muestreo por presencia-ausencia de la salamandra.....	63
Figura 33. Análisis de una vía para la alcalinidad total en los 8 sitios de muestreo por presencia-ausencia de la salamandra.....	63
Figura 34. Análisis de una vía para el zinc en los 8 sitios de muestreo por presencia-ausencia de la salamandra.....	65
Figura 35. Análisis de una vía para el arsénico en los 8 sitios de muestreo por presencia-ausencia de la salamandra.....	65
Figura 36. Análisis de una vía para el pH en los 8 sitios por temporadas de muestreo	66
Figura 37. Análisis de una vía para el oxígeno disuelto en los 8 sitios de muestreo por temporadas de muestreo	67
Figura 38. Análisis de una vía para la conductividad eléctrica en los 8 sitios por temporadas de muestreo	67
Figura 39. Análisis de una vía para la dureza total en los 8 sitios por temporadas de muestreo	68
Figura 40. Análisis de una vía para el cromo en los 8 sitios por temporadas de muestreo	69
Figura 41. Análisis de una vía para el zinc en los 8 sitios por temporadas de muestreo	69
Figura 42. Análisis de una vía para el arsénico en los 8 sitios por temporadas de muestreo	70

Figura 43. Valores de concentración de plomo para sedimentos en los ocho sitios de muestreo	77
Figura 44. Valores de concentración de níquel en sedimentos para los ocho sitios de muestreo	77
Figura 45. Valores de concentración de zinc en sedimentos para los ocho sitios de muestreo	78
Figura 46. Valores de concentración de cobre en sedimentos para los ocho sitios de muestreo	78
Figura 47. Valores de concentración de hierro en sedimentos para los ocho sitios de muestreo	79
Figura 48. Valores de concentración de cromo en sedimentos para los ocho sitios de muestreo	79
Figura 49. Análisis de una vía para el hierro en sedimentos por presencia-ausencia de la salamandra.....	80
Figura 50. Análisis de una vía para el cromo en sedimentos por presencia-ausencia de la salamandra.....	80
Figura 51. Análisis de componentes principales de los parámetros fisicoquímicos por presencia-ausencia de A. ordinarium	82

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Localización de los arroyos seleccionados para su estudio con presencia de <i>Ambystoma ordinarium</i>	22
Tabla 2. Localización de los arroyos seleccionados para su estudio con ausencia de <i>Ambystoma ordinarium</i>	23
Tabla 3. Color en los sedimentos de los ocho arroyos de estudio	70
Tabla 4. Distribución de tamaño de partícula y clase textural en sedimentos ..	72
Tabla 5. pH promedio obtenido en los sedimentos para los ocho sitios de muestreo	74

RESUMEN

Se evaluó la calidad del agua y de sedimentos en ocho sitios donde históricamente se registró la presencia del ajolote de montaña *Ambystoma ordinarium*. Esta especie se encuentra bajo “Protección especial” en la NOM-059-SEMARNAT-2010, y en la lista roja de la IUCN como especie “vulnerable”. Los muestreos se llevaron a cabo en los municipios de Queréndaro, en el cual se monitorearon los arroyos de San José de Lagunillas (SJL), San José de la Cumbre (SJC) y Queréndaro (QUE); Charo en el cual se monitoreo el arroyo del Vaquerito (VAQ); Salvador Escalante en el que se monitorearon Turirán (TUR), Tepetate (TEP) Y Opopep (OPO); y Tacámbaro en cual se monitoreo el arroyo de Cruz de Plato (CP). Los muestreos se realizaron en la temporada de estiaje, en los meses de abril y mayo del 2015 y de precipitación pluvial en los meses de septiembre, octubre y noviembre del 2015.

Se realizaron análisis estadísticos de ANOVA y tukey con los resultados obtenidos de los sitios donde actualmente existe presencia de *A.ordinarium* (SJC, SJL, TUR y CP) y con los sitios donde hay ausencia (VAQ, TEP, OPO y QUE) para evaluar si existe alguna diferencia entre la calidad del agua y de sedimentos en los arroyos, y analizar si eso está contribuyendo a la desaparición del ambystoma.

En general y de acuerdo con los resultados obtenidos se observó que en la mayoría de los arroyos ocupados por *A. ordinarium* se encontraron en sitios en donde la alteración humana es moderada, lo que sugiere que *A. ordinarium* no tolera altos índices de perturbación del hábitat. Los sitios donde hay presencia de la salamandra presentaron estadísticamente menor temperatura, menor turbiedad, mayor profundidad, menor conductividad eléctrica, menor alcalinidad total y menor dureza total que en los sitios con ausencia del organismo acuático, lo que sugiere que en este estudio esas variables están siendo estresores ambientales para la supervivencia de *A. ordinarium*.

Palabras clave: Calidad del agua, *Ambystoma ordinarium*, arroyos, sedimentos, supervivencia.

ABSTRACT

Water quality and sediment in eight sites where historically the presence of mountain salamander *Ambystoma ordinarium* was recorded was evaluated. This species is under "special protection" in NOM-059-SEMARNAT 2010 and the IUCN Red List as "vulnerable" species. The samplings were carried out in the municipalities of Queréndaro, in which streams of San José de Lagunillas (S JL), San José de la Cumbre (SJC) and Queréndaro (QUE) were monitored; Charo in which the stream of Vaquerito (VAQ) is monitoring; Salvador Escalante in which Turirán (TUR) Tepetate (TEP) and Opopeo (EPO) were monitored; and Tacámbaro in which the stream of Cross Plate (CP) was monitored. The samples were taken in the dry season, in the months of April and May 2015 and rainfall in the months of September, October and November 2015.

Statistical analyzes were performed ANOVA and Tukey with the results obtained from sites where there is currently *A.ordinarium* presence (SJC, S JL, TUR and CP) and places where there are no (VAQ, TEP, EPO and QUE) for evaluating if there is any difference between water quality and sediment in streams, and analyze if it is contributing to the disappearance of ambystoma.

In general and according to the results observed in most occupied by *A. ordinarium* streams were found in sites where human alteration is moderate, suggesting that *A. ordinarium* not tolerate high levels of habitat disturbance. The sites where the presence of the salamander statistically had lower temperature, lower turbidity, more depth, lower electrical conductivity, lower total alkalinity and lowest total hardness in the sites absence of aquatic organism, suggesting that in this study those variables are It is environmental stressors for the survival of *A. ordinarium*. It is recommended to have more detailed and frequent studies on those sites to ensure more clearly the environmental effects that these variables on *A. ordinarium*.

1. INTRODUCCIÓN

México es uno de los países con mayor diversidad biológica en el mundo (Mittermeier, 1988; McNeely *et al.* 1990). Sin embargo, la pérdida de la biodiversidad es un hecho reconocido y establecido, tanto a nivel de la comunidad científica como del público en general (Santini & Angulo, 2001). Esta pérdida se viene dando desde nivel taxonómico, y mayormente por causales tales como cambios climáticos, disminución y fragmentación de hábitats y contaminación del medio ambiente (Angulo-Ariadne, 2002).

Un ejemplo de esta pérdida de biodiversidad es la desaparición de los anfibios, dentro de las especies de anfibios que han tenido menor atención se encuentran las salamandras de la familia Ambystomatidae que son componentes importantes de los ecosistemas acuáticos, ya que frecuentemente son especies clave en las comunidades a las que pertenecen (Duellman y Trueb, 1994) (Montes-Calderón, 2011).

La salamandra michoacana de arroyo, *Ambystoma ordinarium*, es una especie de ambystomátido endémica a los estados de Michoacán y México, habitando arroyos y manantiales de la Cuenca Lerma-Santiago en la Faja Volcánica Tranmexicana. Debido a su grado de endemidad y a la degradación de sus hábitats, *A. ordinarium* se considera en riesgo de extinción a nivel global, enlistada como “Amenazada” por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y Recursos Naturales (IUCN 2011) y a nivel nacional, enlistada como “Sujeta a Protección Especial” (Diario Oficial de la Federación 2010) (Montes-Calderón *et al.*, 2011).

La condición fisiológica y por lo tanto la salud de estos organismos acuáticos depende de varios factores como la calidad del agua, la alimentación, la densidad, entre otros (Robles-Mendoza, 2009).

2. MARCO TEORICO

2.1. Generalidades

2.1.1. Disponibilidad del agua

La disponibilidad del agua dulce en la superficie terrestre depende de varios factores, entre ellos están la latitud, altitud, clima, suelo, geología y vegetación, en general. Por otra parte, esta disponibilidad depende no solo de la cantidad, sino también de su calidad (Rodríguez, 2012 y Jiménez, 2001).

2.2. Arroyos de montaña

Los arroyos son torrentes variables de agua, los cuales pueden ser estacionarios o permanentes, mansos o rápidos, pero con volumen de agua menor que los ríos. Suelen circular sobre cauces rocosos (autoerosionado) y normalmente contienen aguas frías, saturadas de oxígeno (Cervantes, 2010).

Distintas especies animales, microscópicas y macroscópicas por igual (protozoarios, insectos, anfibios y peces, entre otras) han logrado adaptarse a los arroyos de montaña, aprovechando la energía que aportan nutrientes orgánicos provenientes tanto de la fotosíntesis local como de aportaciones del medio terrestre corriente arriba. Muchas de esas especies animales son estrictamente dependientes de esas condiciones e, incluso, pueden ser endémicas a esos sitios (Sánchez, 2010).

Las comunidades bióticas de ecosistemas acuáticos como los ríos y arroyos son delicadas en general; a veces, puede bastar un pequeño cambio en las concentraciones de metales traza para alterar la fisiología o estado de salud de especies animales locales, lo cual sufre una amplificación de efecto afectando las abundancias relativas de éstas hasta afectar todo el ecosistema (Patrick, 1975 y Sánchez, 2010).

El hábitat y la diversidad biológica en sistemas loticos están estrechamente relacionados, por ejemplo; se ha documentado que existe una correlación entre la calidad del hábitat y la presencia de poblaciones viables de salamandras. La

modificación y pérdida de los hábitats son causantes de la disminución y fragmentación de las poblaciones de *Ambystoma* (Pérez *et al.*, 2005; Herrejón, 2013).

2.3. Anfibios en México

México es considerado como uno de los países más importantes en el mundo por su fauna de anfibios con 372 especies reconocidas (Frías y Flores Villela, 2010). En el Estado de Michoacán se han registrado 43 especies de anfibios, el 15% de las especies registradas en el país, incluidas en las ordenes Anura con 34 especies de ranas y sapos, Urodela con 8 especies de salamandras y Gymnophiona con 1 especie de cecilido, en 10 familias y 14 géneros, siendo endémicas 22 de dichas especies (Huacuz, 2005).

Los anfibios juegan un papel importante en los ecosistemas por presentar una extraordinaria dependencia con el medio donde viven; por un lado, su doble ciclo de vida, acuático y terrestre, les hace vulnerables a alteraciones producidas en ambos medios. Además, los anfibios ocupan posiciones diversas en la cadena trófica, desde detritívoros hasta predadores (Toft, 1995; Blaustein *et al.* 1994). También son considerados como indicadores de calidad del hábitat debido principalmente a su piel permeable y su ciclo de vida bifásico larva-adulto (Heyer *et al.* 1994) (Silva 2011).

Los anfibios se encuentran entre las especies más amenazadas, incluyendo entre ellas a varias especies de salamandras, en el territorio mexicano existen 18 especies de salamandras del género *Ambystoma* y la mayoría se encuentra en la Norma oficial mexicana-059-2010 (NOM-059-2010) en alguna categoría de riesgo. A pesar del estado de conservación de las especies de este género y de su importancia para México, los estudios realizados durante los últimos diez años sobre el género *Ambystoma* han sido efectuados principalmente con organismos endémicos de Canadá y Estados Unidos (Hernández, 2013).

Se han propuesto varias hipótesis principales para explicar la disminución de anfibios: la destrucción del hábitat, la dispersión de plaguicidas, el incremento

de la radiación UV-B, el cambio climático, introducción de depredadores exóticos, y las enfermedades (Davidson et al., 2002).

Varios estudios han demostrado que el ambiente o el incremento de radiación UV-B reducen la supervivencia o el éxito de eclosión de los embriones de anfibios. Interacciones sinérgicas entre la radiación UV-B y otras tensiones ambientales tales como patógenos y un pH bajo también pueden aumentar significativamente la mortalidad embrionaria (Alford-Richards, 2007).

La pérdida de hábitat, sin duda reduce la abundancia de anfibios y la diversidad en las zonas directamente afectadas. La eliminación o modificación de la vegetación durante las operaciones forestales tiene un impacto rápido y severo en algunas poblaciones de anfibios. La tala de los bosques maduros en los Apalaches del sur ha reducido las poblaciones de salamandras en casi un 9%, o más de un cuarto de mil millones de salamandras, por debajo de los números que pueden ser sostenidos en los bosques de invitados (Alford-Richards, 2007).

2.3.1. Salamandras de la familia *Ambystomatidae*

La familia *Ambystomatidae* en México está representada por 18 especies, de las cuales 17 son endémicas al país. En general, los Ambystomatidos poseen cuatro extremidades bien desarrolladas (cuatro dedos en las extremidades anteriores y cinco en las extremidades posteriores), la cabeza ancha, ojos pequeños y cola comprimida. No presentan dimorfismo sexual marcado, aunque las hembras tienden a ser ligeramente más grandes que los machos debido a la capacidad de contener huevos. Algunos representantes de la familia presentan neotenia, es decir, alcanzan la madurez sexual cuando el organismo aún conserva la forma externa de la larva y algunos de sus órganos, como las branquias. El fenómeno de neotenia se presenta en las seis especies de Ambystomatidos reportados en el Estado de Michoacán: *Ambystoma ordinarium*, *A. ambycephalum*, *A. andersoni*, *A. dumerilii*, *A. rivulare* y *A. velasci* (Ramírez, 2014).

Actualmente, todas las especies del género *Ambystoma* se encuentran enlistadas en alguna categoría de riesgo y se encuentran bajo protección tanto

por la normatividad internacional como por las normas mexicanas y son consideradas como parte del patrimonio natural de México (Huacuz, 2003), ya que además de su importancia ecológica, las especies de este género se encuentran asociadas con el hombre desde la mitología azteca y náhuatl y han sido utilizados con fines medicinales o alimenticios por los habitantes de las zonas donde estas habitan (Silva, 2011).

2.4. *Ambystoma ordinarium*

Ambystoma ordinarium también conocida como salamandra michoacana y coloquialmente como ajolote de montaña, es una especie endémica del Estado de Michoacán. Es encontrado en altas elevaciones (encima de 2200 M). Tanto las larvas como los individuos neotécnicos habitan arroyos de montaña en la cabecera de cuenca, con temperaturas de agua que permanecen entre 11.8 y 12.4 °C (Silva 2011).

Es una especie con una distribución restringida lo que la hace más vulnerable a la extinción, en ciertas porciones de su distribución, el hábitat ha sido destruido por el avance urbano (contaminación por desechos sólidos, aguas residuales, entubamiento de arroyos con fines de uso humano y cambios de uso del suelo (Ramírez, 2014).

En la actualidad, la distribución de *A. ordinarium* está severamente fragmentada, pues existe una disminución continua de la extensión y calidad del hábitat forestal en el noroeste de Michoacán, así como un fuerte impacto sobre los arroyos en que habita debido a presiones de urbanización, como lo es el desarrollo de infraestructuras, contaminación y extracción de agua (Ramírez, 2014).

2.4.1 Descripción de *Ambystoma ordinarium*.

Es una salamandra acuática con neotenia facultativa que se caracteriza por tener una coloración gris oscuro, presentar tres líneas de puntos amarillos a cada lado del cuerpo y tener la parte ventral de color gris (Huacuz, 2008 y Medina, 2011). Presenta una longitud hocico-boca (LHC) de 100 mm en larvas neotécnicas y de 86 mm en adultos metamorfoseados. El tamaño al que puede

ocurrir la metamorfosis es variable (53 a 83 mm LHC). La cola es igual o ligeramente más larga que el cuerpo y presenta una membrana dorsal. Generalmente presentan 12 surcos costales aunque el rango va de 10 a 13. La madurez sexual se presenta en tallas de 70 mm de LHC (Aguilar y Miguel, 2005). Su reproducción es ovípara poniendo sus huevos en el agua (Medina, 2011). Se alimentan de pequeños invertebrados, principalmente de larvas de tricópteros (Alvarado *et al.* 2003) (Ramírez, 2014 y Silva, 2011).

El ajolote de montaña es una especie endémica de México, presentando un endemismo regional para el estado de Michoacán. Su área de distribución comprende los municipios de Hidalgo, Indaparapeo, Queréndaro, Charo, Morelia, Salvador Escalante, Tuxpan, Zitácuaro y Tacámbaro (Aguilar y Miguel 2005, Huacuz 2008, Soto-Rojas 2012). La figura 1 muestra un ejemplar adulto de la localidad de Ichaqueo del *A. ordinarium*.



Figura 1. Ejemplar adulto de *Ambystoma ordinarium* colectada en la localidad de Ichaqueo, Municipio de Morelia, Michoacán.

2.4.2 Hábitat y hábitos

Son organismos característicos de arroyos y manantiales de montaña, dentro del bosque de oyamel, bosque de pino, bosque de pino-encino y bosque de encino-pino (Aguilar y Miguel, 2005), a una altitud mayor o cercana a los 2200 msnm. Las larvas se han encontrado dentro de los cuerpos de agua y los adultos han sido localizados en o debajo de troncos podridos, cortezas y otros objetos, generalmente alrededor de 30m del arroyo (Alvarado y Díaz *et al.* 2003). Se han encontrado adultos en arroyos junto con larvas de varios tamaños durante los meses de verano. Anderson y Worthington, 1971, destacan que estos organismos presentan mayor actividad diurna en contraste

con los hábitos fuertemente nocturnos de la mayoría de las especies de *Ambystoma*. Durante la parte temprana de la mañana, permanecen ocultos bajo las orillas libres del arroyo o bajo leños y otros escombros. Pero más tarde se mueven en otras direcciones; cuando hay algún disturbio en el agua se esconden bajo algunos objetos. Cuando nadan, usualmente son transportados a corta distancia sobre el arroyo por la corriente y luego se mueven hacia su destino nadando o caminando en el fondo contra la corriente. Larvas y adultos caminan más frecuentemente que nadar y son capaces de gatear a todas partes del arroyo sin ser movidas por la corriente (Huacuz, 2008; Silva 2011 y Ramírez, 2014).

2.5. Requerimientos de calidad de agua para *Ambystoma ordinarium*

Se ha documentado que para los anfibios la fisicoquímica del agua influye en su desarrollo y calidad de vida, así como en aspectos como la metamorfosis, la reproducción, la velocidad de desarrollo, la viabilidad individual y la dinámica poblacional (Berkhouse y Fries, 1995; Whiteman *et al.* 1995) (Silva, 2011).

Algunos parámetros fisicoquímicos como la temperatura, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y pH son importantes para el proceso metamórfico del género *Ambystoma* en México (Huacuz, 2008).

Como el resto de los anfibios *A. ordinarium* es ectodermo y generalmente su temperatura refleja la temperatura de su entorno inmediato, por lo que intervalos óptimos en la temperatura del agua son fundamentales para la sobrevivencia de la especie, además la distribución y disponibilidad de recursos alimenticios está asociada con la temperatura y por tanto con la distribución de las poblaciones (Tumilson *et al.* 1990; Diller y Wallace, 1996), intervalos óptimos en la temperatura del agua son fundamentales para las especies de *A. ordinarium*, estos intervalos para especies de zonas templadas se encuentra entre 1.0 a 26.7 °C (media 14.5°C) y para tropicales de 10.5 a 30.0 (media 19.0°C) (Duellman y Trueb, 1994). Las temperaturas más bajas causan comportamientos lentos, el metabolismo lento y disminución del apetito (Huacuz, 2008; Silva, 2011 y Hermanns, 2015).

Las temperaturas superiores a 24°C son estresantes para las salamandras. Tales temperaturas permiten aumentar el metabolismo, y por consiguiente el apetito. Sin embargo, el estrés por más de un día o dos de la exposición a estas temperaturas, da lugar a enfermedades y a la muerte. Los primeros síntomas de estrés por calor es el cambio de hábitos alimenticios y/o el desarrollo de manchas claras en la piel (Hermanns, 2015).

El valor de pH representa la actividad instantánea del ion hidrógeno. En los procesos biológicos la alteración del pH en el ecosistema es causa de muerte en los organismos; en un estudio realizado por Huacuz (2008), reporta haber encontrado esta especie en un intervalo de pH entre 6 y 9 (Silva, 2011).

Otros estudios reportan que el rango aceptable de pH para la salamandra es de 6.5 a 8.0, pero el valor óptimo es un pH de 7.4 (Hermanns, 2015).

El oxígeno disuelto es otro de los elementos contenidos en los medios acuáticos de mayor importancia. La concentración de oxígeno en el agua es generalmente menor que en el aire, variando en respuesta a los procesos de demanda biológica de oxígeno (DBO), su producción por fotosíntesis y al intercambio con el aire (Mills y Barnhart, 1999). Las concentraciones de oxígeno disuelto de 5 mg/L representan el límite óptimo para que los organismos lleven a cabo sus procesos vitales. Se ha observado que bajas concentraciones de Oxígeno disuelto provocan en *Ambystoma* un desarrollo embrionario lento y concentraciones iguales o menores de 3.8 mg/L producen anomalías en embriones, en valores menores de 3.3 mg/L la eclosión y la supervivencia de crías decrece (Mills *et al.* 2001 y Huacuz, 2008).

Los tóxicos ambientales como el incremento en las concentraciones de los metales, herbicidas y plaguicidas actúan directamente para matar a los anfibios, o indirectamente por alterar la reproducción, la reducción de las tasas de crecimiento, lo que modifica el desarrollo normal y la reproducción (alteración endocrina), o el aumento de la susceptibilidad a la enfermedad mediante la inmunosupresión o la inhibición de desarrollo del sistema inmune (Alford-Richards, 2007).

El aumento de la exposición a UV-B puede alterar las interacciones entre especies o la vulnerabilidad a los patógenos o los cambios en el pH. La depredación puede eliminar las poblaciones locales y tienen efectos a gran escala mediante la alteración de las tasas de migración entre poblaciones. Los brotes de enfermedad sólo pueden ocurrir cuando otros tipos de estrés reducen la función inmune. Los plaguicidas, contaminantes y la acidez del medio ambiente pueden interactuar para producir efectos imprevistos. Todos los efectos locales podrían tener interacciones con el cambio climático global. La demostración de la existencia de estos efectos complejos en las poblaciones naturales requerirá programas bien planificados de la observación y la experimentación (Alford-Richards, 2007).

2.6. Calidad del agua

La calidad del agua se define en torno a propiedades particulares, para vincularla con un uso o una actividad específica. Se debe tener presente que depende de diversos factores: físicos, químicos y biológicos, por lo que su evaluación puede constar de una gran cantidad de variables a considerar (Sánchez, 2011).

El origen de la contaminación es muy variado pero se pueden citar como causantes a los desechos urbanos e industriales, los drenados de la agricultura y de las minas, la erosión, los derrames de sustancias tóxicas (accidentales o intencionales), los efluentes de plantas depuradoras, los subproductos de los procesos de depuración, la ruptura de drenajes y el lavado de la atmósfera, entre otros. El agua arrastra y emulsiona a gran número de compuestos con los que entra en contacto a lo largo de su ciclo y que modifican su calidad.

2.7. Parámetros de calidad

2.7.1. Propiedades organolépticas

En el medio natural el agua incorpora una gran variedad de compuestos que alteran significativamente las propiedades que afectan a los sentidos, las cuales son básicamente: el color, el olor y el sabor (Domenech y Peral, 2006), (Aznar, 2000).

Color: El color de un agua se debe a sustancias coloreadas existentes disueltas en ella: materias orgánicas procedentes de la descomposición de vegetales, así como diversos productos y metabolitos orgánicos que habitualmente se encuentran en ellas (coloraciones que van desde amarillentas a negras). Además, la presencia de sales solubles de Fe y Mn (aguas subterráneas y superficiales poco oxigenadas) también produce un cierto color en el agua. Normalmente, el color verde de algunos reservorios se debe a la presencia de sales de calcio o cobre disueltas, aparte de la presencia de ciertos microorganismos; mientras que los compuestos de hierro imparten una coloración al agua, desde amarilla a rojiza, dependiendo de la forma química del compuesto de hierro (Domenech y Peral, 2006).

Turbidez. La turbidez también imparte cierta coloración al agua. La turbidez es un fenómeno óptico producido por la absorción y la dispersión de la luz incidente en una muestra que contiene partículas en suspensión. En aguas naturales estas partículas pueden ser tanto de naturaleza inorgánica (arcillas, óxidos de hierro y manganeso) como orgánica (material húmico, taninos, etc.) (Domenech y Peral, 2006).

En aguas naturales, la turbidez aumenta con el aporte de aguas de escorrentías al medio, a su vez provocada por las lluvias, especialmente, si estas son torrenciales o se producen en terrenos susceptibles de fácil erosión. La turbidez se reduce con la sedimentación natural (Marín, 2006).

2.7.2. Parámetros fisicoquímicos

2.7.2.1. Parámetros *in situ*

La temperatura; del agua se produce por la absorción de la radiación en las capas superiores del cuerpo de agua (Marín, 2006). Las temperaturas elevadas en el agua son indicadores de actividad biológica, química y física en el agua. Con el incremento de la temperatura se presenta una mayor solubilidad de los minerales presentes. De manera general las variaciones de temperatura afectan la solubilidad de sales y gases en el agua (Arreola, 2014).

La conductividad eléctrica; mide la capacidad del agua para transportar una corriente eléctrica, esta capacidad depende de la presencia de iones, de su

concentración total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas, así como de la temperatura (Arreola, 2014).

El pH; es otro indicador en la calidad del agua, indica el grado de acidez o basicidad en el agua. En cualquier solución acuosa a 25°C, el producto de las concentraciones de OH^- y H^+ es constante a 10^{-14} . Esto puede escribirse

$$[H^+][OH^-] = 10^{-14}$$

En esta ecuación los corchetes indican la concentración molar de la sustancia. En una solución neutral a temperatura ambiente [25°C], $[H^+] = 10^{-7}$ y $[OH^-] = 10^{-7}$

Oxígeno disuelto (OD); Sirve como indicador del efecto producido por los contaminantes oxidables, de la aptitud del agua para mantener vivos a los anfibios, peces u otros organismos aerobios y de la capacidad autodepuradora de un cuerpo receptor. A medio día el porcentaje de saturación es alto ya que se presenta en la fase luminosa de la fotosíntesis, a estos valores altos de saturación en la fase oscura se da una asfixia en los organismos aerobios (anfibios, peces, entre otros).

2.7.2.2. Parámetros fisicoquímicos en el laboratorio

Demanda química de oxígeno (DQO); Se refiere a la cantidad de materia orgánica e inorgánica en un cuerpo de agua susceptible de ser oxidada por un oxidante fuerte. Este parámetro determina tanto compuestos biodegradables como no biodegradables, incluyendo sustancias recalcitrantes o muy lentamente biodegradables; además, no presenta interferencias por amonio u otras sustancias nitrogenadas (Alfaro, 2010).

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅); determina la cantidad de oxígeno necesaria para que los microorganismos oxiden la materia orgánica (biodegradable) (Arreola, 2014).

El incremento de la DBO₅ incide en la disminución del contenido de oxígeno disuelto en los cuerpos de agua con una afectación a los sistemas acuáticos.

Nitrato (NO_3^-); Se encuentra naturalmente en el medio ambiente, es un importante nutriente para las plantas y es una parte importante del ciclo del nitrógeno. Puede llegar a las aguas subterráneas como consecuencia de la agricultura (aplicación excesiva de fertilizantes nitrogenados inorgánicos y abonos), procedentes de la eliminación de aguas residuales y de la oxidación de los productos de desecho nitrogenados en la excreta humana y animal (Arreola, 2014).

Sulfatos (SO_4^{2-}); Están presentes en forma natural en diversos minerales. La concentración en aguas naturales varía, contribuyen a la dureza no carbonatada (Arreola, 2014).

Bicarbonato (HCO_3^-) y carbonato (CO_3^{2-}); Existe una estrecha relación entre los iones de bicarbonato y carbonato con el CO_2 gas y el CO_2 disuelto. A su vez, el equilibrio está afectado por el pH. Estos iones contribuyen fundamentalmente a la alcalinidad del agua. Los carbonatos precipitan fácilmente en presencia de Ca^{2+} . Las aguas dulces suelen contener entre 50 y 350 mg/L de HCO_3^- y si el pH es inferior a 8.3 no hay prácticamente HCO_3^- (Díaz, 2013).

Calcio (Ca^{2+}); Suele ser el catión principal en la mayoría de las aguas naturales debido a su amplia difusión en rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. Generalmente está presente en el agua como una sal ya sea como CO_3^{2-} o SO_4^{2-} , que originan la dureza del agua. Una de las manifestaciones más comunes de la dureza del agua son los “grumos” insolubles que se forman por la reacción del jabón con Ca^{2+} y Mg^{2+} (Díaz, 2013).

Sodio (Na^+); El sodio es liberado por meteorización del SiO_4^{4-} tipo albita y la disolución de rocas sedimentarias de origen marino y depósitos evaporíticos en que se presenta fundamentalmente como NaCl . Las sales de Na son altamente solubles y tienden a permanecer en solución ya que no se producen entre ellas reacciones de precipitación, como ocurre en el caso del Ca. Sin embargo, el Na puede ser adsorbido en arcillas con Ca provocando una disminución de la dureza de las aguas (Díaz, 2013).

Sólidos totales; los sólidos incluyen tanto las sales inorgánicas (carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfatos, fosfatos y nitratos de sodio, potasio, calcio, magnesio y fierro) como la materia orgánica. Son los responsables de la dureza, los tóxicos, y a los compuestos necesarios para el desarrollo de la vida (Castro, 2010).

Alcalinidad; se define como la capacidad del agua para neutralizar ácidos, reaccionando con iones hidrógeno, como su capacidad para aceptar protones o como la medida de su contenido total de sustancias alcalinas (OH⁻) (Arreola, 2014).

Dureza total; se define como la suma de cationes polivalentes (principalmente calcio y magnesio), se expresa en (mg/L) (Arreola, 2014).

Coliformes totales; las bacterias coliformes son miembros de la familia *Enterobacteriaceae*. Varias de las especies de esta familia se encuentran comúnmente en el agua y el suelo y no son de carácter patógeno; mientras que otras, denominadas coliformes fecales, suelen vivir en los intestinos de los humanos y de los animales de sangre caliente (mamíferos y aves), y por ende también en sus heces (Deutsch y Busby, 1999). El parámetro de coliformes totales, incluye ambas (coliformes no fecales y coliformes fecales) y son una buena alerta de contaminación, sin identificar el origen. (Sánchez, 2011).

2.7.3. Metales pesados en agua

Los metales son componentes naturales de la tierra y se encuentran con mayor frecuencia en distintos minerales en combinación con otros elementos (Díaz, 2013).

Algunos metales son necesarios para los seres vivos, pero pueden llegar a ser tóxicos si rebasan ciertas concentraciones, a éstos últimos se les llama con frecuencia “metales pesados”. En química, se considera metal pesado, aquel elemento que tiene una densidad igual o superior a 5 g/cm³ cuando esté en forma elemental, o cuyo número atómico es superior a 20, pero en ciencias ambientales se consideran metales pesados a todos aquellos que son tóxicos (Díaz, 2013).

Dentro de los metales pesados hay dos grupos:

Oligoelementos o micronutrientes que son los requeridos en pequeñas cantidades, o cantidades traza por plantas y animales; algunos forman parte de sistemas enzimáticos, como el Co, Zn, Mo o como el Fe. Su ausencia causa enfermedades, su exceso intoxicaciones. Dentro de este grupo están: Cu, Cr, Ni, Zn y Fe (Díaz, 2013).

Metales pesados sin función biológica conocida, cuya presencia en determinadas cantidades en seres vivos lleva aparejadas disfunciones en el metabolismo de sus organismos. Resultan altamente tóxicos y presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos. Son, principalmente: Pb, Cd, As, Hg y U (Díaz, 2013).

Plomo (Pb); el Pb es un metal pesado, de baja temperatura de fusión, de color gris azulado que se encuentra naturalmente en la corteza terrestre. Sin embargo, raramente está en la naturaleza en la forma de metal, generalmente se encuentra combinado con otros dos o más elementos formando compuestos de Pb. El Pb puede entrar al ambiente a través de liberaciones desde minas de Pb y otros metales, y desde fábricas que manufacturan o usan plomos, aleaciones de Pb o compuestos de petróleo. Pueden producir malformaciones en animales cuando éstos se han encontrado expuestos a dicho metal por un largo tiempo (Díaz, 2013).

La mayor parte del plomo que se encuentra en las aguas proviene de las emisiones de los vehículos automotores, éstas llegan a la atmósfera y, de ahí, se precipitan a los cuerpos acuáticos. Algunos animales, tienden a acumular plomo y puede ser una de las rutas por las que este elemento entra a las redes tróficas (Albert, 1997).

Níquel (Ni); el níquel es un elemento abundante, es un metal duro, blanco-plateado que se encuentra en todos los suelos y es liberado por emisiones volcánicas. El Ni también se encuentra en meteoritos y en el suelo de los océanos y puede combinarse con otros metales, tales como el Fe, Cu, Cr y Zn para formar aleaciones. El Ni entra al medio ambiente cuando es liberado a la atmosfera por plantas que queman petróleo o carbón, y por incineraciones de basura. En el aire, se adhiere a pequeñas partículas de polvo que se depositan

en el suelo o son removidas del aire en la lluvia o la nieve. El Ni no parece acumularse en peces o en otros animales usados como alimentos (Díaz, 2013).

Zinc; El zinc se presenta de forma natural en el agua; es un contaminante común del agua y sedimentos de los sitios cercanos a instalaciones industriales. El zinc abunda en la corteza terrestre en el orden de 0.02% en peso, es un oligoelemento indispensable (Arreola, 2014).

Hierro (Fe); el Fe es uno de los elementos más abundantes en la corteza terrestre. Se encuentra en corrientes naturales de agua en concentraciones que varían de 0.5 a 50 mg/L. El Fe en el agua no presenta problemas graves de toxicidad. La precipitación del exceso de Fe produce lo que se conoce como herrumbre, que es de color rojizo pardo. Cuando hay más de 0.1 mg/L, se deposita (Díaz, 2013).

Cobre (Cu); se encuentra en la naturaleza en forma elemental, o como óxidos, sulfatos y carbonatos; naturalmente en rocas, agua y aire. Es un elemento esencial para plantas y animales. Es liberado al ambiente a través de la industria minera, actividades agrícolas y de manufactura y por la liberación de aguas residuales a ríos y lagos. También es emitido desde fuentes naturales como por ejemplo volcanes, vegetación en descomposición e incendios forestales. Dicho elemento se adhiere a partículas de materia orgánica, arcilla, tierra o arena (Díaz, 2013).

Cromo (Cr); Este metal se encuentra naturalmente bajo forma de cromita y otros minerales que se encuentran en la corteza terrestre, está ampliamente distribuido en la corteza terrestre con valencias de 2⁺, 3⁺ y 6⁺. Las principales fuentes de Cr en el agua son la industria de cromado (CrO₃), el empleo de conexiones cromadas en circuitos de enfriamiento de agua y de acondicionamiento de aire, el agua de torres de enfriamiento de agua a las que se añade cromo para evitar corrosión y los catalizadores de síntesis orgánica y en fotografía (Díaz, 2013).

Arsénico (As); Es el metaloide más importante como contaminante del agua. Es un elemento ampliamente distribuido en la naturaleza, constituyendo aproximadamente un 0.0005% de la corteza terrestre. Su origen puede ser

natural o antropogénico, aunque la mayor parte de él proviene de fuentes naturales. Es un elemento tóxico, se puede encontrar en distintos estados de oxidación, el As (III) se considera 60 veces más tóxico que el As (V) (Arreola, 2014).

Existen numerosas fuentes geogénicas de arsénico, incluyendo más de 200 minerales que lo contienen, la liberación y movilidad de arsénico en cada entorno está controlada por diferentes procesos geoquímicos, biogeoquímicos, así como condiciones geológicas, hidrogeológicas, geomorfológicas y climáticas (Arreola, 2014).

3. ANTECEDENTES

La salamandra de montaña (*A. Ordinarium*) fue descrita originalmente por Taylor (1940), haciendo referencia a la localidad y su tipo de hábitat y Thien (1958) modificó el nombre original. Anderson y Worthington (1971), elaboraron el primer trabajo sobre la historia natural de la especie. Anderson (1975), hizo una descripción morfológica de la especie, Shaffer y Lauder (1989), y Alvarado *et al.* (2003), realizaron investigaciones sobre la biología alimentaria de la especie. En 2001, Huacuz mencionó las localidades ocupadas por la especie, así como el número de organismos encontrados, el estado de conservación de los hábitats y algunas posibles causas de su declive. García (2003) realizó un estudio sobre las características del hábitat y los atributos demográficos de la población de la microcuenca del río Chiquito, reportando que los individuos de *A. ordinarium* en sus diferentes edades se pueden localizar en cualquier parte del río sin importar el sustrato (arcilloso, rocoso, pedregoso, con vegetación sumergida, con raíces o en cavidades); la profundidad de 0.10 a 0.60 m; la velocidad de corriente de 0.1 a 0.33 m/seg en hábitat de rabiones o estanques; sin embargo notó que su abundancia en estos microhábitats no es homogénea, observando un mayor número de organismos en remansos, en el intervalo de profundidades de 0.1 a 0.2 m, en velocidades de 0.20 a 0.39 m/s y en sustratos arcillosos, con vegetación y con raíces, en temperaturas de 11 a 16 °C, con valores de pH ligeramente ácidos de 6 a 5.5 y un rango de conductividad eléctrica de 42 a 114 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Aguilar y Casas, (2005b), señala que es la

especie con distribución más amplia en Michoacán y que encontró 4 de las poblaciones históricas registradas, además de dos poblaciones nuevas, (Silva, 2011).

Ramírez (2014) estudió el perfil leucocitario, el índice Neutrófilos/Linfocitos (índice N/L) y la carga parasitaria en ejemplares de *Ambystoma ordinarium*, provenientes de seis sitios agrupados en dos estados de conservación del hábitat; tres sitios conservados y tres sitios perturbados, para determinar el estrés producto de la perturbación del hábitat. Encontró un índice N/L mayor en los ajolotes de los sitios perturbados.

Arreola (2014) Evaluó la calidad del agua subterránea en Ciudad Hidalgo, Michoacán, encontró que de acuerdo a la composición fisicoquímica la especie química predominante HAsO_4^{2-} para nueve sitios de estudio.

(Díaz, 2013) realizó un estudio de calidad del agua en el cauce del río Grande, en Morelia, encontrando que los sitios que presentaron mayor contaminación se localizan dentro de la zona de Morelia.

Soto (2012) evaluó el efecto de la perturbación del hábitat sobre el uso y selección del microhábitat térmico de *Ambystoma ordinarium*. Se seleccionaron en la microcuenca del Río chiquito (Morelia, Michoacán). Registró que en los microhábitats ocupados presentaron menor temperatura de fondo, menor concentración de oxígeno disuelto, mayor porcentaje de sombra, mayor profundidad, menos velocidad de corriente y menor temperatura ambiental.

Montes y colaboradores (2011) Estimaron la abundancia, el crecimiento y la actividad espacial de una población de *Ambystoma ordinarium* en Agua Zarca, Microcuenca del Río Chiquito en el Municipio de Morelia, Michoacán. Los resultados de abundancia, crecimiento, distancia de desplazamiento y tamaño de área de uso sugieren que el hábitat presenta requerimientos adecuados para la salud demográfica de la población estudiada.

4. JUSTIFICACIÓN

En los ríos y arroyos se han reportado estudios en las últimas décadas del deterioro de esos recursos naturales por diversas causas; contaminación, cambios de usos de suelo, construcciones dentro del lugar donde se encuentran los arroyos, escorrentía, tala, entre otros; con la consecuente modificación de los ecosistemas que están en conexión con ellos; llegando a casos extremos como la desaparición de la biota o del ecosistema total.

Por lo anterior, en este trabajo se estudió la calidad del agua y sedimentos en ocho arroyos donde históricamente se ha registrado la presencia de esta especie de salamandra, ubicados en el noroeste del Estado de Michoacán, en los municipios de Charo, Queréndaro, Salvador Escalante y Tacámbaro, a través de la determinación de parámetros fisicoquímicos, bacteriológicos y de metales pesados tanto en época de estiaje como de precipitación pluvial. Y así mismo se determinaron los parámetros físicos y químicos en sedimentos; como color, textura, pH y metales pesados para analizar si estos factores en conjunto con los resultados de los estudios anteriormente mencionados, están contribuyendo al aumento de la disminución de esta salamandra.

5. HIPÓTESIS

La calidad del agua de los arroyos en estudio considerados hábitat de la salamandra de montaña (*Ambystoma ordinarium*) en Michoacán es uno de los estresores ambientales que influyen para poner en riesgo la presencia de este organismo en la zona.

6. OBJETIVOS

Objetivo general

- Determinar la calidad de agua y sedimentos y su relación con la presencia o ausencia del *Ambystoma ordinarium* en los arroyos seleccionados del Estado de Michoacán.

Objetivos particulares

- Realizar la evaluación fisicoquímica, bacteriológica y de metales pesados en arroyos de los municipios de Charo, Salvador Escalante, Tacámbaro y Queréndaro; en época de estiaje y de precipitación pluvial.

- Determinar la concentración de metales pesados en sedimentos en los puntos donde serán tomadas las muestras de agua.

- Determinar el tamaño de partícula y pH en los sedimentos

- Realizar el diagnóstico de la calidad del agua y sedimentos en función de los resultados obtenidos y de una revisión de la normatividad vigente, así como definir el efecto que tiene ésta con la disminución de la presencia del *Ambystoma ordinarium* en la zona de estudio.

7. METODOLOGÍA

7.1. Descripción del área de estudio

La mayor parte de la distribución histórica de *A. ordinarium* se encuentra ubicada en la Provincia del Eje Neovolcánico en las subprovincias Mil Cumbres, Neovolcánica Tarasca, Escarpa Limítrofe del Sur y en menor proporción en la Provincia Sierra Madre del Sur, específicamente en la subprovincia Depresión del Balsas (Huacuz, 2008).

Se tomaron muestras de agua y de sedimentos en puntos seleccionados en 8 arroyos localizados en los municipios de Charo, Salvador Escalante, Tacámbaro y Queréndaro la localización de los arroyos donde hay presencia de la salamandra *A. ordinarium* se indica en la Tabla 1 y los arroyos donde hay ausencia de *A. ordinarium* en la Tabla 2.

En la figura 2 se muestra un mapa con la ubicación de los sitios de muestreo y los puntos de presencia-ausencia para la salamandra.

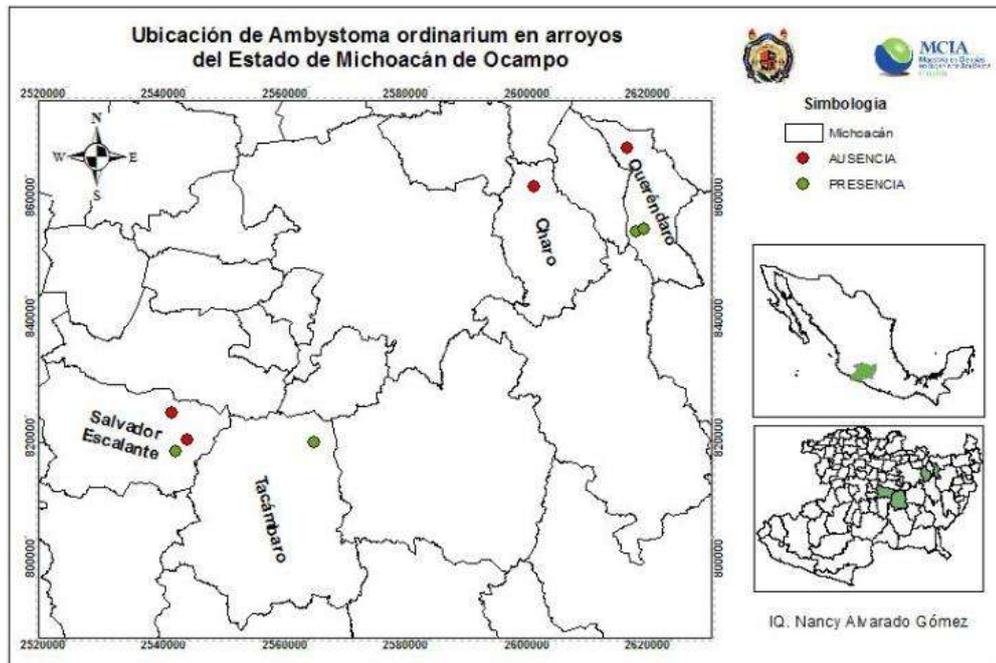


Figura 2. Localización de sitios de estudio

Tabla 1. Localización de los arroyos seleccionados para su estudio con presencia de *Ambystoma ordinarium*

Municipio	Arroyo	Nomenclatura	Grado de perturbación	N	W	Altitud (m)
Queréndaro	San José de Lagunillas	SJL	Subóptimo	19.68299	100.87218	2640
Queréndaro	San José de la cumbre	SJC	Óptimo	19.68687	100.85902	2740
Salvador Escalante	Turiran	TUR	Subóptimo	19.35459	101.59946	2440
Tacámbaro	Cruz de plato	CP	Subóptimo	19.36823	101.38251	2400

Tabla 2. Localización de los arroyos seleccionados para su estudio con ausencia de *Ambystoma ordinarium*

Municipio	Arroyo	Nomenclatura	Grado de perturbación	N	W	Altitud (m)
Queréndaro	Queréndaro	QUE	Marginal	19.80761	100.8852	1887
Salvador Escalante	El tepetate	TEP	Pobre	19.37282	101.58197	2500
Charo	El Vaquerito	VAQ	Marginal	19.6748	101.1537	2100
Salvador Escalante	Opopeo	OPO	Marginal	19.4125	101.60528	2046

7.2. Descripción de la zona de estudio

A continuación se describe la información geográfica de cada uno de los municipios donde se localizan los arroyos en estudio.

7.2.1 Charo

En el municipio de Charo, se monitoreo el arroyo del vaquerito

EL VAQUERITO

En esta comunidad rural se localiza el manantial del mismo nombre (Huacuz, 2008).

La principal actividad de esta comunidad ha sido la extracción forestal maderable y no maderable (resina, hongos, leña, etc.), realizando también agricultura, ganadería y pesca de subsistencia (Huacuz, 2008).

La vegetación a los lados del cauce está compuesta por pino-encino, algunos cedros (*Cupressus* sp.), se han reforestado con eucaliptos (*Eucalyptus* sp.). La altura de la vegetación es mediana, entre 10 y 20 m con un dosel medio

abierto, el sotobosque es abierto y la hojarasca cubre totalmente el suelo. El tipo de sustrato del arroyo está constituido por piedras, arena y limo-arcilla (Huacuz, 2008).

7.2.2 Queréndaro

En el municipio de Queréndaro, se monitorearon los arroyos de tres localidades: San José Lagunillas, San José de la Cumbre y Queréndaro

El uso de suelo es primordialmente forestal y en menor proporción agrícola y ganadero (INAFED y SEGOB, 2010). Su clima es templado, con lluvias en verano. Tiene una precipitación pluvial anual de 1165 mm y temperaturas que oscilan de 4.9 a 37.0°C (INAFED y SEGOB, 2010).

SAN JOSÉ LAGUNILLAS Y SAN JOSÉ DE LA CUMBRE

Son dos poblaciones rurales, su actividad económica más importante es la forestal, tanto la extracción como el aserrín de madera, seguida de la agricultura y en menor medida la ganadería (Huacuz, 2008).

Ambas poblaciones se corresponden con dos tramos del mismo arroyo. El arroyo presenta rocas, troncos, piedras, lino y arena (Huacuz, 2008).

La vegetación en la ribera corresponde a bosque de coníferas, en el cauce se pueden apreciar algunas áreas con bosque y otras en donde se encuentra la vegetación abierta. La vegetación es alta, mayor de 20 m, con un dosel medios abierto y sotobosque denso (Huacuz, 2008).

7.2.3 Salvador Escalante

En el municipio de Salvador Escalante, se monitorearon los arroyos de tres localidades: El Tepetate, Turirán y Opopeo.

TURIRÁN

En esta localidad se encontró una población de esta especie. Se localiza dónde nace el Río Turirán en el centro de la comunidad. El área es una zona de escurrimientos y filtraciones que ocupa una superficie aproximada de una hectárea. Está rodeada por cultivos, algunos árboles de Tejocote y viviendas, el

cauce ha sido modificado mediante construcciones antropogénicas (Huacuz, 2008).

En el cauce se encuentra vegetación acuática como lentejilla (*Lemna sp.*) y gramíneas. La altura de la vegetación del cauce es baja con un dosel muy abierto y sotobosque abierto (Huacuz, 2008).

EL TEPETATE

El arroyo ha sido transformado en un canal para riego que viene desde la localidad de San Gregorio. El área ha sido completamente modificada por cultivos, principalmente maíz (Huacuz, 2008).

OPOPEO

La localidad de Opopeo tiene 8666 habitantes. Opopeo está a 2240 metros de altitud (<http://mexico.pueblosamerica.com/i/opopeo/>).

7.2.4 Tacámbaro

En el municipio de Tacámbaro, se monitoreo el arroyo de la localidad de Cruz de Plato.

CRUZ DEL PLATO

El municipio se localiza en el centro-sur del estado, en las coordenadas geográficas 19°14' de N y 101°28' W, tiene una superficie de 1,085.05 km² con una altitud media de 1.640 M y la localidad Cruz de Plato se ubica al norte de la cabecera municipal (Tacámbaro de Codallos), en las coordenadas 19°21'50" N y 101°23'09" W, a una altitud de 2400 M Centro Estatal de Desarrollo Municipal (CEDEMUN, 2005) y Periódico Oficial del Estado (POE 49/2005) (Huacuz, 2008).

El uso de suelo es primordialmente forestal y en menor proporción agrícola y ganadero. Su hidrografía está constituida por los ríos Tacámbaro, Pedernales y Frío el Arroyo de Apo y la Laguna de la de la Magdalena. Tiene múltiples

afloramientos de manantiales, lo que le ha permitido el desarrollo de una próspera actividad agrícola (CEDEMUN 2005, POE 49/2005) (Huacuz, 2008).

Los climas van de norte a sur en el municipio de templado subhúmedo a cálido subhúmedo, con lluvias en verano y con una franja de transición. Tiene una precipitación pluvial anual de 1.451,6 mm y temperaturas que oscilan entre 8.8 a 26.9 °C (CEDEMUN, 2005, INEGI, 2005) (Huacuz, 2008).

La vegetación a los lados del canal está compuesta por Bosque de Galería, la altura de la vegetación es mediana, entre 10 y 20 M con un dosel medio abierto, el sotobosque es abierto. Esta vegetación sólo se localiza en los márgenes del arroyo, que después se encuentra rodeado de cultivos y algunos árboles de Tejocote (Huacuz, 2008).

7.3. Parámetros a evaluar

Se determinaron los parámetros físicos como el color, la turbiedad y la profundidad; parámetros fisicoquímicos *in situ*: temperatura, conductividad eléctrica, pH y oxígeno disuelto. Mediante análisis químicos convencionales se determinaron en agua: los sólidos totales, la alcalinidad, la dureza total, sulfatos, carbonatos y bicarbonatos, nitratos, DBO₅, DQO y coliformes fecales, además de las concentraciones de metales pesados (Pb, Ni, Zn, Fe, Cu, Cd, Cr y As), por espectrofotometría de absorción atómica (AAS). En sedimentos se determinó el color, el pH, la textura y la concentración de metales pesados.

7.4. Toma de muestras

La toma de una muestra consiste en coleccionar una porción del material que se desea conocer, de manera que pueda ser fácilmente transportada y manejada en el laboratorio para sus análisis, sin perder la representatividad de dicho material. Ello implica que la muestra debe mantener las mismas concentraciones de cada uno de los componentes en todas las fases y no sufrir alteraciones durante el transporte. Para tomar una muestra de agua se debe considerar la compatibilidad del envase empleado con la que se desea analizar.

Se anotó cuidadosamente el lugar y condiciones de muestreo, y se identificó de forma clara y segura cada botella con un marcador permanente poniendo la nomenclatura y el punto de cada arroyo. En una bitácora se anotaron las

condiciones climáticas y ecológicas como tipo de vegetación, clima, si había algún contaminante dentro o fuera del arroyo, la biota, etc.

7.4.1 Toma de muestras del agua

La toma, transporte y conservación de cada muestra de agua se realizó 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). Las muestras se tomaron a una profundidad media con ayuda de un muestreador horizontal de Van Dorn (EPA, 2001). Se realizaron tres colectas de muestras, una de estiaje y dos de precipitación pluvial; en los meses de abril, mayo, septiembre, octubre y noviembre del 2015 para determinar los parámetros fisicoquímicos, bacteriológicos y metales pesados.

7.4.1.2 Toma de muestras para fisicoquímicos

Las muestras de agua para análisis de parámetros fisicoquímicos se almacenaron en botellas de polietileno de alta densidad (HDPE) de 2 L, llenándose para reducir la presencia de aire y evitar cambios químicos. La temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto y pH se determinaron *in situ*. Los cuales se midieron con un multiparamétrico y el último con un potenciómetro. Cada muestra de agua se tomó considerando los criterios establecidos para cada parámetro tanto de la Norma Oficial Mexicana (DOF, 1980a) como del manual APHA-AWWA-WPCF (1995).

Las muestras se tomaron a una profundidad media. Todas las muestras 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 1980).

7.4.1.3. Toma de muestras para coliformes fecales

Se tomaron 100 mL de muestra de cada uno de los arroyos, en bolsas microbiológicas estériles con $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, las bolsas se manejaron con precaución para evitar cualquier tipo de contaminación que pudiera afectar los resultados, se tomó la muestra directamente del arroyo utilizando bolsa estéril con lastre. Se tomaron con precauciones debidas para mantener al máximo las condiciones de asepsia. Todas las bolsas se marcaron con la fecha y el sitio de

muestreo. Las muestras se conservaron en una hielera a 4°C, el examen de las muestras se realizará lo más pronto posible para evitar proliferación o muerte de las bacterias (NMX-AA-102-SCFI-2006) (Arreola, 2014).

7.4.1.4. Toma de muestras para metales pesados y arsénico

En la toma de muestras de metales pesados se utilizaron recipientes de HDPE de 125 mL previamente descontaminados con HNO₃. Cada frasco con su tapa y contratapa fueron introducidos en una solución de HNO₃ al 10% durante una semana y después de una semana se introdujeron en una disolución de HNO₃ al 1%. Después del ácido al 1% se sacaron, se enjuagaron con agua desionizada y se llenaron hasta el tope con ésta. En el campo se utilizaron dos: uno se vació y se volvió a llenar con más agua desionizada. Ese es el control. Otra botella se vació y se llenó con la muestra. Las muestras y los controles se preservaron con HNO₃ ultrapuro para evitar interferencias (APHA-AWWA-WPCF, 1995; Alfaro, *et al.*, 2010; Páez, 2008).

7.5 Toma de muestras para sedimentos

La colecta se efectuó con un muestreador de tubo o nucleador. Se colectaron los primeros 8 cm de profundidad para obtener parámetros o propiedades de interés por depósito de material reciente (Mudroch *et al.* 1995; Lau y Chu 2001; EPA 2001) (Díaz, 2013).

7.5.1. Transporte y almacenamiento

El transporte y almacenamiento adecuados son necesarios para mantener la calidad estructural y química de los sedimentos. Las muestras se mantuvieron a 4°C en un contenedor en el campo y en el laboratorio se siguió el protocolo para los diferentes análisis, se transfirieron a recipientes para almacenarlos temporalmente (Díaz, 2013).

7.5.2 Homogeneización

Al llegar al laboratorio después de la toma de muestras de sedimentos, se eliminaron inmediatamente los restos de material no deseado (material pedregoso fino y grueso, hojas, basura, etc.), después se homogeneizaron

completamente para obtener de manera consistente las propiedades fisicoquímicas de la muestra. Posteriormente, el material se dividió en submuestras para cada uno de los análisis correspondientes (Díaz, 2013).

7.5.3 Secado

Los sedimentos, particularmente los 10 cm de la parte superior, generalmente contienen más 95% agua. En este estudio, se secaron los sedimentos y los análisis se realizaron con material seco.

Para este estudio se realizó el secado de los sedimentos en horno a 60°C hasta obtener un peso constante. Este tipo de secado se recomienda para muestras en las que se desea determinar componentes inorgánicos, en especial elementos traza. Los resultados de los análisis se presentaron basándose en el peso seco (Díaz, 2013).

7.6. Procedimiento general para el análisis de agua

7.6.1. Parámetros organolépticos

7.6.1.1. Color

La determinación del color se realizó de acuerdo con la Norma Mexicana NMX-AA-017-1980 (DOF, 1980b), se empleó la escala estandarizada de Pt-Co.

7.6.1.2. Turbidez

La turbidez se determinó de acuerdo con la Norma Mexicana NMX-AA-038-SCFI-2001. Las lecturas se realizaron con un turbidímetro calibrado con una suspensión de referencia de formacina.

7.6.1.3. Profundidad

Se determinó en campo mediante una cuerda con marcas de medición. La muestra de agua se tomó a una profundidad media.

7.6.2. Parámetros fisicoquímicos *in situ*

La temperatura, la conductividad eléctrica y el oxígeno disuelto se midieron con un multiparamétrico portátil. Mientras que el pH con un potenciómetro, que se calibra con soluciones buffer para pH 4, 7 y 10.

7.6.3. Parámetros fisicoquímicos en laboratorio

7.6.3.1. Demanda química de oxígeno (DQO)

Esta determinación se realizó de acuerdo con la Norma Mexicana NMX -AA-030-SCFI-2001 (DOF, 2001c). Se calcula la materia oxidable en términos de oxígeno equivalente.

7.6.3.2. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

Esta prueba se llevó a cabo de acuerdo con la Norma Mexicana NMX -AA-028-SCFI-2001 (DOF, 2001d). El método se basa en medir la concentración de oxígeno que requieren los microorganismos para efectuar la oxidación de la materia orgánica presente en agua naturales y residuales, se determina por la diferencia entre el oxígeno disuelto inicial y el oxígeno disuelto al cabo de cinco días de incubación a 20 °C.

7.6.3.3. Sólidos

Para esta determinación se utilizaron los métodos descritos en la Norma Mexicana NMX-AA-034-SCFI-2001 y en el manual de métodos estándar (DOF 2001h, APHA-AWWA-WPCF, 1995) para la determinación de sólidos disueltos, sólidos totales y sólidos suspendidos totales (Díaz, 2013).

7.6.3.4. Alcalinidad y acidez totales

Se determinaron de acuerdo con la Norma Mexicana NMX-AA-036-SCFI-2001. Este método está basado en la medición de la acidez o alcalinidad en el agua por medio de una valoración de la muestra empleando como disolución valorante un álcali o un ácido según sea el caso de concentración conocida (DOF, 2001) (Díaz, 2013).

7.6.3.5. Dureza total

Se determinó de acuerdo con la Norma Mexicana NMX-AA-072- SCFI-2001. El método se basa en la formación de complejos por la sal disódica del ácido etilendiamino tetraacético (EDTA) con Ca²⁺ y Mg²⁺ (DOF, 2001) (Díaz, 2013).

7.6.3.6. Componentes mayores

La determinación de Ca²⁺ y Na⁺ se realizó por espectrometría de absorción atómica (Díaz, 2013). Los SO₄²⁻ se evaluaron por métodos tritrimétricos (DOF 1981, DOF 2001i) y finalmente, los CO₃²⁻ y HCO₃⁻ se

calcularon mediante las Ecuaciones 1 y 2, con base en los valores de alcalinidad total y pH obtenidos (Díaz, 2013):

$$CO_3^{2-} \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{\left[\text{Alcalinidad total} \left(\frac{mg}{L} CaCO_3 \right) \right] 60}{(2 + 10^{-pH} / 10^{-10.3}) 50}$$

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

$$HCO_3^- \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{\left[\text{Alcalinidad total} \left(\frac{mg}{L} CaCO_3 \right) \right] 60}{(1 + 2 * 10^{-pH} / 10^{-10.3}) 50}$$

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

7.6.4. Coliformes fecales

Se determinaron los coliformes fecales por el método de tubos múltiples de acuerdo con la Norma Mexicana NMX-AA-112-SSA1-1994. El método permite determinar el número de microorganismos coliformes presentes en una muestra utilizando un medio selectivo en el que se desarrollan bacterias a 35 °C en aproximadamente 24 h, dando como resultado la producción de gas y ácidos orgánicos a partir de la fermentación de la lactosa, los cuales viran el indicador de pH y precipitan las sales biliares.

7.7. Metales pesados

Los metales pesados en agua se analizaron por espectrofotometría de absorción atómica (NMX-AA-051-SCFI-2001) con un espectrofotómetro marca PerkinElmer modelo AAnalyst 200. Los elementos que se determinaron fueron Pb, Ni, Zn, Fe, Cu, Cd, Cr y As.

7.8. Análisis estadístico para agua

El análisis estadístico se llevó a cabo con el programa estadístico jmp versión 6.0, mediante el análisis multivariado de componentes principales, así como el análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de medias (prueba de Tuckey), en los cuales se analizó el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos, metales pesados con respecto a los muestreos.

7.9. Procedimiento general para análisis de sedimentos

El análisis del pH y metales pesados en los sedimentos se realizaron 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 Norma Mexicana.

7.9.1. Parámetros físicos

7.9.1.1. Color

La determinación de color en los sedimentos se realizó por comparación con la Carta de Munsell para suelos, donde se observa el color en seco y húmedo, comparando con las celdas de las cartas se obtienen el matiz, el brillo y la intensidad (Método AS-22)

7.9.1.2. Tamaño de partícula

La determinación del tamaño de partícula se realizó de acuerdo con el método de la pipeta (método AS-28) propuesta por la Norma Mexicana NOM-021-RECNAT-2000.

7.9.2. Parámetros químicos

7.9.2.1. pH

Para la medición de pH se utilizó el método 9045C para medir pH en suelo y lodo, es un procedimiento electrométrico para medir el pH en suelos y muestras de desechos (Díaz,2013).

7.9.2.2. Metales pesados

La determinación de metales pesados y arsénico, se llevó a cabo de acuerdo al método de la EPA 3050B, el cual nos menciona la preparación de las muestras para el análisis por espectrometría de absorción atómica de flama (FLAA).Este método nos señala la realización de una digestión ácida fuerte que disuelve casi todos los elementos que podrían llegar a ser “ambientalmente disponibles”. La solución resultante de la digestión es la que se analiza en el espectrómetro de masas (Díaz, 2013).

7.10. Análisis estadístico para sedimentos

Al igual que en el agua se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de medias (prueba de Tukey) mediante el programa JMP 6.0, para las concentraciones de metales pesados y arsénico contra los muestreos. Con la finalidad de comparar las medias aritméticas de los metales pesados en estudio, así como la comparación de medias para reconocer las diferencias estadísticas entre medias de acuerdo con los muestreos que se llevaron a cabo.

Para el caso de los sedimentos solo se tomaron las variables de los metales pesados ya que los parámetros fisicoquímicos son variables nominales por lo cual no se pueden ingresar al análisis, por esta razón también no se realizó el análisis de componentes principales.

8. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

8.1. Agua

8.1.1. Parámetros Físicos

8.1.1.1. Turbiedad

Para la turbiedad en la figura 3 se puede ver que el sitio del Tepetate presenta la mayor turbiedad de 17.6 UTC, ya que se observó un color gris oscuro a lo largo del arroyo, donde se encuentran descargas de aguas residuales de las casas, las cuales posiblemente arrastraron antes de la entrada del cuerpo de agua lodos y compuestos externos al arroyo que probablemente agregaron una alta concentración de partículas suspendidas, que hacen que la penetración de la luz sea menor; las concentraciones más elevadas se obtuvieron en el muestreo de octubre-noviembre del 2015.

Además lo que reportó Soto en el 2012, sitios como el TEP donde el arroyo perdió su cauce al ser transformado en una noria de concreto para abastecer la demanda local de la comunidad, difícilmente pudieran encontrarse organismos, además, algunos pobladores mencionaron que cuando construyeron la noria muchos de estos organismos fueron sacrificados por la misma gente.

Las actividades antropogénicas como el sobrepastoreo o el cruce de vehículos destruyen las riberas de los arroyos aumentando el área de erosión, lo que

genera posiblemente, que el material de las laderas sea arrastrado y depositado en el fondo de los arroyos, incrementando la turbidez del agua.

8.1.1.2. Color

Los sitios de QUE y del TEP presentaron mayor color de 53.33 PtCo en los meses de septiembre y octubre del 2015 y en los meses de octubre y noviembre del 2015 respectivamente. El comportamiento del color en el arroyo de QUE tiene un gran aumento posiblemente debido a la descarga de aguas residuales por parte de las casas cercanas a la cabecera del arroyo, obteniendo ahí como se muestra en la figura 4 la mayor concentración de este parámetro, el cual va disminuyendo a lo largo de los meses de octubre y noviembre del 2015, esto probablemente debido a la velocidad de corriente que se presenta a lo largo del arroyo y un mayor ingreso de oxígeno, por lo tanto una mayor degradación de materia orgánica la cual le proporciona color al agua, así como también el aumento de la precipitación pluvial en esos meses.

8.1.1.3. Profundidad

El sitio de CP presenta mayor profundidad en los meses de septiembre y octubre del 2015 que es de 46.67 cm. Lo cual es efectivo para las salamandras, pues en otros estudios se han encontrado a profundidades elevadas. Por ejemplo Silva en el 2011 encontró que en los microhábitats ocupados por *A.ordinarium* la profundidad del arroyo presentó un valor promedio de 45.57 cm en un intervalo de 30.5 cm a 75.8 cm que corresponde a las medias de los sitios con presencia de ambystoma

Las actividades antropogénicas como el sobrepastoreo o el cruce de vehículos destruyen las riberas de los arroyos aumentando el área de erosión, lo que genera, que el material de las laderas sea arrastrado y depositado en el fondo de los arroyos, disminuyendo la profundidad y reduciendo la disponibilidad de microhábitats como es el caso de los sitios con ausencia de salamandra, los cuales presentaron menores profundidades.

Los resultados de este estudio sugieren que *A. ordinarium* selecciona los lugares más profundos y con menor turbidez.

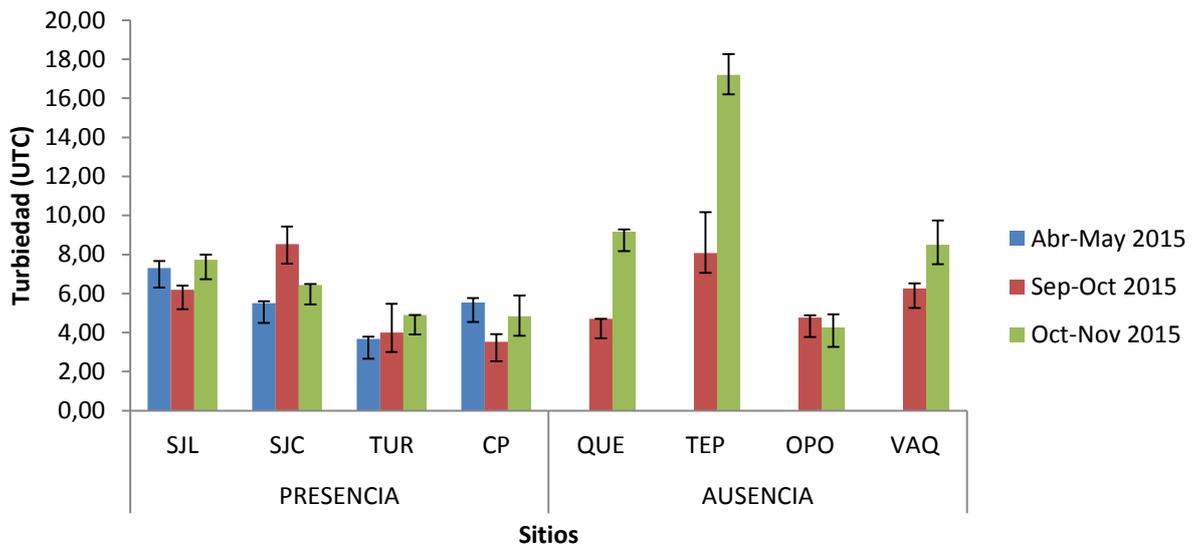


Figura 3. Valores de turbiedad para los ocho sitios de muestreo

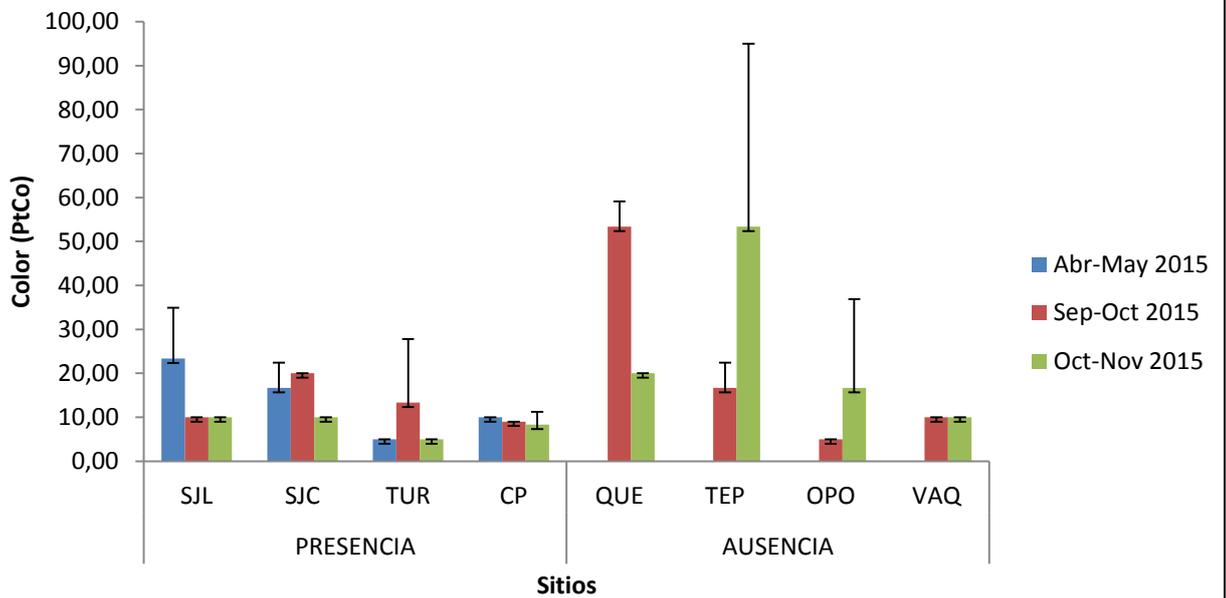


Figura 4. Valores de color para los ocho sitios de muestreo

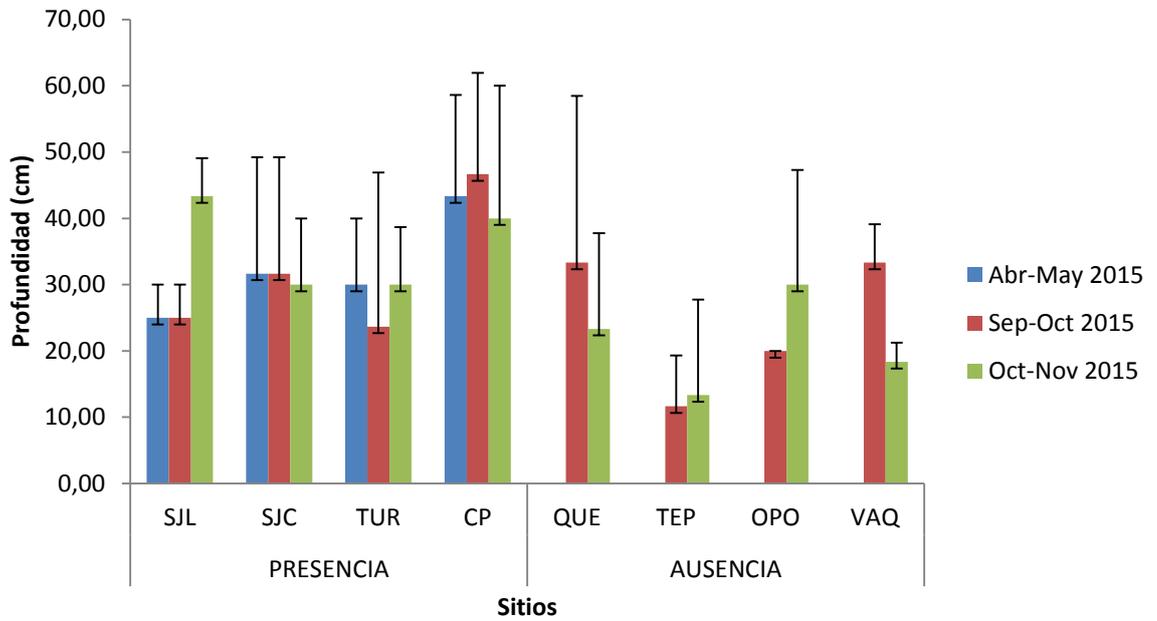


Figura 5. Valores de profundidad para los ocho sitios de muestreo

8.1.2. Parámetros *in situ*

Los valores de los parámetros medidos en agua *in situ* de los ocho sitios de estudio se encuentran en el cuadro del anexo A.

8.1.2.1. Temperatura

Como se muestra en la figura 6 el sitio que presenta mayor temperatura es el de QUE con una temperatura de 18.5°C en los meses de septiembre y octubre del 2015, la cual fue disminuyendo en el mes de noviembre debido a la precipitación pluvial. De acuerdo al comportamiento de la temperatura en los sitios con presencia de la salamandra, son valores cercanos a los reportados por Duellman y Trueb (1994) para Ambystomátidos de zonas templadas de 14.5 °C.

Los adultos o las larvas de muchos anfibios son sensibles a la RUV, pero pueden eludir activamente la radiación desarrollando una actividad nocturna o refugiándose en zonas profundas, vegetación, piedras, troncos, etc. La RUV podría explicar la ausencia de estas especies en zonas que carecen de estos refugios como es el caso de los sitios con ausencia.

Estudios realizados por BLAUSTEIN et al., 1997; MARCO et al., 2001 han comprobado que la RUV-B ambiental produce deformidades en embriones de anfibios. Embriones que no mueren tras la exposición a la RUV, pueden sufrir serias anomalías que pueden provocar la muerte futura o un desarrollo larvario anormal que limitará el éxito futuro de los individuos afectados.

8.1.2.2. Conductividad eléctrica

El sitio del TEP presentó la concentración más elevada de la conductividad eléctrica con 264.8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el mes de octubre del 2015, disminuyendo ligeramente en el mes de noviembre del 2015. A través del comportamiento de la C.E se comprueba con las concentraciones que presenta la alcalinidad total y la concentración de los sólidos ya que tienen un comportamiento similar a lo largo del arroyo, estos dos parámetros están relacionados con las

partículas disueltas, entre ellas las sales, con esto se confirma el arrastre de sales a lo largo del arroyo de TEP.

Los arroyos de SJL y SJC presentaron comportamientos parecidos en cuanto a la conductividad, probablemente debido a la cercanía entre ambos sitios, el sitio de CP arrojó los valores mínimos de C.E., lo cual permite suponer que la mineralización en el arroyo es de origen natural, así como ocasionada por el proceso de evaporación.

Existe diferencia significativa con respecto a la conductividad eléctrica, en los sitios con ausencia son mayores los valores que en los sitios con presencia; lo cual corresponde a lo que encontró García en el 2003 que los microhábitats ocupados por *A. ordinarium* en el Río chiquito oscilaron de 42 a 114 $\mu\text{S}/\text{cm}$, quien a la vez registro mayor supervivencia de crías (44%) a 39 $\mu\text{S}/\text{cm}$; y Huacuz en el 2008 observo un intervalo de 22-114 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En todos los sitios donde hay ausencia del anfibio sobrepasan el límite encontrado en estas investigaciones.

8.1.2.3. pH

El pH más alcalino se observa en el sitio de CP en los meses de abril y mayo del 2015 que corresponden a la temporada de estiaje.

Los valores obtenidos de pH se comportaron dándonos valores neutros y ácidos. Estos valores de pH permiten poca interacción entre el metal y el agua, ya que es muy difícil de ser liberado el metal de la especie química que lo tenga retenido, por lo que, esto provoca poca movilidad de los metales a lo largo de los arroyos. Se observa en la figura 7 que el pH disminuye en la época de precipitación pluvial; esto indica que probablemente existieron en la lluvia sustancias ácidas que disminuyeron el pH, lo cual provoco que algunos de los parámetros fisicoquímicos se vean afectados tal es el caso de la alcalinidad la cual disminuye. Cuando los carbonatos y bicarbonatos bajan, el pH se hace ácido y entonces predomina el dióxido de carbono. Cuando éstos aumentan, se hace alcalino el pH (arriba de 8).

Los pH registrados en los ocho sitios de muestreo se encuentran dentro del rango, de acuerdo con lo que encontraron Anderson & Worthington (1971) en Puerto Garnica y en el Parque Nacional María Morelos en 1976, fue de pH 7.5 y en Agua Zarca (pH 5.0 a 6.0) por García (2003), se encontró el mismo valor para las dos primeras localidades.

8.1.2.4. Oxígeno disuelto

En el caso del oxígeno disuelto (Figura 9). El sitio del VAQ presento la mayor concentración en los meses de octubre y noviembre del 2015 que son los meses con la temperatura más baja. Además de que el caudal del arroyo se mueve rápidamente. El sitio del TEP presento la concentración más baja registrada y esto es consistente ya que como se mencionó anteriormente el arroyo fue convertido en una noria, lo cual a su vez provocó disminución de profundidad y movimiento sobre el arroyo.

En este estudio el pH y el O.D parecen no estar afectando a la salamandra, ya que no existen diferencias significativas con respecto a los sitios de presencia y ausencia para estos parámetros; además ambos parámetros se encuentran dentro del rango óptimo de las investigaciones realizadas anteriormente: es decir, pH de 6 a 9 y oxígeno disuelto de 3 a 8.6.

Por otra parte la temperatura y la conductividad eléctrica pueden ser parámetros que estén afectando a la salamandra en este estudio, de acuerdo a lo mencionado anteriormente.

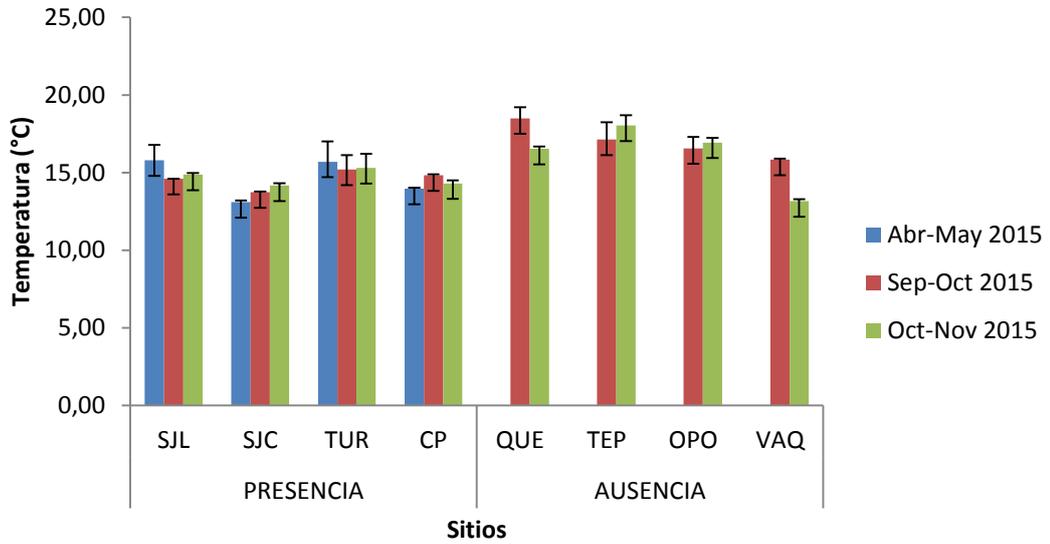


Figura 6. Valores de temperatura para los ocho sitios de muestreo

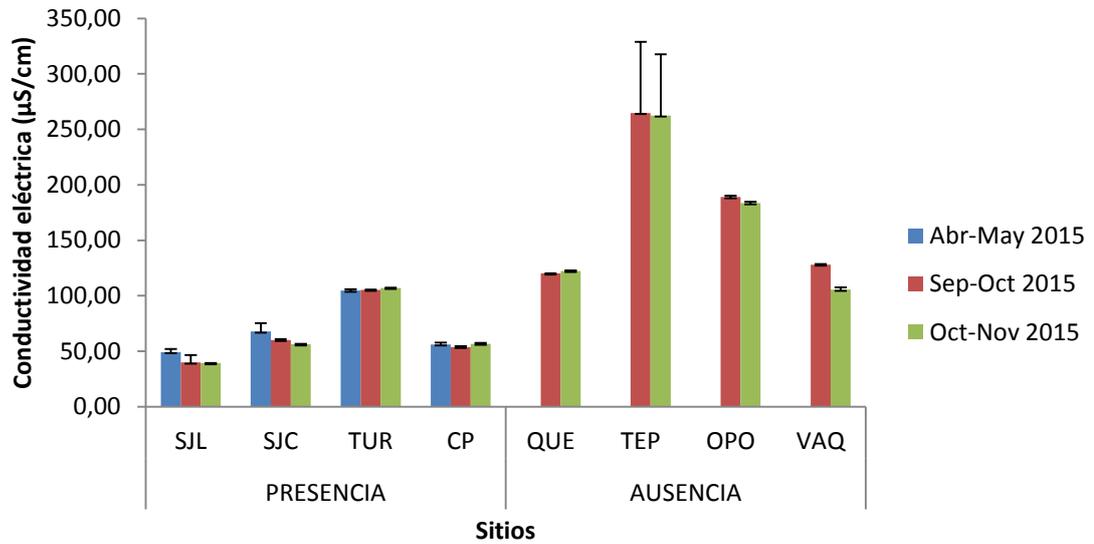


Figura 7. Valores de conductividad eléctrica para los ocho sitios de muestreo

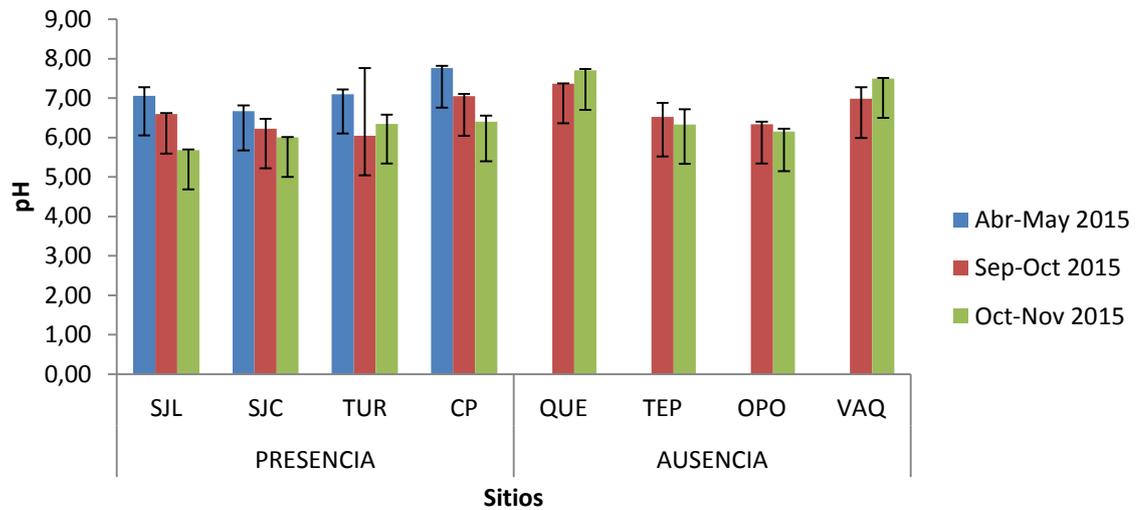


Figura 8. Valores de pH para los ocho sitios de muestreo

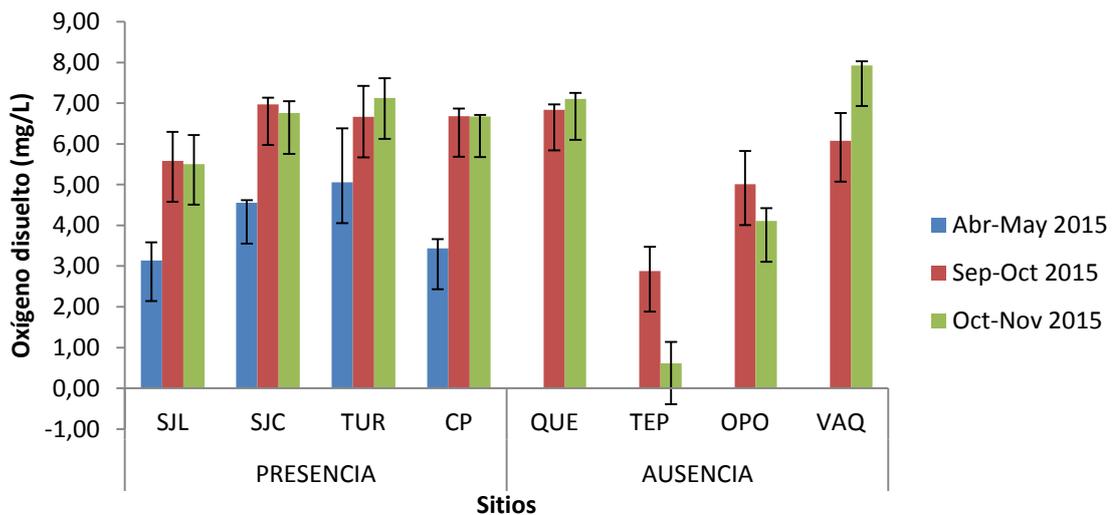


Figura 9. Valores de oxígeno disuelto para los ocho sitios de muestreo

8.1.3. Parámetros fisicoquímicos del laboratorio

8.1.3.1. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

El comportamiento de la DBO₅ se observa en la figura 11, presentándose la mayor demanda de oxígeno para degradar la materia orgánica en el sitio del TEP en los meses de septiembre y octubre, y disminuyendo en los meses más fríos.

8.1.3.2. Sólidos totales, disueltos totales y suspendidos totales

Los sólidos totales (figura 12) oscilaron entre 0 a 103.33 mg/L en los sitios con presencia y en los sitios con ausencia de 106.67 a 378.67 mg/L. Obteniéndose la mayor concentración en el sitio del TEP en los meses de octubre y noviembre del 2015. Nuevamente el sitio del TEP presento la concentración más elevada en los meses de octubre y noviembre del 2015 de 236 mg/L, esto debido a que este sitio es de los que presento las temperaturas más elevadas y las profundidades más bajas y esto favorece el incremento en la concentración de sólidos disueltos debido a la evaporación.

En cuanto a los sólidos suspendidos totales (figura 14) el rango fue de 0 mg/L en temporada de estiaje y 24.67 mg/L en los meses de septiembre y octubre del 2015 con respecto a los sitios donde existe presencias de ambystoma; por otro lado, los sitios con ausencia oscilaron de 7.33 mg/ en el mes de septiembre y octubre del 2015 y de 516 mg/L en los meses de octubre y noviembre. Este último valor lo obtuvo el sitio del TEP, ya que como se ha mencionado anteriormente fue transformado en un canal de riego y es altamente mineralizado.

En el campo se liberan muchas sustancias químicas relacionadas con actividades agrícolas, industriales o urbanas, que acaban incorporándose a los ciclos biológicos. Algunas de estas sustancias pueden ser liberadas en concentraciones suficientemente altas como para provocar daños para la fauna. Muchos de los hábitats acuáticos, cruciales para la reproducción y la supervivencia de los anfibios, son receptores de diversos tipos de contaminación. Como consecuencia de la alteración de la calidad ambiental de estos ecosistemas, se ha encontrado en algunas zonas una relación negativa entre la actividad agrícola convencional y la diversidad y salud de anfibios; aunado a esto en la mayoría de los sitios con ausencia de ambystoma se observaron actividades agrícolas y urbanas que probablemente incorporaron a los cuerpos de agua por escorrentía el arrastre de grandes cantidades de sólidos y componentes químicos a los arroyos.

8.1.3.3. Alcalinidad Total

En el caso de la alcalinidad total, el sitio del TEP presentó la concentración más alta de 112 mg/L.

Este parámetro ayuda a la estabilidad del cuerpo de agua, ya que las concentraciones no se encuentran muy altas, actuando como amortiguadora para los cambios de pH, por esta razón el pH se encuentra en valores neutros y ácidos como se vio anteriormente. El comportamiento de la alcalinidad se observa en la figura 15.

Las concentraciones de este parámetro incrementaron en los extremos del arroyo y disminuyeron en el punto intermedio reafirmando el arrastre de sales y partículas a lo largo del río, así mismo también la movilidad de los HCO_3^- los cuales predominan en el río y estos son como ya se mencionan los principales aportadores de alcalinidad.

8.1.3.4. Dureza total

Al ser la dureza un parámetro que está relacionado con la alcalinidad, el cual tiene un carácter natural y corresponde al lavado de los terrenos. El uso de insecticidas, fungicidas, herbicidas y fertilizantes tanto en cultivos herbáceos como leñosos, así como la acidificación o salinización del suelo la cual aumenta la dureza y contenido de sólidos; como consecuencias de esas actividades, supone un riesgo importante para la supervivencia de anfibios.

En la figura 16 se observa el comportamiento de la dureza total. El sitio del TEP presenta la mayor dureza con una concentración de 86.50 mg/L en los meses de septiembre y octubre del 2015, la cual disminuye ligeramente en el mes de noviembre del 2015; esto debido a que es el arroyo que arrastra más sólidos y con mayor alcalinidad. Siendo estos tres parámetros directamente proporcionales.

En todos los sitios con presencia del ambystoma se encontraron los valores mínimos de dureza total en los meses fríos, favoreciendo la dureza carbonatada indicando su relación con los carbonatos y bicarbonatos.

8.1.3.5. Sulfatos

Los SO_4^{2-} variaron en un rango de 1.60 mg/L en los meses de abril y mayo del 2015 y de 5.65 en el mes de octubre y noviembre del mismo año para los sitios con presencia de salamandra y de 5.21 mg/L en los meses de septiembre y octubre del 2015 y 30.13 mg/L en los mismos meses para los cuatro sitios donde hay ausencia. El sitio del TEP presento la mayor concentración de sulfatos de 30.13 en los meses de septiembre y octubre del 2015 y disminuyo en el mes de noviembre; lo que sugiere posibles descargas cercanas de fertilizantes o detergentes mineralizados.

8.1.3.6. Carbonatos y bicarbonatos

Los carbonatos y bicarbonatos se encuentran de manera natural en los sistemas acuáticos, el pH del agua se define en función de estas especies y otras. De acuerdo al sistema de los carbonatos, el CO_3^{2-} empieza a formarse a partir de un valor de pH de 8.3, mientras que los HCO_3^- se encuentran presentes a partir de valores ligeramente ácidos de pH.

El sitio del TEP presento la mayor concentración de bicarbonatos de 90.33 mg/L en la temporada de precipitación pluvial.

Además de acuerdo a los valores de pH no hay formación de carbonatos en ningún arroyo, ya que en todos los sitios los valores de pH no llegan a 8.3.

8.1.3.7. Nitratos y nitritos

El N-NH_3 se halló desde valores de 0.11 mg/L a 0.38 mg/L en los sitios de TUR y CP. En los sitios con ausencia variaron desde 0.15 mg/L a 0.28 mg/L en el sitio del VAQ. Sin embargo ninguna de las concentraciones presentaron indicios de contaminación de agua por nitratos; además de acuerdo con lo que reportó Mendoza en el 2009, la tasa de mortalidad comienza a incrementar después de 0.25 mg/L para *A.mexicanum*. En el caso del nitrito, menciona que la supervivencia fue del 12.5% a una concentración de 0.5 mg/L, a diferencia del amonio del amonio en la que se registró una mortalidad de 100%, mientras que en el tratamiento de nitrato se obtuvo una supervivencia de 83.3%. Por lo

cual en este trabajo esos parámetros posiblemente no estén afectando a *A.ordinarium*.

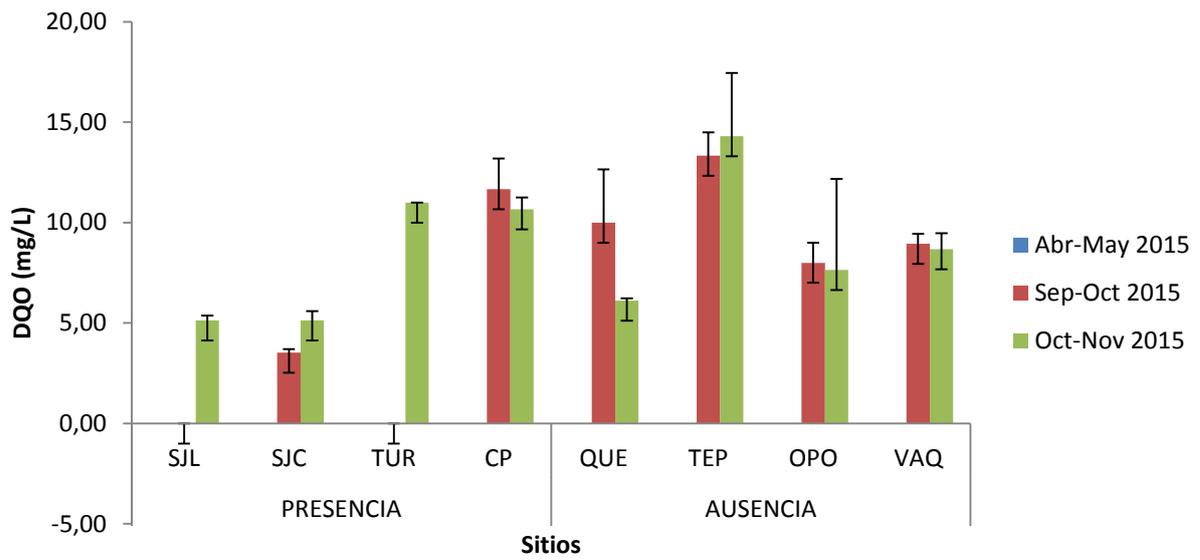


Figura 10. Valores de DQO para los ocho sitios de muestreo

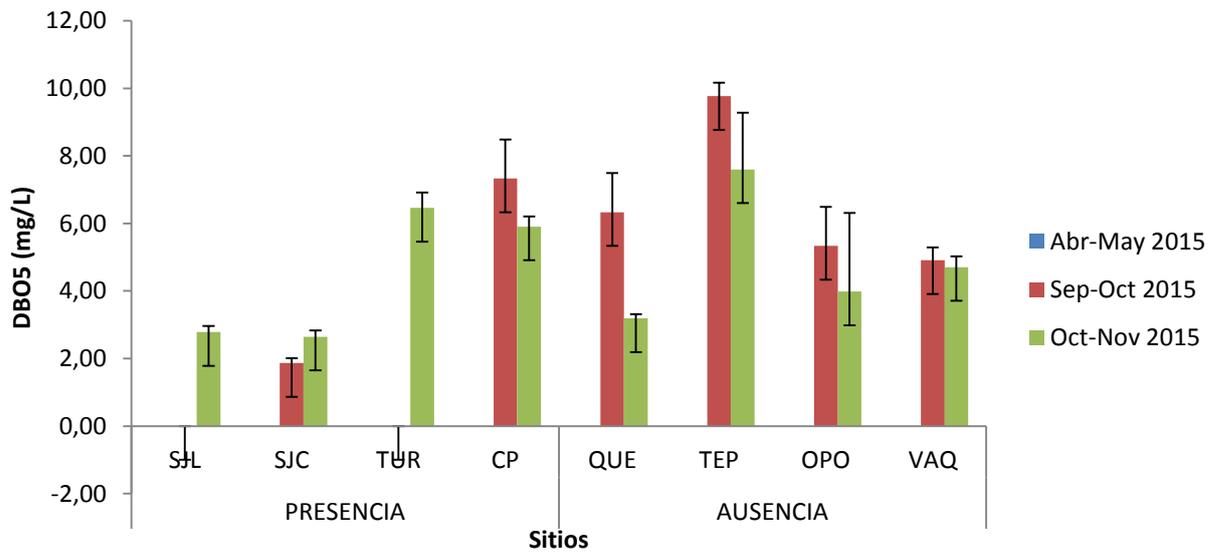


Figura 11. Valores de DBO5 para los ocho sitios de muestreo

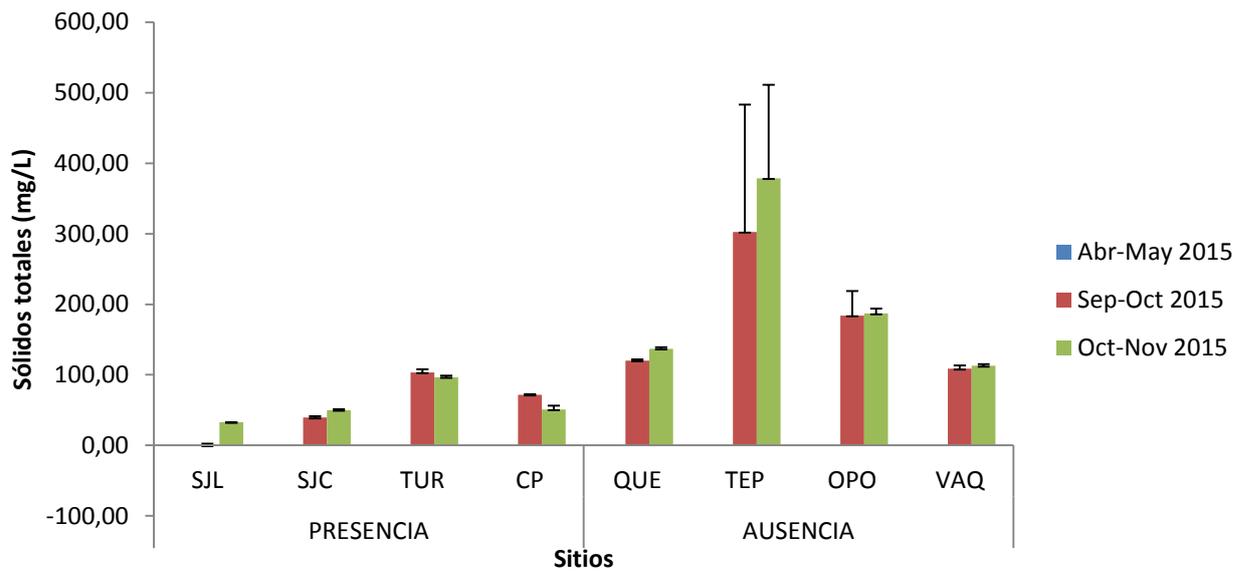


Figura 12. Valores de sólidos totales para los ocho sitios de muestreo

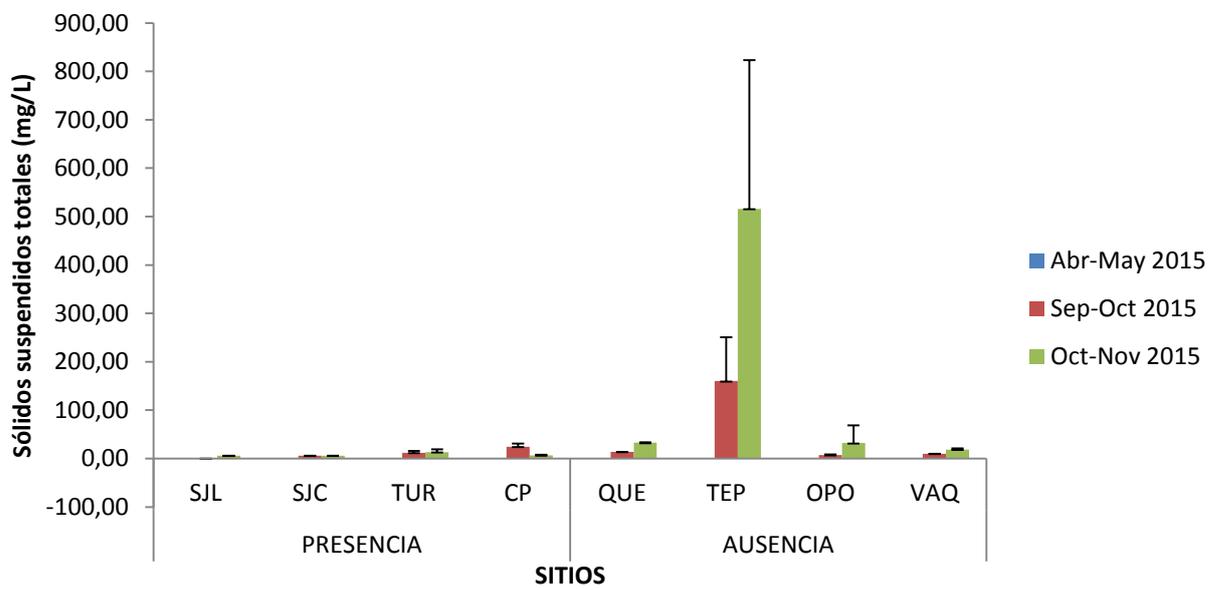


Figura 13. Valores de los sólidos suspendidos totales para los ocho sitios de muestreo

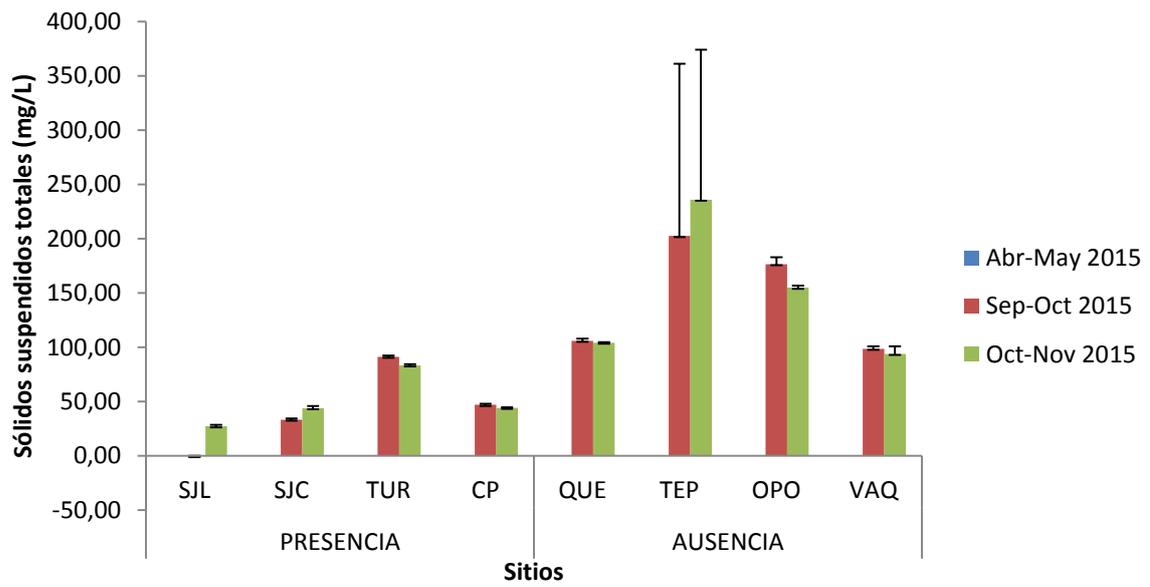


Figura 14. Valores de sólidos disueltos totales para los ocho sitios de muestreo

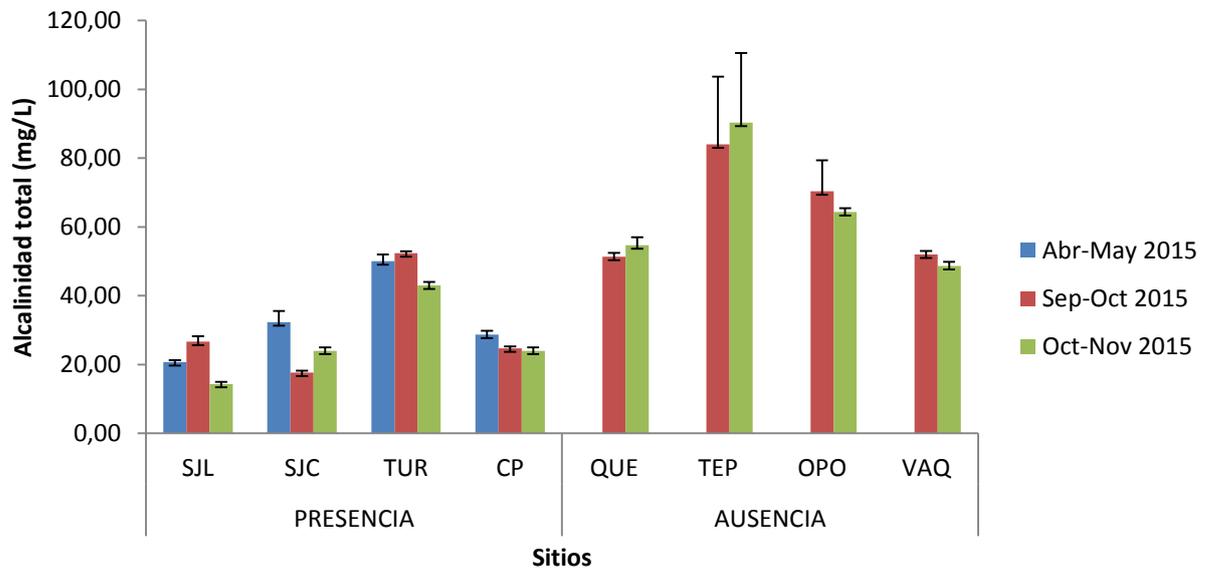


Figura 15. Valores de alcalinidad total para los ocho sitios de muestreo

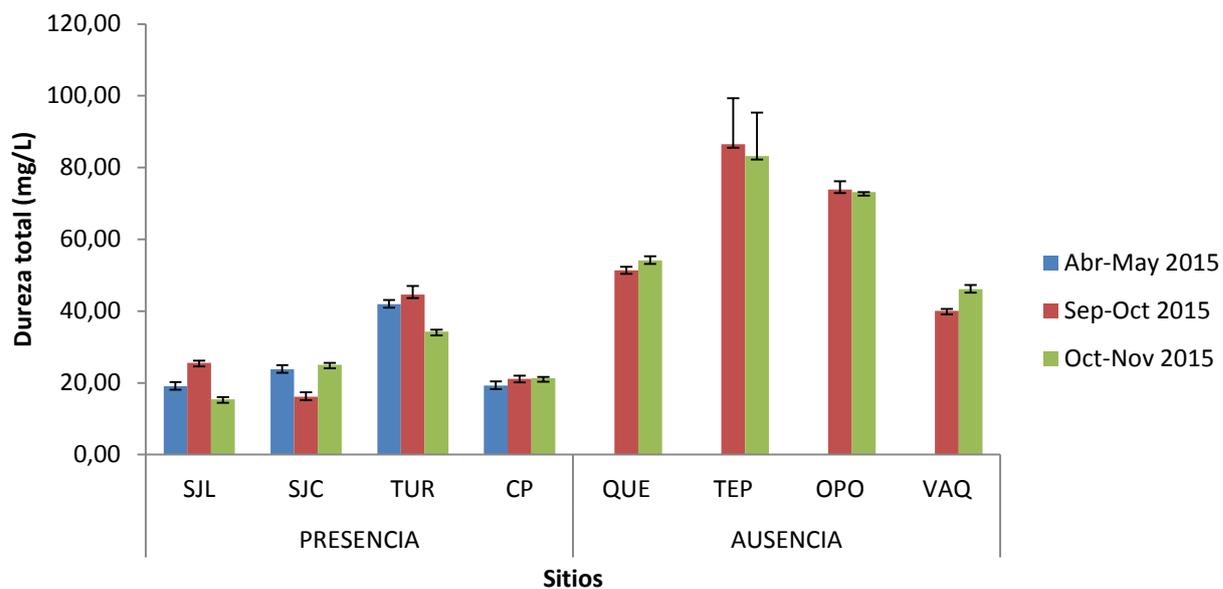


Figura 16. Valores de dureza total para los ocho sitios de muestreo

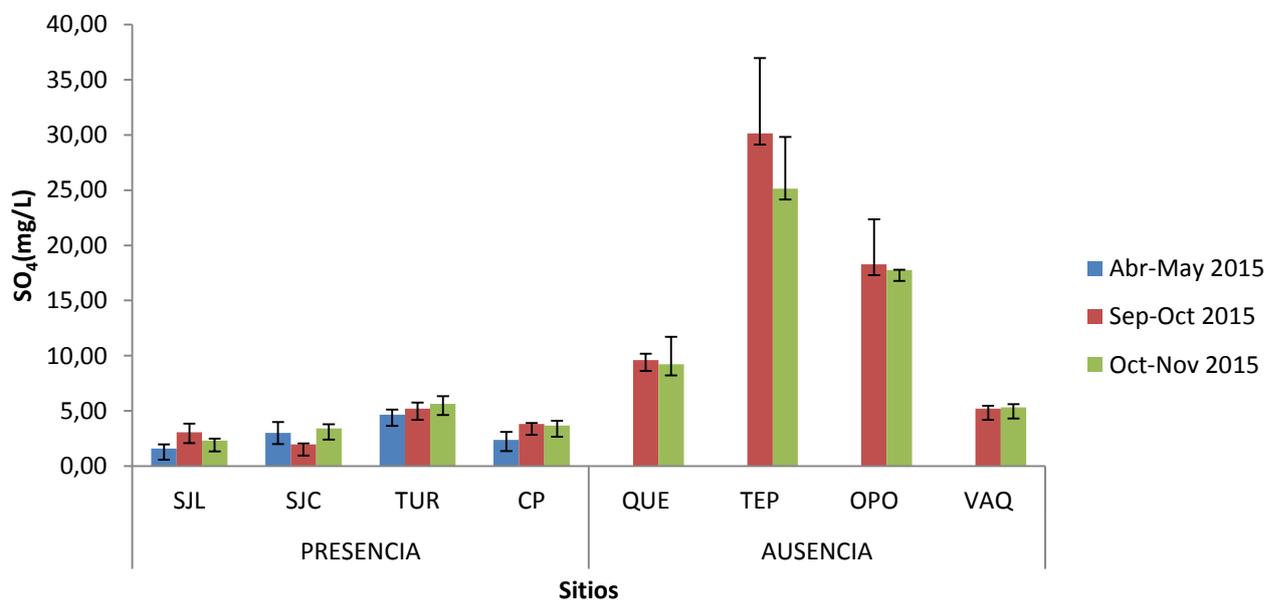


Figura 17. Valores de sulfatos para los ocho sitios de muestreo

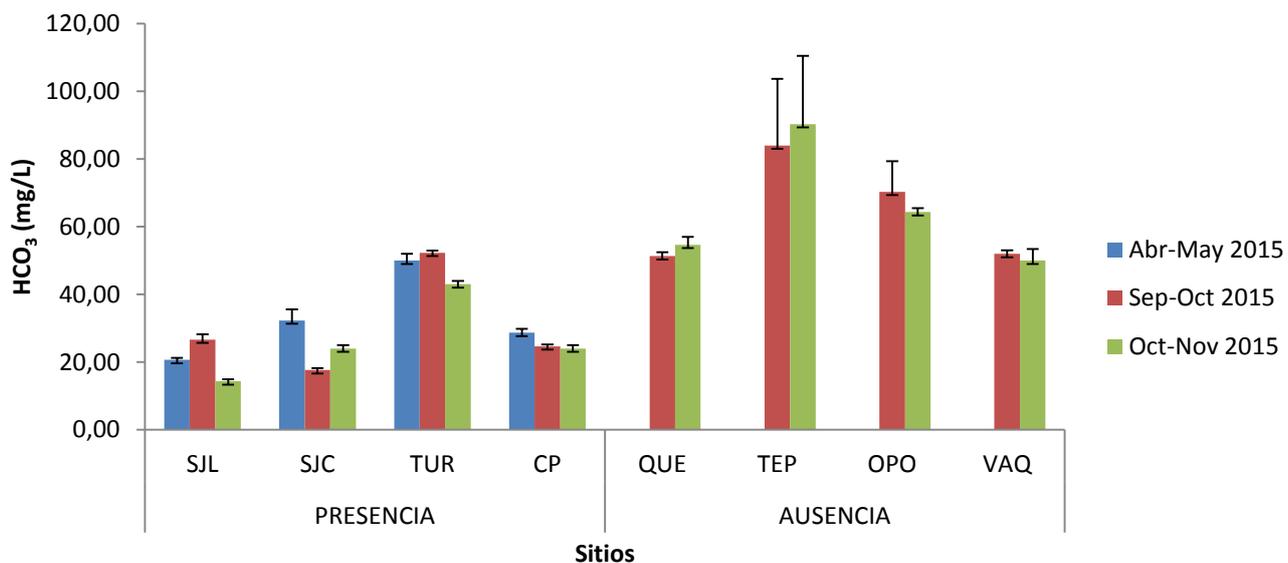


Figura 18. Valores de bicarbonatos para los ocho sitios de muestreo

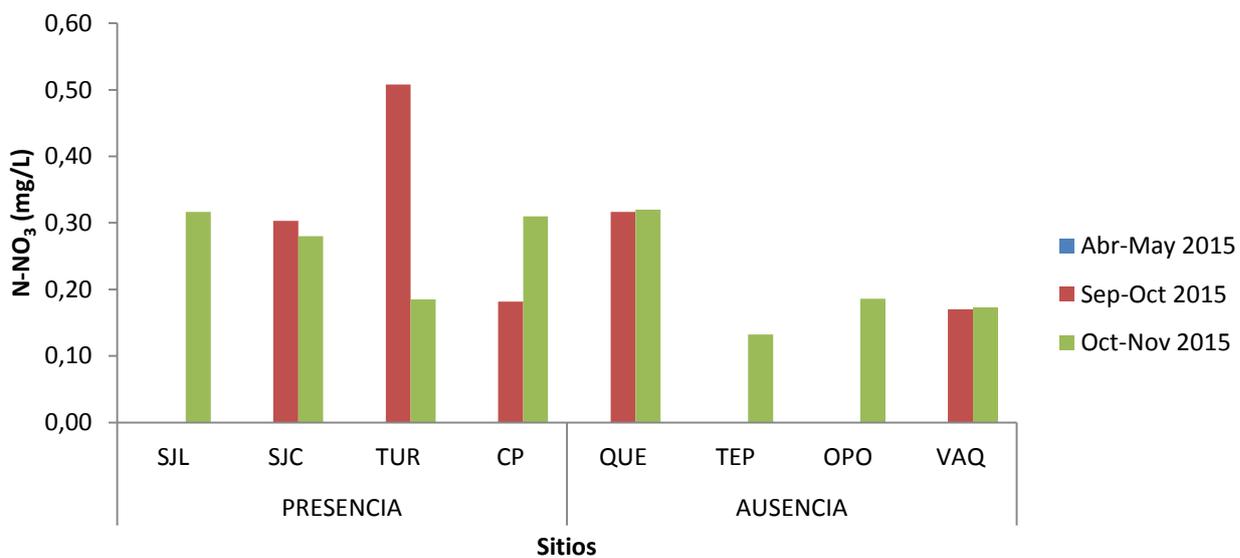


Figura 19. Valores de nitratos para los ocho sitios de muestreo

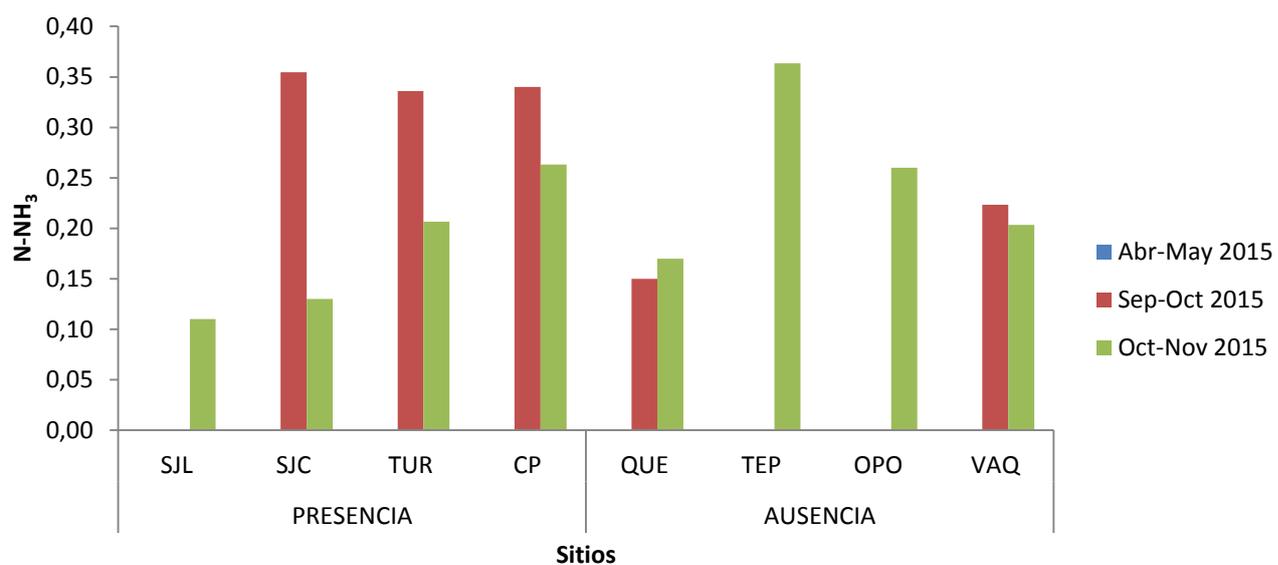


Figura 20. Valores de amonio para los ocho sitios de muestreo

8.1.4. Coliformes fecales

La figura 21 representa los resultados obtenidos en la determinación de coliformes fecales, expresados como NMP/100 mL. El análisis bacteriológico de las muestras se realizó conforme a lo que establece la NMX-AA-102-SCFI-2006.

El arroyo de Turirán presenta mayor número de coliformes fecales en la temporada de lluvias, esto es consistente ya que en el arroyo abundan vacas y caballos y la precipitación pluvial ayuda a que las heces de los animales se diluyan en el cuerpo de agua y disminuyo en la cabecera del arroyo esto debido al movimiento del cuerpo de agua.

De acuerdo al comportamiento de los coliformes fecales se observa que los arroyos que tienen una mayor movilidad benefician a diferentes parámetros como el O.D que hacen que la materia orgánica se degrade más rápido, la concentración más baja se obtuvo en el sitio de SJC.

Este parámetro es importante porque puede ser considerado un indicio de contaminación fecal reciente y constante (Ruth, 2010).

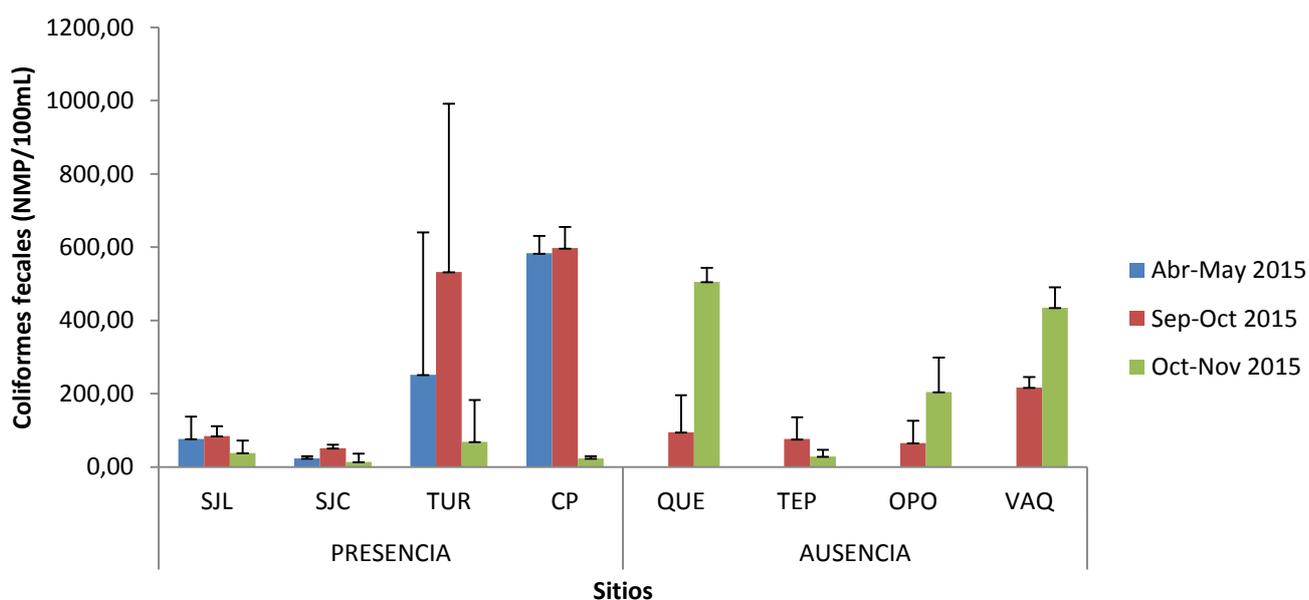


Figura 21. Valores de coliformes fecales para los ocho sitios de muestreo

8.1.5. Metales pesados

Se determinó la concentración del plomo (mg/L), níquel (mg/L), zinc (mg/L), hierro (mg/L), cobre (mg/L), cromo (mg/L) y arsénico (mg/L), mediante la técnica de espectrofotometría de adsorción atómica.

En cuanto a los metales pesados; ningún sitio de muestreo presentó concentraciones de plomo.

8.1.5.1. Níquel (Ni)

La mayoría de los sitios obtuvieron concentraciones por debajo del límite de detección del equipo; además en este estudio se puede decir que las concentraciones de este metal en agua parecen no afectar a la salamandra ya que en los sitios con presencia se encuentran a condiciones traza y es utilizado como micronutriente.

8.1.5.2. Zinc (Zn)

El Zn que se presentó en esos sitios se podría considerar que proviene de la agricultura ya que los sitios donde se encontró este metal, tenían sembradíos cercanos, se observa en la figura 23 que en los sitios de SJL y SJC está se va acumulando a lo largo del arroyo durante la temporada de estiaje hasta la temporada de lluvias; y en los sitios de TUR Y CP sucede lo contrario; en época de estiaje disminuye, se concentra en la época de precipitación pluvial y vuelve a disminuir para el mes de noviembre del 2015. Esto nos indica que existe ingreso de Zn por las descargas residuales y agrícolas de la zona.

La mayor parte del zinc introducido en los ambientes acuáticos es eventualmente acumulado en los sólidos. El zinc disuelto usualmente consiste en la forma iónica libre, que constituye la forma más tóxica. La concentración del ion libre disminuye a elevada alcalinidad, pH superior a 7,5 y mayor salinidad; es por eso que en los sitios donde existe el ambystoma hay mayor concentración de este metal en el agua debido a la baja alcalinidad que en

ellos existe y por el contrario este metal disminuye en los sitios con ausencia debido a la alta alcalinidad.

El Zn elemental es un micronutriente que se encuentra en todos los organismos, pero en concentraciones excesivas puede ser tóxico para la salud humana y animal, cuando se une a compuestos de arsénico o cianuro pueden formar compuesto altamente tóxicos y que en pequeñas concentraciones pueden llegar hacer letales.

8.1.5.3. Cobre (Cu)

El cobre es un elemento menor en la corteza terrestre. Los minerales típicos que contienen cobre incluyen sulfuros, sulfosales, carbonatos y óxidos.

En la figura 24 se observa que en los sitios con presencia el cobre va de 0.002 mg/L a 0.0075 mg/L. En los sitios con ausencia, se observa de 0.001 a 0.013 mg/L. En la mayoría de los sitios el cobre presento concentraciones por debajo del límite de detección del equipo.

El cobre es un micronutriente esencial requerido en pequeñas cantidades (5-20 µg/gr) por los humanos, otros mamíferos, peces, moluscos, crustáceos y equinodermos para el metabolismo de los carbohidratos y el funcionamiento de más de 30 enzimas.

8.1.5.4. Cromo (Cr)

En la figura 26 se observa que los únicos sitios que presentaron concentraciones de cromo fueron SJL Y CP en temporada de estiaje con concentraciones de 0.018 mg/L y 0.015 mg/L respectivamente; disminuyendo en temporada de precipitación pluvial.

Esto quizá se deba al tipo de suelo de estos arroyos; además de que el cromo se encuentra naturalmente en la corteza terrestre.

En la mayoría de los sitios, por lo menos en uno de los muestreos las concentraciones se encontraron por debajo del límite de detección del equipo.

8.1.5.5. Hierro (Fe)

En la figura 25 se muestran las concentraciones de hierro, el sitio de SJL fue el que presentó la mayor concentración de hierro en la temporada de estiaje y disminuye en la de precipitación pluvial; observándose un comportamiento similar a lo largo del arroyo.

Debido al pH encontrado en este sitio, el Fe tiende a ser más soluble y por lo tanto a oxidarse, precipitándose y llegando a los sedimentos del arroyo, por lo que la presencia del Fe en sedimento es mucho mayor que en el arroyo.

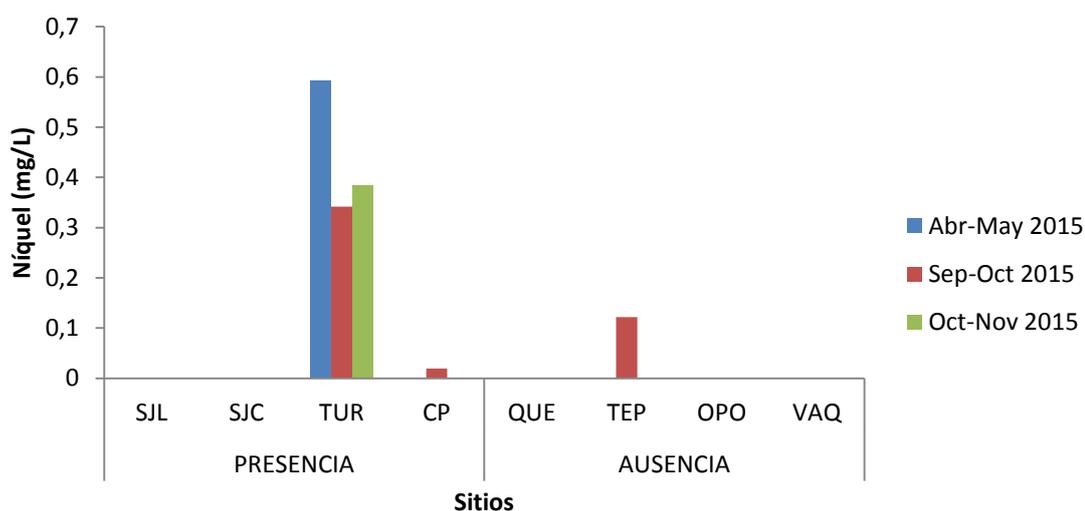


Figura 22. Valores de concentración de níquel para los ocho sitios de muestreo

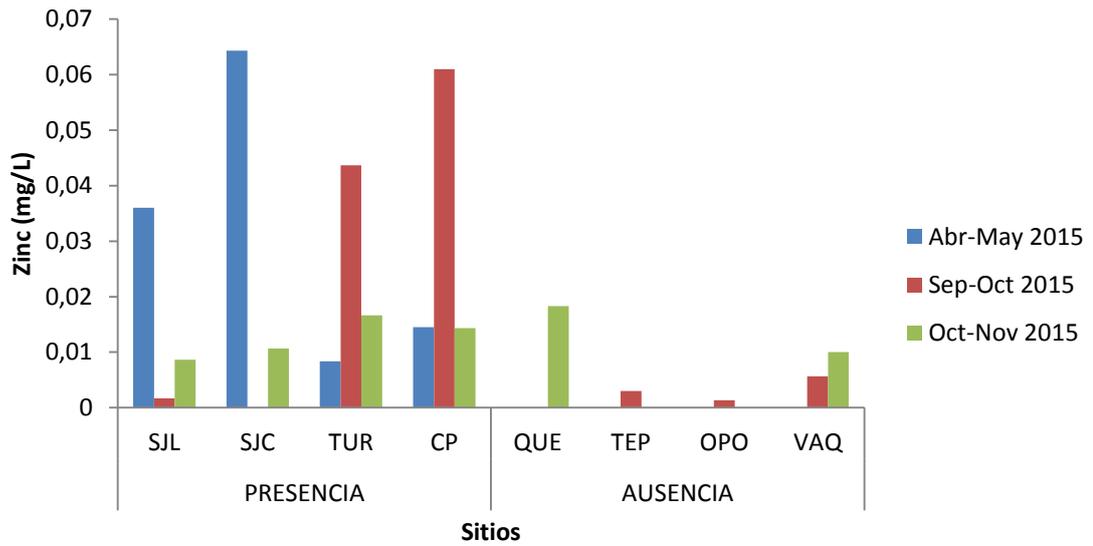


Figura 23. Valores de concentración de zinc para los ocho sitios de muestreo

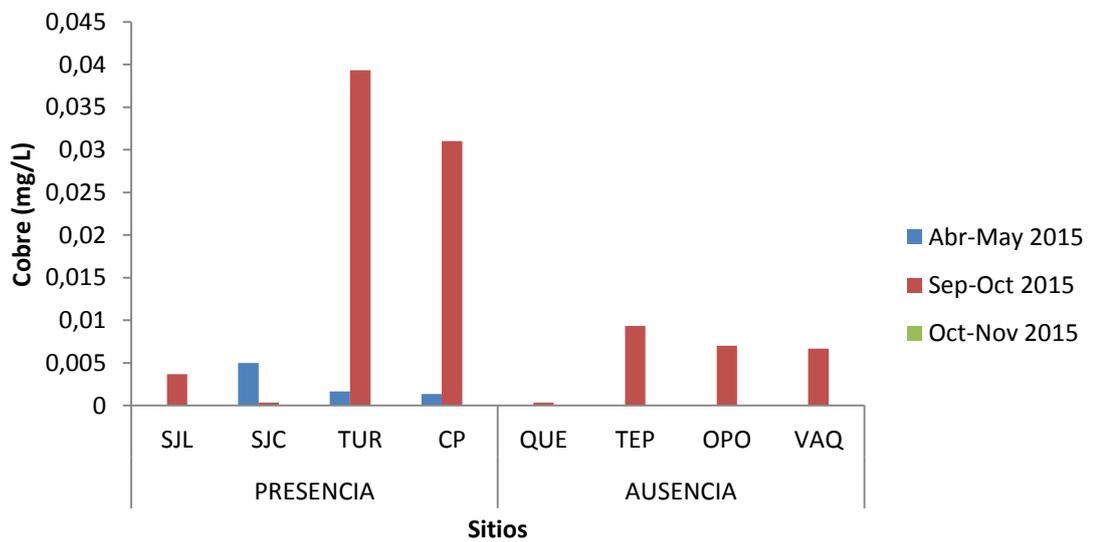


Figura 24. Valores de concentración de cobre para los ocho sitios de muestreo

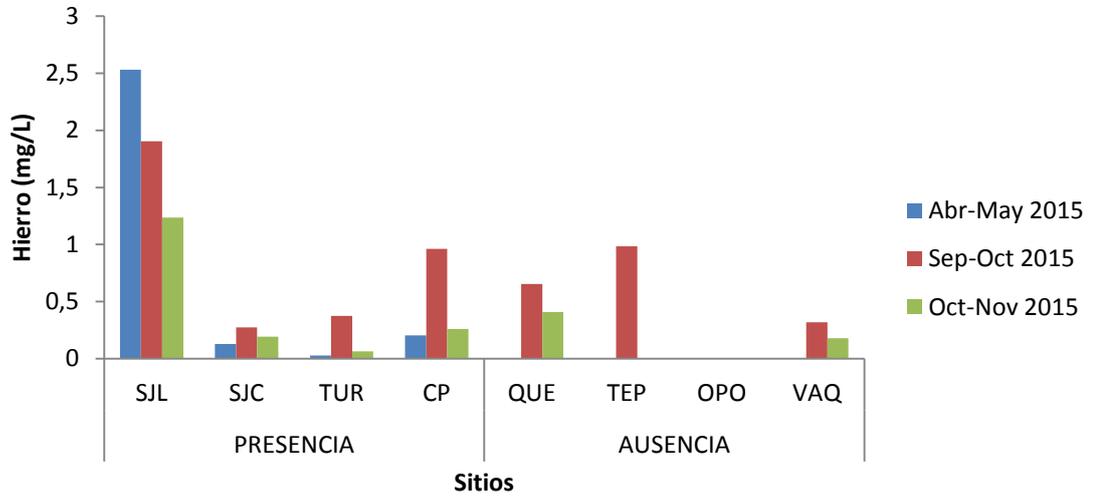


Figura 25. Valores de concentración de hierro para los ocho sitios de muestreo

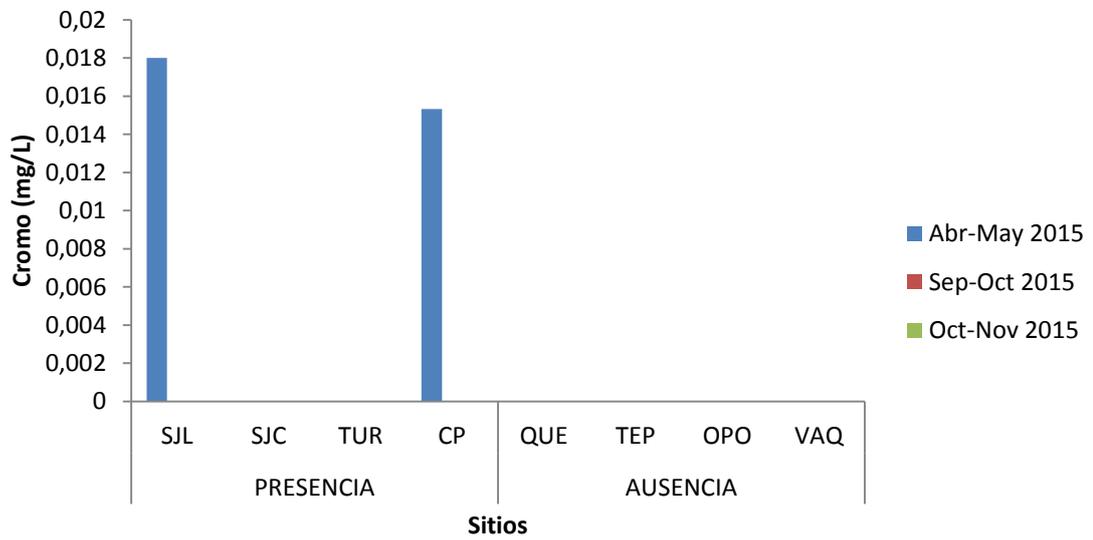


Figura 26. Valores de concentración de cromo para los ocho sitios de muestreo

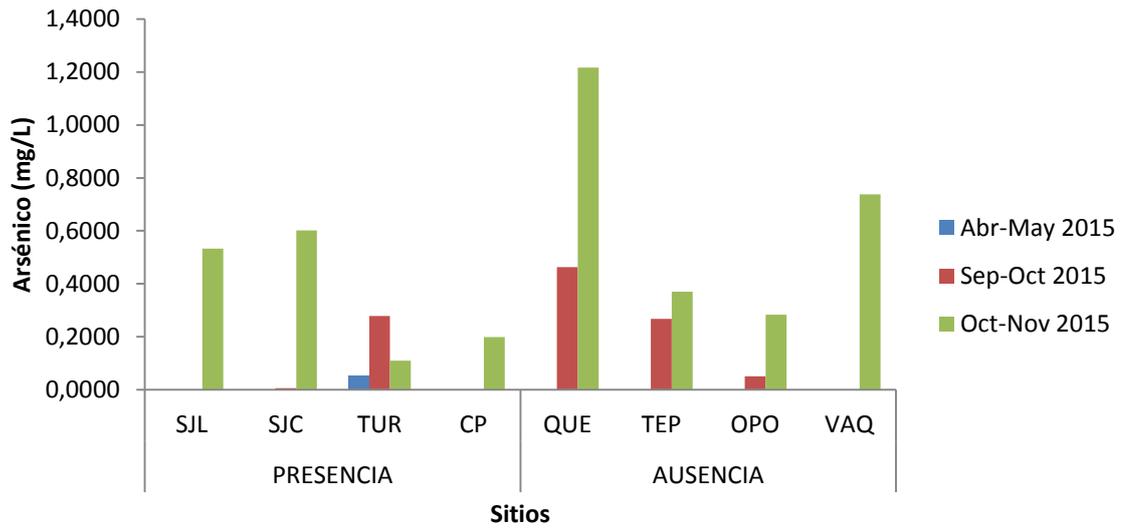


Figura 27. Valores de concentración de arsénico para los ocho sitios de muestreo

8.2. Análisis estadístico multivariado para presencia-ausencia de *A. ordinarium*.

Se utilizó el programa estadístico jmp (versión 6.0). Se realizó un análisis de correlación con todas las variables y con las variables más importantes se hizo un análisis de componentes principales para observar cómo se diferencian de acuerdo con las variables fisicoquímicas, bacteriológicas y de metales pesados los sitios donde hay presencia del ambystoma con respecto a los sitios donde actualmente hay ausencia de esta salamandra.

8.2.1. ANOVA y tukey para parámetros *in situ* por presencia-ausencia de *A. ordinarium*

El análisis para parámetros *in situ* en cuanto a la temperatura y la conductividad eléctrica presentaron diferencias significativas con una $p = 0.0001$ * (figuras 28 y 29). En cuanto a la temperatura, en los sitios donde hay ausencia de ambystoma se encontró una media mayor que en los sitios donde hay presencia de esta salamandra, lo cual es consistente ya que esta especie es un organismo ectodermo y a mayores temperaturas sus procesos vitales como reproducción y metabolismo se ven afectados. La distribución y disponibilidad de recursos alimenticios está asociada con la temperatura y por tanto con la distribución de las poblaciones.

En el caso de la conductividad eléctrica, en los sitios en donde hay ausencia de este organismo acuático se observó una media mayor que en los sitios donde hay presencia, esto se debe a que a conductividades más elevadas, la capacidad de supervivencia de la salamandra va a ser menor debido a que este parámetro afecta los procesos fisiológicos del organismo; por ejemplo, a mayor concentración de iones, menor grosor de la cápsula gelatinosa de los huevos haciéndola más sensible a la temperatura y con menor protección contra la depredación.

Para el pH y el oxígeno disuelto no presentaron diferencias significativas en cuanto a los sitios con ausencia y presencia de la salamandra; ya que como se mencionó antes; ambos parámetros se encuentran dentro de los límites a los

que se ha encontrado los microhabitats ocupados por esta especie en otros estudios; por lo tanto en esta investigación se puede decir que estos dos parámetros no están afectando la supervivencia de *A.ordinarium*.

Por otra parte la turbiedad y la profundidad si presentaron diferencias significativas en cuanto a los arroyos con presencia y los arroyos con ausencia con una $p=0.0022^*$ y 0.0062^* (figuras 30 y 31) respectivamente. También se observa que para la turbiedad la media mayor la presentaron los sitios con ausencia y para la profundidad la media mayor fue en los sitios con presencia; esto aunado a los trabajos anteriores que se han realizado sobre la supervivencia de esta especie y por lo descrito anteriormente sobre ambos parámetros se puede deducir que ambos tienen una significancia para la presencia de la salamandra en este estudio.

8.2.2. ANOVA y tukey para parámetros fisicoquímicos de laboratorio por presencia-ausencia de *A. ordinarium*

En cuanto a los parámetros fisicoquímicos la dureza total y la alcalinidad total presentaron diferencias significativas con una $p=0.0001^*$ (figuras 32 y 33) respectivamente. En ambo parámetros las medias son mayores en los sitios con ausencia de salamandra, correspondiendo a lo que encontró García en el 2003 y Silva en el 2011, en este trabajo ambos parámetros parecen ser estresores para la supervivencia de la especie ya que están relacionados directamente con la cantidad de sólidos, sales y por lo tanto conductividad eléctrica de los cuerpos de agua.

Por otra parte los valores para coliformes fecales no presentaron diferencias significativas en este estudio por lo cual, en este caso este parámetro no representa amenaza para la supervivencia de *A.ordinarium*.

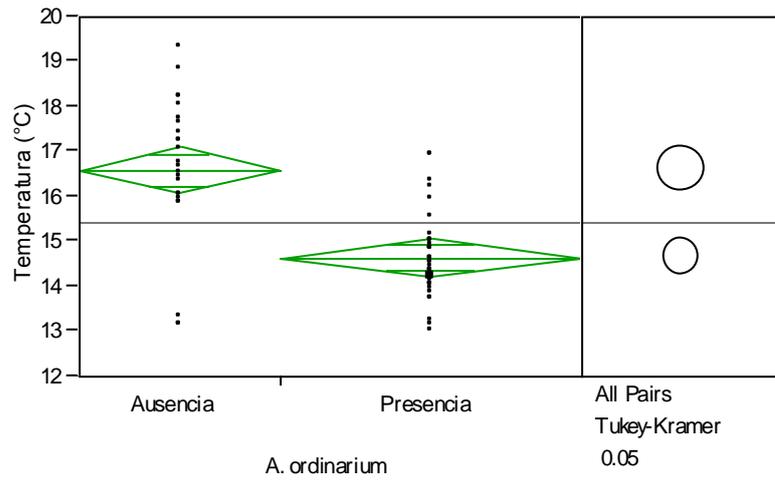


Figura 28. Análisis de una vía para la temperatura en los 8 sitios de muestreo por presencia-ausencia de la salamandra

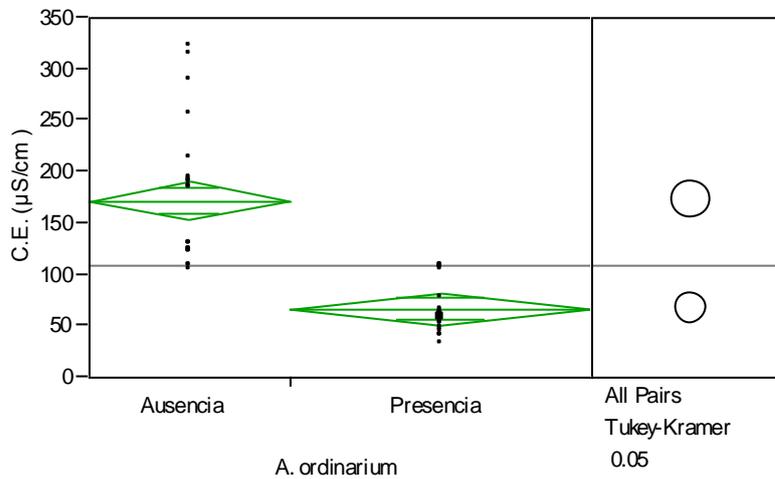


Figura 29. Análisis de una vía para la conductividad eléctrica en los 8 sitios de muestreo por presencia-ausencia de la salamandra

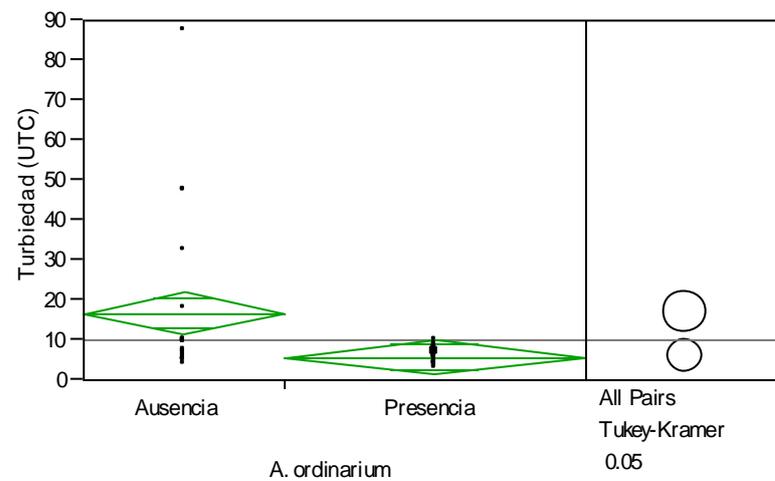


Figura 30. Análisis de una vía para la turbiedad en los 8 sitios de muestreo por presencia-ausencia de la salamandra

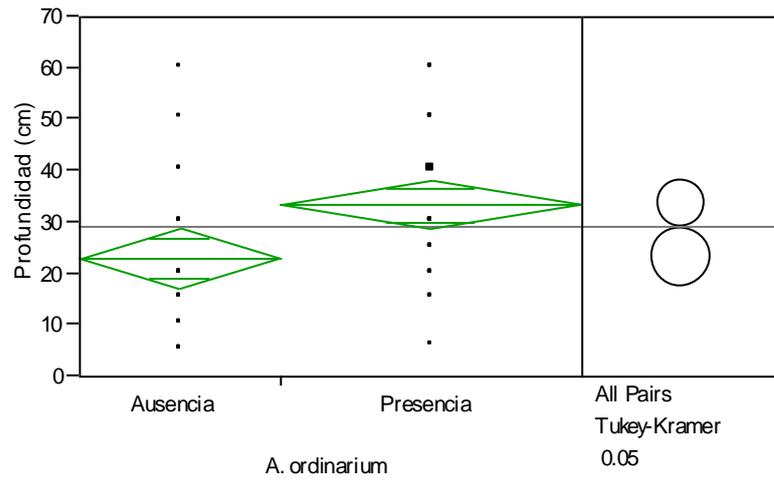


Figura 31. Análisis de una vía para la profundidad en los 8 sitios de muestreo por presencia-ausencia de la salamandra

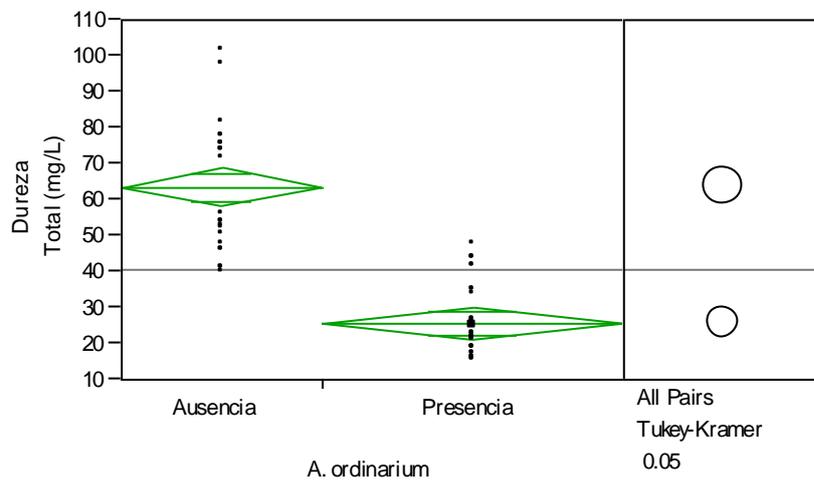


Figura 32. Análisis de una vía para la dureza total en los 8 sitios de muestreo por presencia-ausencia de la salamandra

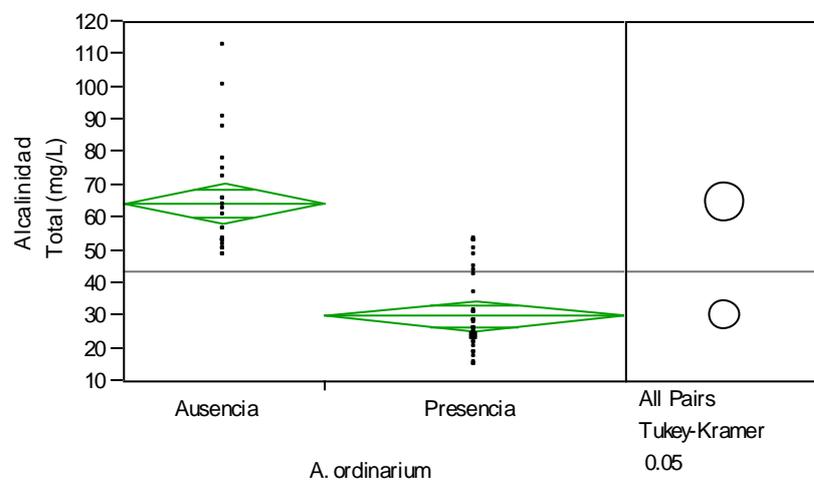


Figura 33. Análisis de una vía para la alcalinidad total en los 8 sitios de muestreo por presencia-ausencia de la salamandra

8.2.3. ANOVA y tukey para metales pesados en agua por presencia-ausencia de *A. ordinarium*

En el caso de los metales pesados únicamente el zinc y el arsénico presentaron diferencias significativas con $p=0.0046^*$ y 0.0024^* (figuras 34 y 35) respectivamente.

En el caso del zinc presenta una media mayor en los sitios con presencia; siendo este metal así como la mayoría de los que se analizaron un micronutriente importante para los anfibios con las concentraciones óptimas obtenidas en los sitios con presencia; faltando dicha concentración o requerimiento en los sitios con ausencia por baja solubilidad del zinc en agua debido a las condiciones de esos arroyos.

Por otro lado el arsénico que es un metaloide para el cual no se conoce función biológica alguna, pero que a ciertas concentraciones llega a ser altamente tóxico; en los sitios con ausencia de salamandra se observan mayores concentraciones de arsénico que en los sitios con presencia; lo cual sugiere que a dichas concentraciones en este estudio existe el declive de los anfibios por este metaloide en disolución, que posiblemente llegaron a los cuerpos de agua por el arrastre de compuestos químicos que contenían arsénico, utilizados en los fertilizantes o plaguicidas cercanos a los cultivos de los arroyos; así como también las actividades urbanas como el transporte de vehículos en carretera y descargas de aguas residuales domésticas.

Ningún otro metal presentó diferencias significativas, lo cual sugiere que todos estuvieron en concentraciones trazas óptimas como micronutriente para este organismo acuático en todos los sitios.

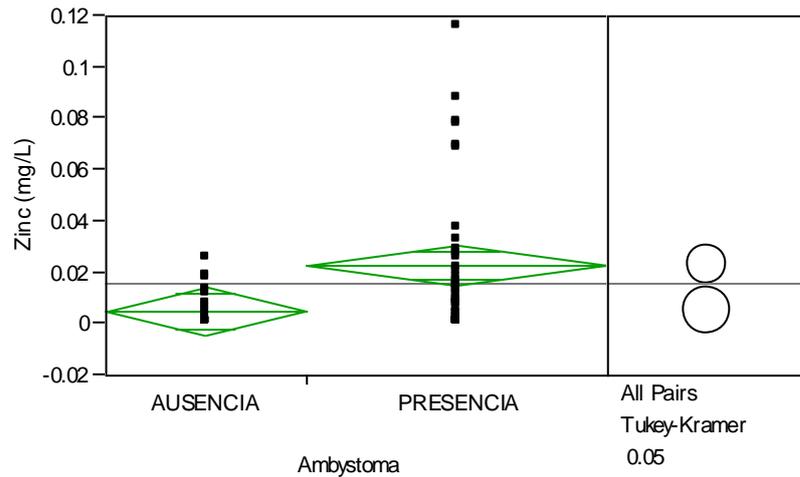


Figura 34. Análisis de una vía para el zinc en los 8 sitios de muestreo por presencia-ausencia de la salamandra

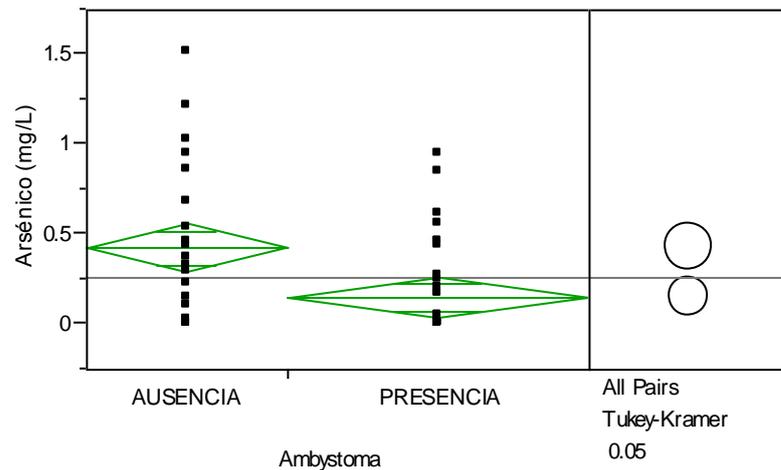


Figura 35. Análisis de una vía para el arsénico en los 8 sitios de muestreo por presencia-ausencia de la salamandra

8.3. Análisis estadístico multivariado por temporadas de muestreo en agua

8.3.1. ANOVA y Tukey de parámetros *in situ*

Con respecto a las temporadas para los parámetros *in situ* únicamente el pH, el oxígeno disuelto y la conductividad eléctrica presentaron diferencias significativas con una $p=0.0082^*$, 0.0032^* y 0.0270^* (figuras 36, 37 y 38) respectivamente.

Como se puede apreciar el pH disminuyo en la temporada de precipitación pluvial; esto quizás debido a que probablemente habían sustancias ácidas en el agua que ocasionaron un pH menos alcalino durante las lluvias.

El oxígeno disuelto por el contrario aumento en los meses más fríos esto debido a que la temperatura fue menor en la temporada de lluvias, ocasionando el aumento del oxígeno disuelto, que probablemente disminuyo en la temporada de estiaje por evaporación del agua.

La conductividad eléctrica aumento en la temporada de precipitación pluvial; esto pudo deberse a la escorrentía de los terrenos cercanos a los cuerpos de agua que incremento las concentraciones de sales y sólidos ajenos al arroyo y por ende aumentaron la conductividad en la época de lluvias.

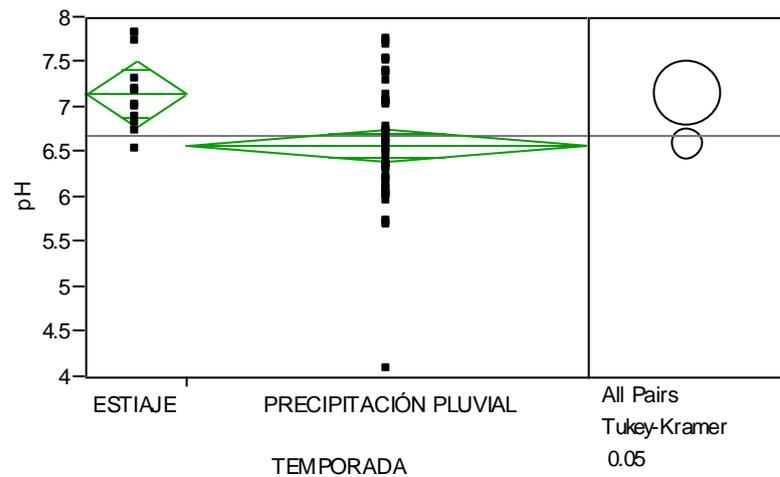


Figura 36. Análisis de una vía para el pH en los 8 sitios por temporadas de muestreo

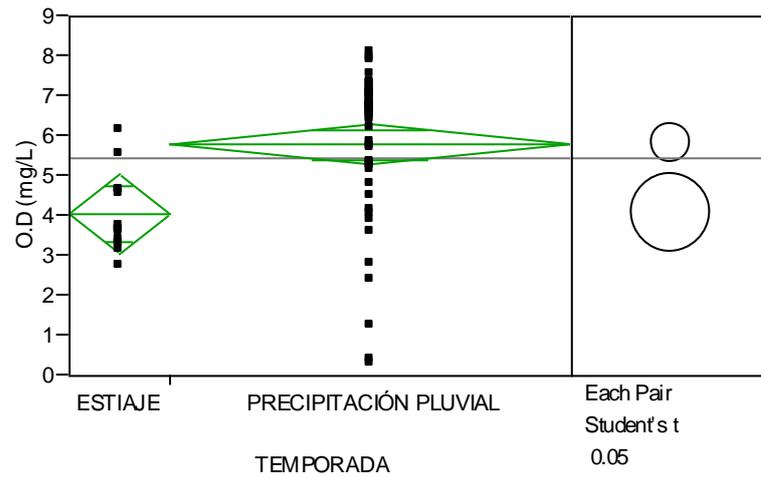


Figura 37. Análisis de una vía para el oxígeno disuelto en los 8 sitios de muestreo por temporadas de muestreo

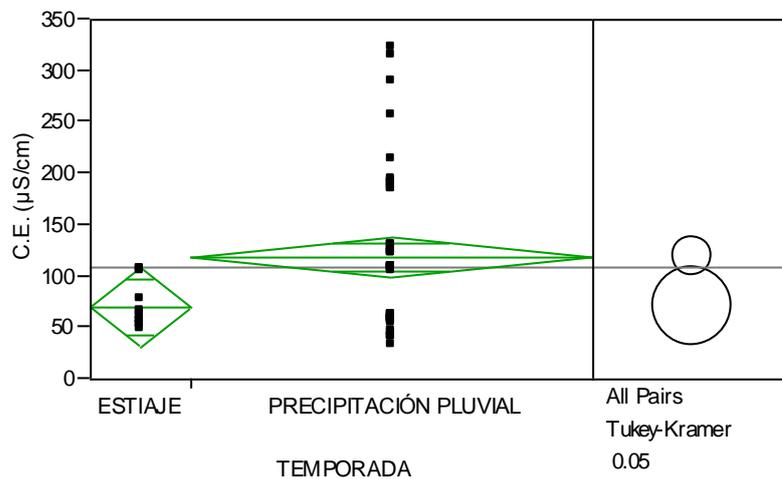


Figura 38. Análisis de una vía para la conductividad eléctrica en los 8 sitios por temporadas de muestreo

8.3.2. ANOVA y Tukey de parámetros fisicoquímicos de laboratorio por temporadas de muestreo.

El único parámetro que presentó diferencias significativas fue la dureza total con una $p=0.0113^*$ (figura 39); de acuerdo al comportamiento de la dureza se observa algo similar con el caso de la conductividad eléctrica, las cuales aumentaron en la temporada de lluvias por el arrastre de iones y otras sustancias que aumentan ambos parámetros ya que van relacionados.

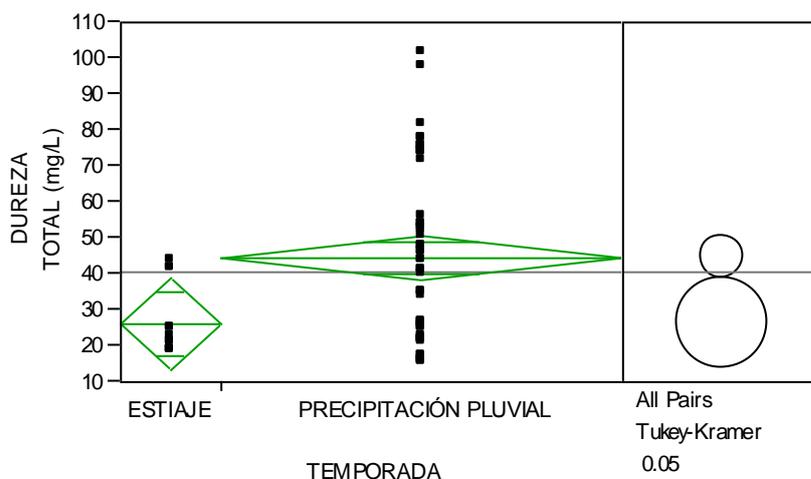


Figura 39. Análisis de una vía para la dureza total en los 8 sitios por temporadas de muestreo

8.3.3. ANOVA y Tukey de metales pesados en agua por temporadas de muestreo

En el caso de los metales pesados se observa que el cromo, el zinc y el arsénico presentaron diferencias significativas con respecto a la temporada de muestreo con $p=0.0001^*$, 0.0284^* y 0.0060^* (figuras 40, 41 y 42) respectivamente.

Para el cromo se observa que sus concentraciones aumentan en la temporada de estiaje; se puede decir que a pH más alcalinos es más fácil la absorción de este metal en el agua; mientras tanto, conforme disminuye el pH hay más concentración de iones H^+ en el agua y es más difícil la solubilidad del cromo; precipitándose quizá en los sedimentos.

El zinc presentó un comportamiento similar al cromo a medida que disminuye el pH, disminuye la concentración de este metal en agua; formando complejos y precipitándose en el suelo, además los efectos competitivos entre los cationes de la dureza (calcio, magnesio) y el zinc explicarían la disminución de la toxicidad del zinc con el aumento de la dureza del agua; en el cual como se mencionó antes este último parámetro aumenta en la temporada de lluvias.

En el caso del arsénico, su concentración aumento en los meses más fríos lo cual puede decirse que se introdujo al arroyo por arrastre de las lluvias de compuestos químicos derivados de la quema de combustibles fósiles y uso de plaguicidas de los terrenos cercanos a los cuerpos de agua.

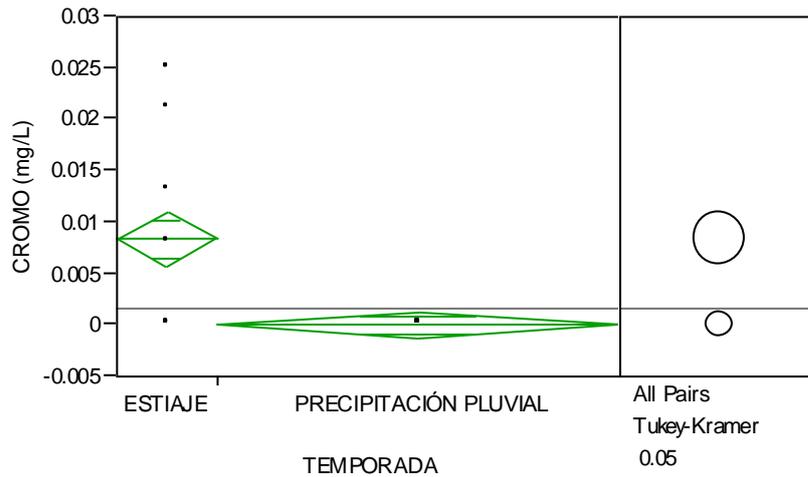


Figura 40. Análisis de una vía para el cromo en los 8 sitios por temporadas de muestreo

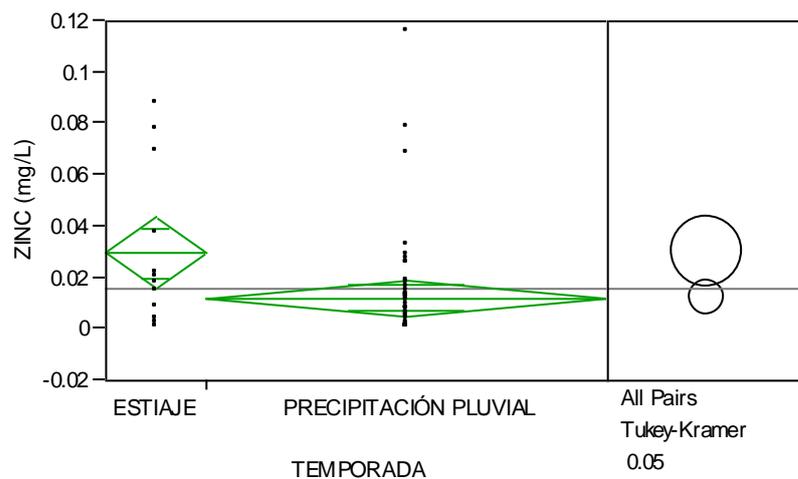


Figura 41. Análisis de una vía para el zinc en los 8 sitios por temporadas de muestreo

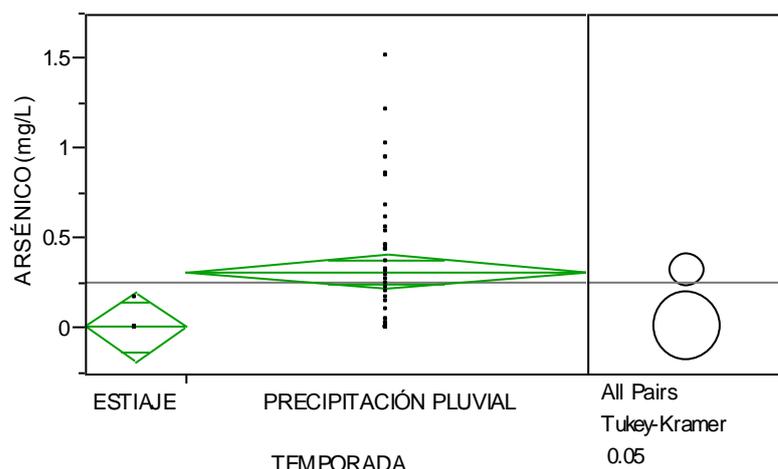


Figura 42. Análisis de una vía para el arsénico en los 8 sitios por temporadas de muestreo

8.4. Sedimentos

8.4.1. Parámetros físicos

8.4.1.1. Color

El color se determinó por comparación con una carta de colores estándar (Munsell, Color. Co INC, 1958), la cual consta de 175 cuadros coloreados y montados sistemáticamente de acuerdo con las tres propiedades esenciales del color del suelo que son: matiz, el brillo y la intensidad. Estas tres variables se combinan para formar la notación específica del color del suelo y se muestra en la tabla 3 para la primera campaña de muestreo.

El color de los sedimento se debe al material que lo conforma. Los colores claros se relacionan con el contenido de carbonatos, los oscuros a materia orgánica, los rojos y cafés a los óxidos de Fe (Díaz, 2013).

Tabla 3. Color en los sedimentos de los ocho arroyos de estudio

SITIOS	MATIZ (HUE)	BRILLO (VALUE)	INTENSIDAD CHROMA	COLOR	DETERMINACIÓN
SJL	10 YR	5	4	Marrón amarillento	Seco
	10 YR	3	3	Marrón oscuro	húmedo
SJC	10 YR	6	3	Marrón pálido	Seco
	10 YR	4	3	Marrón	húmedo

MAESTRIA EN CIENCIAS EN INGENIERIA AMBIENTAL

CP	10 YR	5	3	Marrón	Seco
	10 YR	3	2	Marrón grisáceo muy oscuro	húmedo
TUR	7.5 YR	5	1	Gris	Seco
	10 YR	3	2	Marrón grisáceo muy oscuro	húmedo
QUE	10 YR	4	4	Amarillo oscuro	Seco
	10 YR	3	3	Marrón oscuro	húmedo
TEP	10 YR	4	3	Marrón	Seco
	10 YR	3	2	Marrón grisáceo muy oscuro	húmedo
OPO	10 YR	4	2	Marrón grisáceo oscuro	Seco
	10 YR	2	2	Marrón muy oscuro	húmedo
VAQ	10 YR	4	3	Marrón	Seco
	7.5 YR	3	2	Marrón oscuro	húmedo

Se observa que en la tabla 3 todos los sitios presentan coloración marrón que indica la presencia de óxidos de hierro, de igual forma, todos a excepción del sitio de SJC no presento colores oscuros, lo cual indica que en este arroyo no existe presencia de materia orgánica en los sedimentos.

De acuerdo a esto los sedimentos tienden a retener a los metales pesados debido al contenido de materia orgánica y a los óxidos de hierro ya que estos tienen una alta afinidad por ellos, esto también favorece a que se tengan mayores cantidades de metales pesados en sedimentos que en agua,

pero la materia orgánica con pequeñas perturbaciones como lluvias o algún movimiento de los sedimentos es más fácil que libere los metales pesados, en cambio los óxidos de hierro los retienen más tiempo pero presentan una alta movilidad ya que se resuspenden y transportan al metal depositándose nuevamente en otro sitio.

8.4.1.2. Tamaño de partícula

El tamaño de partícula de los sedimentos determinado por el método de la pipeta se muestra en la tabla 4 para los ocho sitios de muestreo en las tres temporadas.

Tabla 4. Distribución de tamaño de partícula y clase textural en sedimentos

MUESTREO	ARCILLA	LIMOS (L)	ARENAS	TOTAL	CLASE DE TEXTURA
	(R) %	%	(A) %	TEXTURA (%)	
CP Estiaje	7	57	36	100	FRANCO LIMOSO
SJL Estiaje	12	68	21	100	FRANCO LIMOSO
TUR Estiaje	2	24	74	100	ARENA
SJC Estiaje	11	42	47	100	FRANCO ARENOSO
CP Precipitación pluvial	4	46	50	100	FRANCO ARENOSO
SJL precipitación pluvial	4	51	45	100	FRANCO ARENOSO
TUR Precipitación pluvial	0	18	82	100	ARENA
SJC Precipitación pluvial	6	44	49	100	FRANCO ARENOSO
VAQ Precipitación pluvial	12	25	63	100	FRANCO ARENOSO
OPO Precipitación pluvial	3	51	45	100	FRANCO LIMOSO
TEP Precipitación pluvial	5	79	16	100	FRANCO LIMOSO
QUE Precipitación pluvial	9	32	59	100	ARENOSO FRANCO

CP Precipitación pluvial	6	59	35	100	FRANCO LIMOSO
SJL Precipitación pluvial	7	51	42	100	FRANCO LIMOSO
TUR Precipitación pluvial	3	25	72	100	ARENOSO FRANCO
SJC Precipitación pluvial	7	29	64	100	FRANCO ARENOSO
VAQ Precipitación pluvial	10	16	73	100	FRANCO ARENOSO
OPO Precipitación pluvial	3	16	82	100	ARENA
TEP Precipitación pluvial	5	75	19	100	FRANCO LIMOSO
QUE Precipitación pluvial	8	36	56	100	ARENA

Los procesos químicos dependen en gran parte del área superficial total de las partículas, que es donde se efectúan las reacciones del suelo; las fracciones finas presentan mayor superficie de contacto y por lo tanto, mayor cantidad de intercambio de bases, impiden el drenaje y la aireación, y son difíciles de manejar. La importancia de las partículas gruesas es más bien física, pues la predominancia de ellas da como resultado suelos que retienen poca agua, tienen drenaje excesivo, están bien aireados y son de baja fertilidad (Manual de edafología, Cabrera, 2014).

La clase de textura que predominó fue arenas en la temporada de precipitación pluvial y Franco limosos en temporada de estiaje. Las texturas de clase limosa, las cuales debido a su tamaño favorecen a la acumulación y liberación de metales pesados, ya que el tamaño de las partículas es pequeño y combinado con otros factores que también influyen sobre la distribución y acumulación de los metales, sus concentraciones en los sedimentos pueden variar en espacio y tiempo (Díaz, .2013).

8.4.2. Parámetros químicos

8.4.2.1. pH

Los resultados obtenidos de pH en los sedimentos en la primera temporada son los siguientes:

En la tabla 5 se muestra que todos los pH de estudio son ácidos.

Tabla 5. pH promedio obtenido en los sedimentos para los ocho sitios de muestreo

Sitios	pH
CP Estiaje	5.44
SJL Estiaje	5.75
TUR Estiaje	6.28
SJC Estiaje	6.15
CP P.P	6.02
SJL P.P	6.08
TUR P.P	6.43
SJC P.P	5.58
VAQ P.P	6.34
OPO P.P	6.24
TEP P.P	5.80
QUE P.P	5.26
CP P.P	6.18
SJL P.P	5.69
TUR P.P	6.43
SJC P.P	5.59
VAQ P.P	6.39
OPO P.P	6.35
TEP P.P	5.93
QUE P.P	5.39

Los pH ácidos favorecen a tener mejores retenciones por parte de los limos y arcillas de los metales como el Ni, Cr, Cd, pero para los metales como el Fe, Cu, Zn, Pb y As este pH facilita la extracción de estos sedimentos por lo cual se tienen una mayor interacción de estos metales con la fase líquida y sólida (Díaz, 2013).

8.4.3. Metales pesados en sedimentos

8.4.3.1. Plomo (Pb)

El sitio de QUE presento la mayor concentración de plomo en sedimentos en los meses de octubre y noviembre del 2015.

Esto se debe a que el plomo puede sufrir varios procesos químicos tales como absorción en materiales orgánicos y/u óxidos de Fe. De acuerdo a esto, este arroyo presenta tantos óxidos de hierro (colores marrones) y materia orgánica (color oscuro). Cabe mencionar este sitio tienen suelo arenoso lo cual explica la distribución y movilización del metal con las lluvias.

8.4.3.2. Níquel (Ni)

De acuerdo a los resultados obtenidos de este metal en la figura 49, presento variaciones en todos los sitios de muestreo; observándose que en el sitio de TUR se tienen las mayores concentraciones de Ni en los meses de abril y mayo del 2015 que corresponde a la temporada de estiaje; esto posiblemente a que de acuerdo al color del sitio; este presenta gran cantidad de materia orgánica.

El níquel aparece ligado a formas orgánicas (Corinne et. Al., 2006) parte de las cuales pueden encontrarse formando quelatos fácilmente solubles; y se encuentra en todos los sitios ya que se presenta de forma natural en los suelos (Manler, 2013).

Cabe mencionar que de acuerdo a la textura del sitio que es arenosa; promueve a la remoción del metal y por eso en la temporada de lluvia disminuye la concentración.

8.4.3.3. Zinc (Zn)

El zinc (Zn) puede encontrarse en forma natural en los suelos, y es un nutriente requerido por las plantas para su desarrollo (Mahler, 2003).

El zinc presenta concentraciones muy variadas en los sitios de muestreo (figura 48), se observa que en sitio QUE muestra la mayor concentración de zinc; en los meses de octubre y noviembre del 2015, indicando posiblemente la entrada

del zinc por fuentes antropogénicas; además de acuerdo a la textura del sitio presenta gran cantidad de arenas; lo que provoca que el zinc se libere fácilmente. Además, debido al contenido de materia orgánica del sedimento en estos sitios que se compone de sustancias húmicas y no húmicas, siendo las húmicas los componentes más estables del suelo, además tiene un número grande de grupos funcionales que tienen una alta afinidad por los iones metálicos, pudiendo formar complejos órgano-metálicos.

8.4.3.4. Cobre (Cu)

En la figura 50, se puede apreciar que el sitio del VAQ tuvo la mayor concentración de cobre en los sedimentos en los meses de septiembre y octubre del 2015, el cual fue removido fácilmente debido al tipo de suelo del arroyo en el mes de noviembre del 2015.

El cobre reacciona con la materia orgánica formando quelatos o complejos de cambio y la adsorción puede ser tan fuerte que queden estabilizados.

8.4.3.5. Hierro (Fe)

Los valores de concentraciones para el hierro se observan en la figura 47, el sitio de SJL en los meses de septiembre y octubre del 2015 presenta la mayor concentración de hierro en los sedimentos, esto es congruente, ya que de acuerdo a la coloración marrón de los sedimentos del arroyo, presenta cantidades de óxidos de hierro y por el tipo de suelo limoso característico de este sitio, no se observan variaciones grandes en cuanto a la remoción de este metal.

Cabe mencionar que este metal tiene una alta afinidad por las arcillas y limos de los sedimentos, provocando su retención y así muy poca movilidad.

Todos los arroyos de estudio presentan concentraciones de hierro; esto se debe a que este metal se encuentra en la corteza terrestre, por otro lado la agricultura es la principal aportadora de metales a los cuerpos de agua y también utiliza en grandes cantidades este metal en los fertilizantes para los cultivos.

8.4.3.6. Cromo (Cr)

El cromo se encontró en mayor concentración en el sitio de SJL en los meses de abril y mayo del 2015; esto quizá se deba a que el cromo formó algún complejo con los óxidos de hierro de ese sitio, lo cual provoco que se precipitara, observándose también que en los meses de precipitación pluvial fue fácil su remoción a pesar de que el sitio tiene suelo limoso.

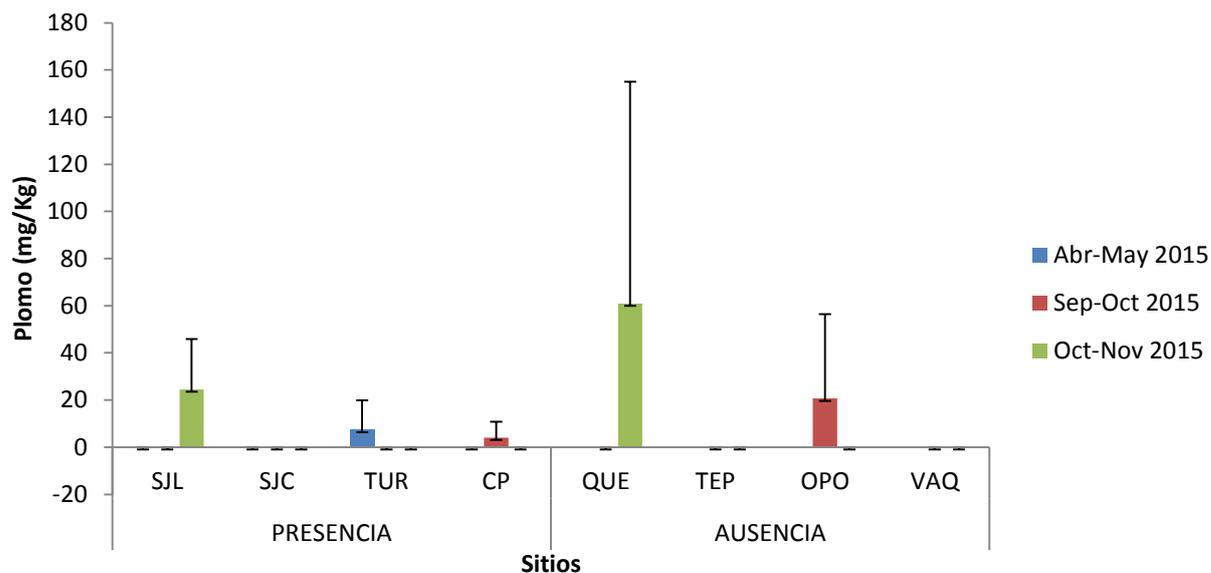


Figura 43. Valores de concentración de plomo para sedimentos en los ocho sitios de muestreo

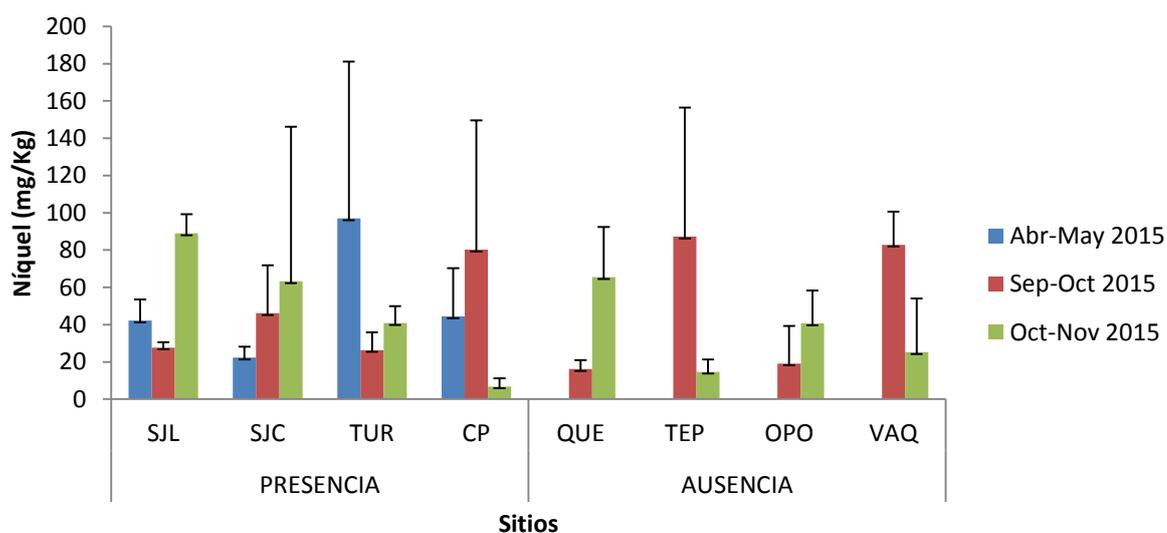


Figura 44. Valores de concentración de níquel en sedimentos para los ocho sitios de muestreo

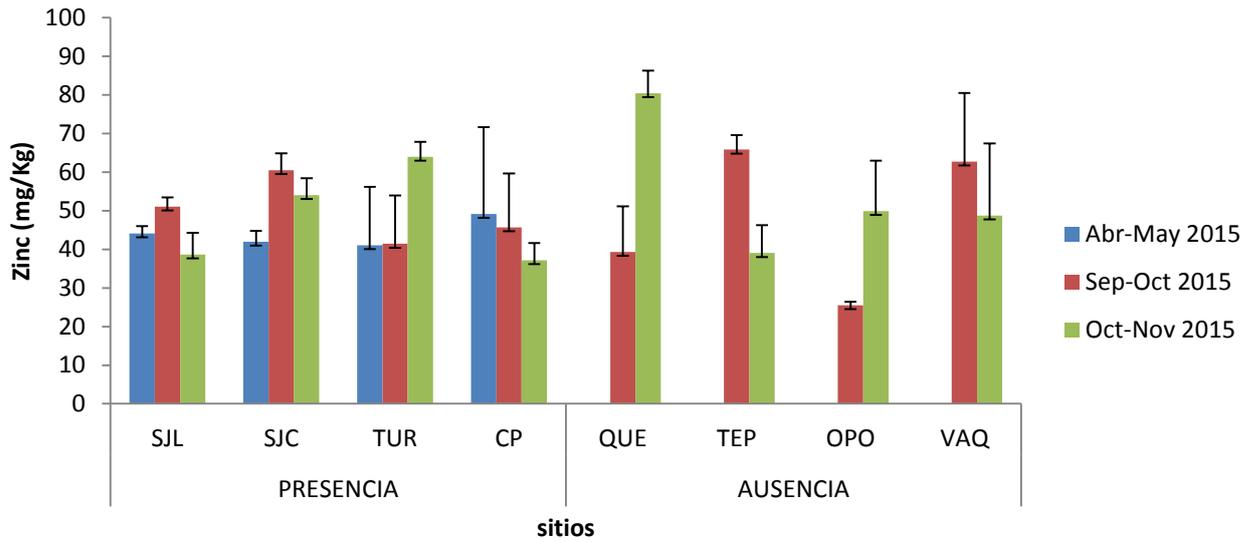


Figura 45. Valores de concentración de zinc en sedimentos para los ocho sitios de muestreo

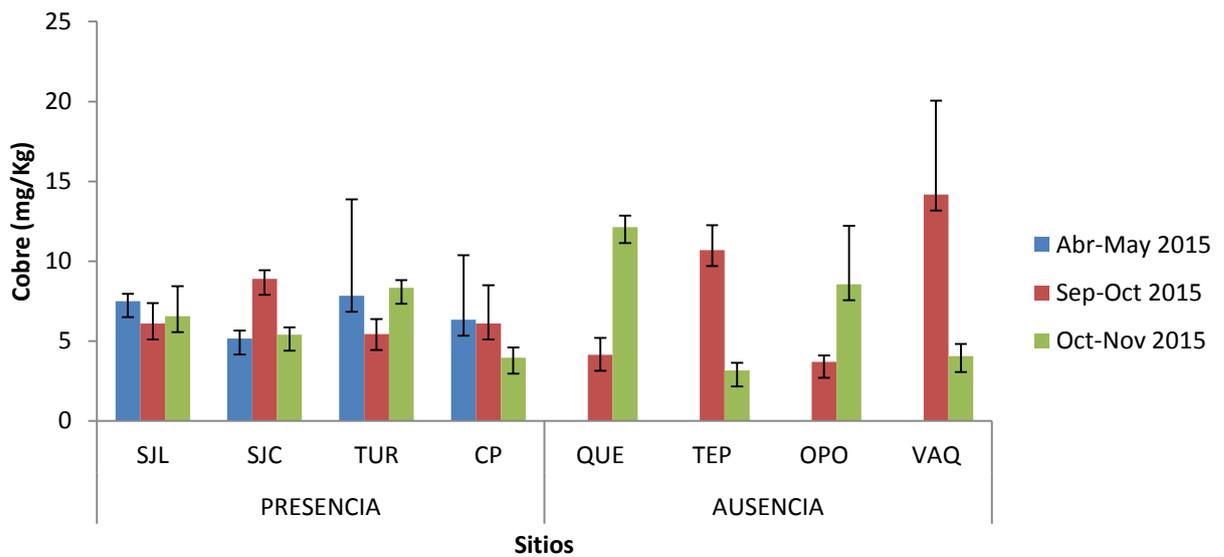


Figura 46. Valores de concentración de cobre en sedimentos para los ocho sitios de muestreo

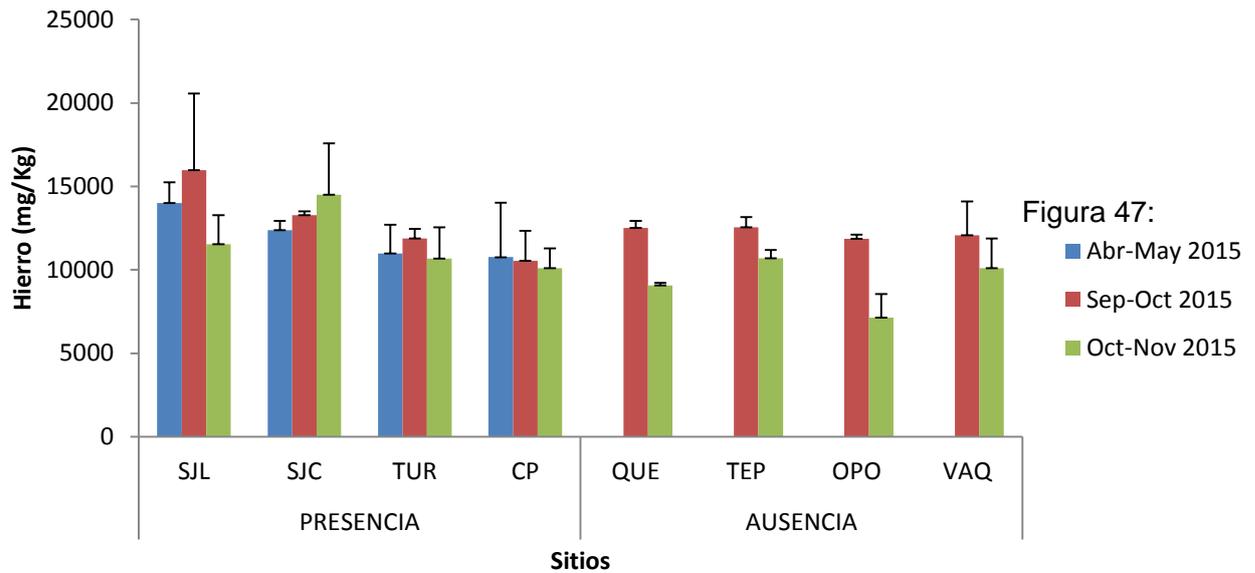


Figura 47. Valores de concentración de hierro en sedimentos para los ocho sitios de muestreo

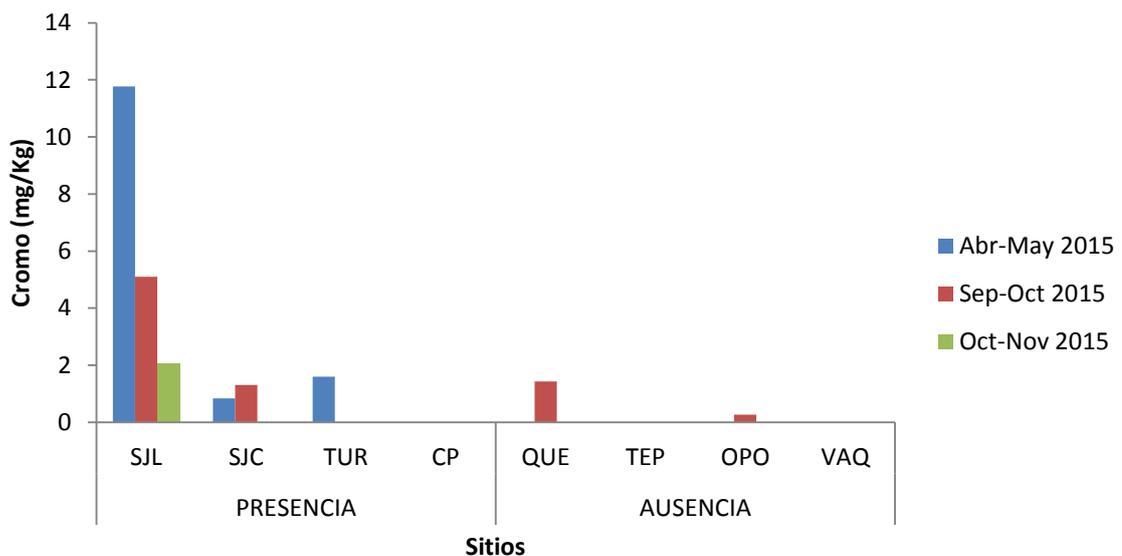


Figura 48. Valores de concentración de cromo en sedimentos para los ocho sitios de muestreo

8.5. Análisis estadístico de sedimentos

Se realizó la prueba Anova y de Tuckey para comparar los metales pesados en los diferentes muestreos realizados por presencia-ausencia de *A. ordinarium* y de temporadas, en este caso no se les realizó la prueba estadística para los parámetros fisicoquímicos ya que son variables nominales y no presentan las Características para llevarlo a cabo.

8.5.1. Análisis estadístico de metales pesados en sedimentos por presencia-ausencia de *A. ordinarium*

Únicamente el hierro y el cromo presentaron diferencias significativas en cuanto a los sitios con presencia con respecto a los sitios con ausencia de la salamandra con una $p=0.0220^*$ y 0.0356^* respectivamente.

Para ambos metales se observan medias mayores en los sitios con presencia del organismo acuático; por lo cual se puede decir que en este estudio quizá los arroyos con ausencia presentaron menores concentraciones de estos micronutrientes en los sedimentos y pudieron afectar al desarrollo y crecimiento de la salamandra.

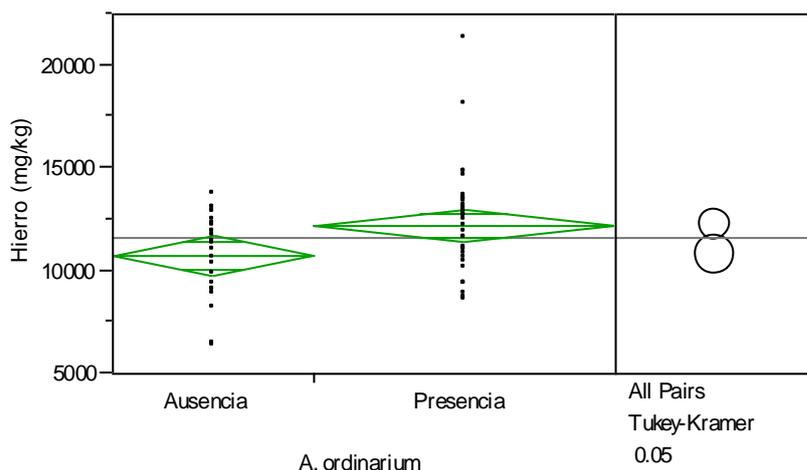


Figura 49. Análisis de una vía para el hierro en sedimentos por presencia-ausencia de la salamandra

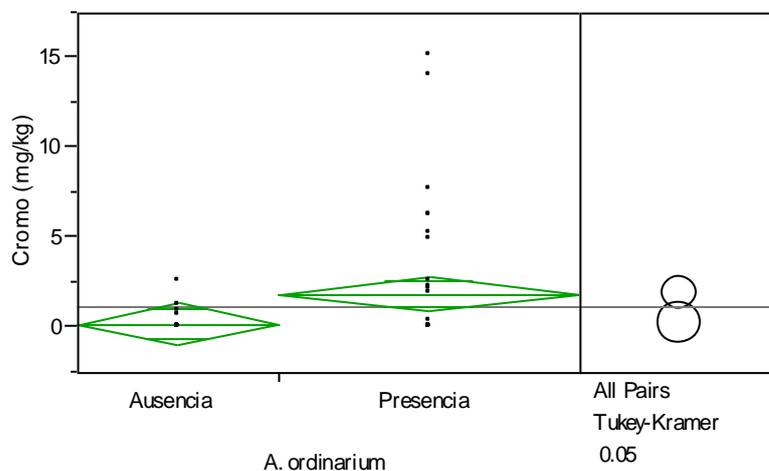


Figura 50. Análisis de una vía para el cromo en sedimentos por presencia-ausencia de la salamandra

8.5.2. Análisis estadístico de sedimentos por temporadas

Con respecto a las temporadas de muestreo, ningún metal presentó diferencias significativas

8.6. Análisis de componentes principales

El análisis de componentes principales se realizó con el fin de establecer relaciones entre los sitios con ausencia y presencia de *Ambystoma* de acuerdo a las variables con mayor peso en el estudio.

De acuerdo a los resultados obtenidos para el ACP (figura 38) se observa que los sitios no muestran una tendencia clara ya que no presentan una distribución marcada, la mayoría de los sitios con presencia de *A. ordinarium* se encuentran cercanos a los vectores de profundidad, turbiedad y sólidos sedimentables, lo cual indica que estos arroyos tienen una relación más alta con esos parámetros en comparación con los sitios donde hay ausencia de la salamandra.

Por otro lado, los sitios donde no hay *A.ordinarium* se encuentran distribuidos en dos grupos, sin embargo la mayoría de estos arroyos se encuentran cercanos a los vectores de dureza total, conductividad eléctrica y temperatura, lo cual indica que estos sitios tienen una mayor relación con estos parámetros que los sitios con presencia.

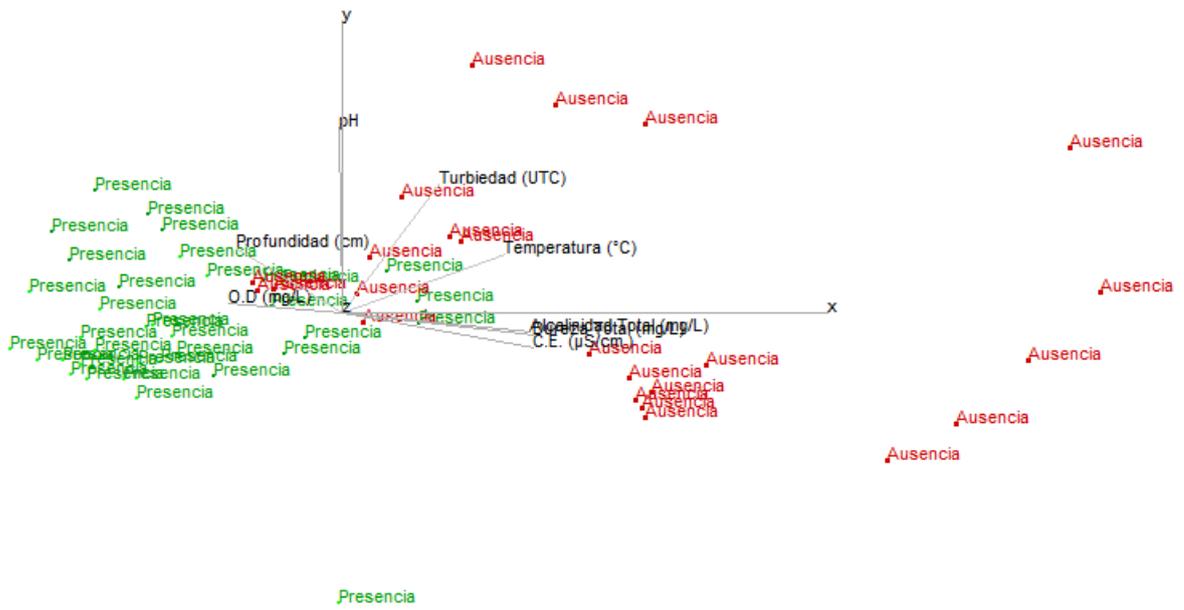


Figura 51. Análisis de componentes principales de los parámetros fisicoquímicos por presencia-ausencia de *A. ordinarium*

9. CONCLUSIONES

- *A. ordinarium* se encontró en sitios donde la calidad del agua y sedimentos es de baja o nula perturbación, y en los sitios con ausencia la calidad del agua es un estresor ambiental para su supervivencia.
- Con respecto a las temporadas para los parámetros *in situ* únicamente el pH, el oxígeno disuelto y la conductividad eléctrica presentaron diferencias significativas y de parámetros fisicoquímicos de laboratorio; la dureza total fue mayor en temporada de precipitación pluvial; En el caso de los metales pesados se observa que el cromo, el zinc presentaron mayores concentraciones en temporada de estiaje, es decir a un pH más alcalino, a diferencia del arsénico que aumentó en la temporada de precipitación pluvial (pH más ácido).
- En general el en sitio del Tepetate (TEP) se registraron los valores de las variables fisicoquímicas más altas que ponen en riesgo la vida de *A. ordinarium*.
- En cuanto a los metales pesados el zinc (mg/L) y el hierro (mg/L) presentaron ligeramente una mayor concentración en los sitios con presencia de *A. ordinarium*; esto quizá se deba a que el pH del agua y la materia orgánica presentaron características para que estos metales precipitaran en los sedimentos
- En general, la mayoría de las concentraciones de metales pesados tanto en agua como en sedimentos, se encuentran por debajo del límite detectable del equipo; lo cual sugiere que no hay contaminación por metales para poner en riesgo la vida del organismo.
- Los pH se encontraron de ácidos y neutros tanto para agua como para sedimento, la textura que predominó fue la de suelo arenoso y todos los sitios presentaron colores marrón, lo que indica presencia de óxidos de hierro en sedimentos, así como también los sitios con ausencia en su mayoría predominaron colores oscuros, que representan la presencias de materia orgánica en sedimentos.
- *A. ordinarium* en general se encuentro en sitios donde hay mayor profundidad, menor temperatura, conductividad eléctrica, turbiedad, alcalinidad y dureza total de acuerdo con la literatura citada.

10. RECOMENDACIONES

- Ampliar el estudio multidisciplinario para *A. ordinarium* y así tener mejores propuestas de remediación de sus hábitats y para su supervivencia.
- Realizar estudios fisicoquímicos y de metales pesados más estrictos y constantes en el área de estudio.
- Realizar una investigación detallada de las fuentes que vierten sus desechos a los arroyos y analizar dichos desechos para saber qué fuente influye de manera más fuerte en los cuerpos de agua contaminada.
- Se recomienda realizar más trabajos e investigaciones sobre el peligro que generan los parámetros fisicoquímicos, bacteriológicos y de metales pesados en agua y sedimentos para *A.ordinarium* ya que es carente la información sobre la relación de la calidad del agua con respecto a la supervivencia de la salamandra.
- Comparar con la literatura los resultados de los estudios realizados para llegar a conclusiones más precisas sobre los requerimientos de calidad de agua y los ambystomatidos.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aguilar-Miguel, X., G. Leogorreta y G. Casas-Andreu (2009). Reproducción ex situ en *Ambystoma granulorum* y *Ambystoma lermaense* (Amphibia: Ambystomatidae). Acta Zoologica Mexicana (n.s.), 25(3): 443-454.
- Albert (1997). "Toxicología ambiental"; editorial Limusa SA de CV, segunda edición ISBN: 968-18-2609-4.
- 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.
- Angulo A. (2009). Anfibios y paradojas: Perspectivas sobre la diversidad y las poblaciones de anfibios. Ecología aplicada (1).
- APHA-AWWA-WPCF. (1995). "Methods for the examination of water". 19ª edición. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Pollution Control Federation. (WPCF). Washington.

- 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. Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia Michoacán México.
- Aznar B. (2000). Determinación de los parámetros físico-químicos de calidad de las aguas, universidad Carlos III. Avd. de la Universidad 30, 28911-Leganés. Madrid.
- Berkhouse, C.S., & Fries J.N. 1995. The critical thermal maximum of San Marcos salamanders. National Biological Service Information Bulletin (46).
- Blaustein, A.R. (1994). Chicken little or Nero's fiddle?: A perspective on amphibian populations declines. Herpetological, vol 50: pp 85-97.
- Davidson, C., H.B. Shaffer & Jennings M.R. (2002). Spatial tests of the pesticide drift, habitat destruction, UV-B, and climates-change hypotheses for California amphibian declines. Conservation Biology 16:1588–1601.
- Diario Oficial de la Federación (2010) Norma Oficial Mexicana 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.
- Díaz L (2013). Evaluación de la calidad en agua y sedimentos del río Grande de Morelia, Michoacán”. Tesis de Maestría, Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán.
- Diller, L.V. & R.L.Wallace, (1996). Distribution and Habitat of *Rhyacotriton variegatus* in Managed Young growth forest in North Coastal California. Journal of Herpetology, 30(1):184-191.
- 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-017-1980. Aguas. Determinación de color. México.

- DOF. 1981. Diario Oficial de la Federación. Norma Mexicana NMX-AA-074-1981. Análisis de agua –Determinación del ion sulfato. México.
- DOF. 2000a. Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreos y análisis. 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. 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.
- Doménech X., Peral P. (2006). “Química Ambiental de los sistemas terrestres” Editorial Reverté pp 229.
- Duellman WE, Trueb L (1994). Biology of amphibians. The Johns Hopkins University Press. Baltimore and London.

- EPA. 2001. Technical Manual: “Methods for collection, Storage Manipulation of Sediments for and Toxicological Analyses” Environmental Protection Agency U.S.A.
- 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.
- Herrejón D.A (2013). “Dieta de la salamandra *Ambystoma amblycephalum* (TAYLOR, 1940)”. Tesis de Maestría. Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental. Morelia, Michoacán pp 100.
- Heyer, W. R. M. A. Donnelly, R. W. McDiamid, L. A. Hayek y M. S. Foster. (1994). Measuring and Monitoring Biological Diversity, Standard Methods for Amphibians. U.S.A. Smithsonian Institution Press.
- Huacuz, E., D. C. (2005). La biodiversidad en Michoacán. Estudio del estado. México.
- Huacuz E.D.C. (2008). Biología y conservación del género *Ambystoma*, en Michoacán, México”. Tesis doctoral, Universidad de Salamanca pp 50-105.
- INAFED (2010). Instituto para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. http://www.elocal.gob.mx/wb2/ELOCAL/EMM_michoacan (Accesada 03 de Enero 2013).
- INAFED Instituto para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. SEGOB Secretaría de Gobernación (2010).
- Jiménez B.E. (2001). La Contaminación ambiental en México. Causas, efectos y la tecnología apropiada. Ed. Limusa. Colegio de Ingenieros Ambientales de México, A. C., Instituto de Ingeniería de la UNAM y FEMISCA. pp 911.
- Lau S.S.S., Chu L.M., (2001).The significance of sediment contamination in a coastal wetland, Hong Kong, China. *Water Research*, 34(2): 379 – 386.
- M. Alicia Montes-Calderón, Javier Alvarado-Díaz e Ileri Suazo Ortuño (2011). Abundancia, actividad espacial y crecimiento de *Ambystoma ordinarium* Taylor 1940 (Caudata: Ambystomatidae) en Michoacán, México.
- Marín (2006). Características físicas, químicas y biológicas de las aguas. Empresa municipal de aguas de Córdoba”. S.A. (EMACSA).

- Medina A.O, Alvarado D.J. & Suazo O.I. (2011). Herpetofauna de Tacámbaro, Michoacán, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 82: 1194-1202.
- Mills, E.N. & Barnhart M.C. 1999. Effects of Hypoxia on Embryonic Development. In: *Two Ambystoma and Two Rana Species. Physiological and Biochemical Zoology. The University of Chicago.* 72(2):179-188.
- 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.
- Mudroch A., Azcue J.M., Mudroch P. 1995. *Manual of Aquatic Sediment Sampling.* Lewis Publishers, Estados Unidos.
- Parra O.G, Flores V.O, Mendoza A.C. (2010). Biodiversidad de anfibios en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad Universidad Nacional Autónoma de México. Distrito Federal, México, vol. 85, 2014, pp. 460-466.*
- Pérez M.R.M & Pineda L.R. (2005) Calidad ambiental de ríos y arroyos en el centro de México: posibilidades para evaluar la integridad ecológica de microcuencas. *SAS Instituto JMO v. 6.*
- 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 14-60.
- Rodríguez L.Y. (2012). Evaluación de la calidad del agua de la cuenca del arroyo San Pedro Jorullo, con base en el análisis microbiológico y aniones predominantes. Tesis de licenciatura. Facultad de biología. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia Michoacán México pp 22.
- Ross A. Alford; Stephen J. Richards. (1999). Global Amphibian Declines: A problem in Applied Ecology. *Annual Review of ecology and Systematics*, Vol. 30, (133-165).
- 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 Licenciatura. Facultad de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México pp 45-60.
- Silva M.Ma.D.C. (2011). “Uso y selección del microhábitat de la salamandra Michoacana *Ambystoma ordinarium* (Caudata: Ambystomatidae)

en la microcuena del Río Chiquito, Morelia”. Tesis de licenciatura. Facultad de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia Michoacán pp 30-70.

- Soto R.C., (2012). “Uso y selección del microhábitat de la salamandra de montaña *Ambystoma ordinarium*”. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán pp 40-60.
- Toft, C. A. (1995) Resource partitioning in amphibians and reptiles. *Copeia* 1-20.
- Tumlison, R., G.R. Cline & Zwank P. 1990. Surface habitat associations of the Oklahoma Salamander (*Eurycea tynerensis*). *Herpetologica*, 46(2) pp: 169-175.

12. ANEXOS

Anexo A. Tabla A1: valores promedio de parámetros *in situ* para los ocho sitios de muestreo

Sitio	Temporada	Temperatura (°C)	Desviación estándar	pH	Desviación estándar	O.D (mg/L)	Desviación estándar	C.E (µS/cm)	Desviación estándar
San José de Lagunillas	Estiaje	15.8	0.98	7.06	0.22	3.14	0.44	49.17	2.75
	Precipitación pluvial	14.6	0	6.60	0.03	5.58	0.71	39.8	6.76
		14.9	0.12	5.69	0.02	5.51	0.71	39.33	0.15
San José de la Cumbre	Estiaje	13.1	0.1	6.67	0.15	4.55	0.06	67.83	7.58
	Precipitación pluvial	13.73	0.058	6.22	0.25	6.97	0.16	60.2	0.62
		14.17	0.15	6.00	0.01	6.76	6.76	56.23	0.45
Turirán	Estiaje	15.7	1.31	7.10	0.12	5.06	1.32	104.63	1.19
	Precipitación pluvial	15.2	0.92	6.05	1.72	6.67	0.76	105.3	0.2
		15.3	0.92	6.34	6.34	7.12	0.49	107.07	0.252
Cruz de plato	Estiaje	13.97	0.06	7.76	0.06	3.43	0.23	56.1	1.562
	Precipitación pluvial	14.83	0.06	7.05	0.06	6.68	0.19	53.77	0.709
		14.30	0.20	6.40	0.15	6.67	0.04	56.73	0.777
Queréndaro	Precipitación pluvial	19	1	7.36	0.02	6.84	0.13	120.13	0.153
		17	0	7.71	0.03	7.1	0.15	122.33	0.379
Tepetate	Precipitación pluvial	17.13	0.7	6.52	0.36	2.88	0.60	264.8	64.124
		18.03	0.67	6.33	0.39	0.61	0.15	262.53	55.227
Opopeo	Precipitación pluvial	16.57	0.74	6.34	0.74	5.01	0.81	189	1.253
		16.93	0.31	6.15	0.31	3.79	0.26	183.47	1.328
Vaquerito	Precipitación pluvial	15.83	0.06	6.99	0.29	6.07	0.69	128.1	0.436
		14.07	1.50	7.5	1.50	7.93	0.10	105.5	2.166

MAESTRIA EN CIENCIAS EN INGENIERIA AMBIENTAL

Tabla A2: valores promedio de parámetros físicos y fisicoquímicos de laboratorio para los ocho sitios de muestreo

Sitio	Temporada	Profundidad (cm)	D.E	Turbiedad (UTC)	D.E.	Color (PtCo)	D.E.	SO ₄ (mg/L)	D.E.	Dureza total (mg/L)	D.E.	Alcalinidad total (mg/L)	D.E.
San José de Lagunillas	Estiaje	25	5	7.3	0.36	23.33	11.55	1.60	0.39	19.05	1.18	20.67	0.58
	Precipitación pluvial	25	5	6.2	0.2	10	0	3.08	0.77	25.60	0.61	26.67	1.53
		43.33	5.77	7.73	0.25	10	0	2.33	0.17	15.45	0.57	14.33	0.58
San José de la Cumbre	Estiaje	31.67	17.56	5.5	0.1	16.67	5.77	3.01	0.98	23.81	1.18	32.33	3.21
	Precipitación pluvial	31.67	17.56	8.53	0.90	20	0	1.98	0.08	16.05	1.37	17.67	0.58
		30	10	7.4	1.73	10	0	3.42	0.37	25.35	0.57	24	1
Turirán	Estiaje	30	10	3.67	0.12	5	0	4.66	0.46	41.93	1.19	50	2
	Precipitación pluvial	23.67	23.25	4	1.47	13.33	14.43	5.21	0.54	44.58	2.30	52.3	0.6
		30	8.66	4.9	0	5	0	5.65	0.70	34.25	0.60	43	1
Cruz de plato	Estiaje	43.33	15.28	5.53	0.23	10	0	2.37	0.73	19.25	1.19	28.67	1.15
	Precipitación pluvial	46.67	15.28	3.53	0.38	40	0	3.83	0.09	21.16	0.83	24.67	0.58
		40	20	4.83	1.07	8.33	2.89	3.67	0.45	21.30	0.38	24	1
Queréndaro	Precipitación pluvial	33.33	25.17	47	0	53.33	5.77	9.62	0.57	51.35	1.04	51.33	1.15
		23.33	14.43	9.17	0.12	20	0	9.22	2.49	54.12	1.14	54.67	2.31
Tepetate	Precipitación pluvial	11.67	7.64	8.07	2.10	16.67	5.77	30.13	6.83	86.50	12.80	84	19.70
		13.33	14.43	45.53	36.63	53.33	41.63	17.76	4.67	81.22	8.70	90.33	20.21
Opoepo	Precipitación pluvial	20	0	4.77	0.12	5	0	18.29	4.07	73.92	2.29	70.33	9.07
		30	17.32	4.27	0.67	16.67	20.21	17.76	0.03	73.2	0	64.33	1.15
Vaquerito	Precipitación pluvial	33.33	5.77	6.27	0.25	10	0	5.21	0.26	40.07	0.58	52	1
		18.33	2.89	8.5	0.12	10	0	5.33	0.31	46.1	1.14	48.67	1.15

MAESTRIA EN CIENCIAS EN INGENIERIA AMBIENTAL

Tabla A3: valores promedio de parámetros fisicoquímicos de laboratorio para los ocho sitios de muestreo

Sitio	Temporada	HCO_3^- ($\frac{mg}{L}$)	D.E.	ST (mg/L)	D.E.	SST (mg/L)	D.E.	SDT (mg/L)	D.E.	N – NO ₃ (mg/L)	D.E.	N – NH ₃ (mg/L)	D.E.	C.F. (NMP/100mL)	D.E.
San José de Lagunillas	Estiaje	20.67	0.58											76.67	61.10
	Precipitación pluvial	26.67	1.53											84.33	27.14
San José de la Cumbre	Estiaje	14.3	0.58	32.67	2.31	6.00	0.00	27.33	1.15					38.33	34.03
	Precipitación pluvial	32.33	3.21											23.33	5.77
Turirán	Estiaje	17.67	0.577	39.33	1.15	6.00	0.00	33.33	1.15					51.33	9.07
	Precipitación pluvial	24.00	1.00	50.00	2.00	6.00	0.00	44.00	2.00					13.33	23.09
Cruz de plato	Estiaje	50	2.00											190	388.92
	Precipitación pluvial	52.33	0.58	103.33	2.31	12.00	3.46	91.33	1.15					532.33	459.64
Queréndaro	Estiaje	43	1.00	96.67	4.62	13.33	5.77	83.33	1.15	0.19	0.07	0.21	0.06	68.33	114.05
	Precipitación pluvial	28.67	1.15											583.33	47.26
Tepetate	Estiaje	24.67	0.58	71.67	5.13	6.11	6.11	47.00	1.00					597.33	58.29
	Precipitación pluvial	24.00	1.00	51.00	1.00	1.15	1.15	44.33	0.58	0.31	0.09	0.26	0.09	23	6.08
Opopeo	Estiaje	36	27	120.00	2.00	14	0	106.00	2.00					95	100.37
	Precipitación pluvial	55	2	137.00	1.73	32.67	1.15	104.33	0.58					505.33	38.44
Vaquerito	Estiaje	84.00	19.7	302.67	132.73	160	90.35	202.67	158.51					76	59.73
	Precipitación pluvial	90.33	20.21	378.67	180.72	516	307.32	236.00	138.17					28.33	18.18
Vaquerito	Estiaje	70.33	9.07	184	6.93	7.33	1.15	176.67	6.429					65.33	60.71
	Precipitación pluvial	64.33	1.15	187	34.66	32.00	36.39	155.00	1.732					204.33	94.11
Vaquerito	Estiaje	52.00	1.00	108.67	2.31	10.00	0.00	98.67	2.309	0.17	0.02	0.22	0.06	216.67	28.87
	Precipitación pluvial	50.00	3.46	112.67	4.62	18.67	2.31	94	6.928					434.67	56.05

MAESTRIA EN CIENCIAS EN INGENIERIA AMBIENTAL

T

Tabla A4: valores de metales pesados en agua para los ocho sitios de muestreo en (mg/L)

Sitio	Temporada	Ni	D.E.	Zn	D.E.	Fe	D.E.	Cu	D.E.	Cr	D.E.	As	D.E.
San José de Lagunillas	Estiaje	<ld	<ld	0.04	0.04	2.53	0.54	<ld	<ld	0.010	0.011	<ld	<ld
	Precipitación pluvial	<ld	<ld	0.00	0.01	1.91	0.04	0.004	0.00	<ld	<ld	<ld	<ld
San José de la Cumbre	Estiaje	<ld	<ld	0.06	0.03	0.13	0.01	0.01	0.011	<ld	<ld	<ld	<ld
	Precipitación pluvial	<ld	<ld	<ld	<ld	0.27	0.01	0.011	0.011	<ld	<ld	<ld	<ld
Turirán	Estiaje	0.59	0.78	0.01	0.01	0.03	0.05	0.011	0.011	<ld	<ld	0.05	0.09
	Precipitación pluvial	0.34	0.24	0.04	0.03	0.36	0.52	0.039	0.032	<ld	<ld	0.28	0.48
Cruz de plato	Estiaje	<ld	<ld	0.01	0.01	0.20	0.17	0.001	0.002	0.015	0.009	<ld	<ld
	Precipitación pluvial	<ld	<ld	0.06	0.06	0.96	0.84	0.03	0.020	<ld	<ld	1.4	2.5
Queréndaro	Estiaje	<ld	<ld	0.01	0.02	0.26	0.03	<ld	<ld	<ld	<ld	0.20	0.04
	Precipitación pluvial	<ld	<ld	<ld	<ld	0.77	0.57	0.011	0.001	<ld	<ld	0.46	0.34
Tepetate	Estiaje	<ld	<ld	0.01	0.01	0.41	0.04	<ld	<ld	<ld	<ld	1.22	0.29
	Precipitación pluvial	0.14	0.11	0.01	0.01	0.983	0.31	0.009	0.002	<ld	<ld	0.27	0.16
Opopeo	Estiaje	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld
	Precipitación pluvial	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	0.007	0.002	<ld	<ld	0.05	0.08
Vaquerito	Estiaje	<ld	<ld	0.006	0.01	0.32	0.02	0.006	0.006	<ld	<ld	<ld	<ld
	Precipitación pluvial	<ld	<ld	0.01	0.01	0.18	0.06	<ld	<ld	<ld	<ld	0.74	0.25

<ld = inferior al límite de detección del método

MAESTRIA EN CIENCIAS EN INGENIERIA AMBIENTAL

Anexo B. Tabla B1: valores de metales pesados para sedimentos en los ocho sitios de muestreo (mg/Kg)

Sitio	Temporada	Pb	D.E.	Ni	D.E.	Zn	D.E.	Fe	D.E.	Cu	D.E.	Cr	D.E.
San José de Lagunillas	Estiaje	<ld	<ld	42.23	11.26	44.10	1.93	14010	1237.31	7.50	0.46	11.77	4.85
	Precipitación pluvial	<ld	<ld	27.7	2.82	51.03	2.42	15974	4595.61	6.100	1.28	5.1	2.55
San José de la Cumbre		24.5	21.31	88.93	10.36	38.63	5.62	11530	1748.75	6.57	1.87	2.07	3.58
	Estiaje	<LD	<LD	22.27	5.86	41.97	2.82	12371	565.92	5.17	0.49	0.83	1.19
	Precipitación pluvial	<LD	<LD	46.100	25.76	60.53	4.37	13282	223.00	8.90	0.53	1.3	1.14
Turirán		<LD	<LD	15.60	1.77	54.03	4.39	13282	3152.19	5.40	0.46	<ld	<ld
	Estiaje	<ld	<ld	96.97	84.17	41.10	15.10	10983	1717.96	7.83	6.05	1.6	2.77
	Precipitación pluvial	<ld	<ld	26.33	9.48	41.43	12.57	11884	563.67	5.433	0.945	<ld	<ld
Cruz de plato		<ld	<ld	40.87	9.07	64.00	3.82	10684	1860.75	8.33	0.493	<ld	<ld
	Estiaje	<ld	<LD	44.40	25.93	49.17	22.51	10762	3254.29	6.333	4.053	<ld	<ld
	Precipitación pluvial	4.07	6.79	80.20	69.41	45.70	14.00	10543	1798.83	6.10	2.400	<ld	<ld
Queréndaro		<ld	<ld	6.80	4.46	37.20	4.41	10095	1190.97	3.97	0.643	<ld	<ld
	Precipitación pluvial	<ld	<ld	16	5	39.30	11.82	12518	415.36	4.13	1.069	1.43	0.971
Tepetate		10	6	66	27	80.43	5.83	9061	161.21	12.13	0.723	<ld	<ld
	Precipitación pluvial	0.00	<ld	87.23	69.22	65.83	3.79	12543	613.00	10.700	1.562	<ld	<ld
Opoepo		<ld	<ld	14.67	6.61	39.03	7.20	10696	489.45	3.17	0.473	<ld	<ld
	Precipitación pluvial	20.67	35.80	19.13	20.10	25.5	0.90	11868	240.90	3.7	0.400	0.27	0.462
Vaquerito		<ld	<ld	40.57	17.73	49.9	13.11	7130	1430.56	8.57	3.656	<ld	<ld
	Precipitación pluvial	<ld	<ld	19.13	20.10	62.73	17.75	12072	2035.76	14.167	5.877	<ld	<ld
		<ld	<ld	40.57	17.73	48.73	18.74	10107	1784.34	4.07	0.764	<ld	<ld

<ld = inferior al límite de detección del método

MAESTRIA EN CIENCIAS EN INGENIERIA AMBIENTAL

Anexo C. Tabla C1: Análisis de varianza (ANOVA) de una vía para parámetros fisicoquímicos por presencia-ausencia de Ambystoma

Parámetro	Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculada	Prob>F
Temperatura	Ambystoma	1	55.14669	55.146	34.8487	0.0001*
	Error	58	91.78264	1.5825		
	C.Total	59	146.92933			
Turbiedad	Ambystoma	1	1747.243	1747.24	10.2856	0.0022*
	Error	58	9852.586	169.87		
	C.Total	59	11599.829			
Profundidad	Ambystoma	1	1570.844	1570.84	8.0698	0.0062*
	Error	58	11290.139	194.66		
	C.Total	59	12860.983			
C.E.	Ambystoma	1	160689.43	160689	76.7805	0.0001*
	Error	58	121384.82	2093		
	C.Total	59	282074.25			
Dureza total	Ambystoma	1	20712.724	20712.7	115.9504	0.0001*
	Error	58	10360.79	178.6		
	C.Total	59	31073.514			
Alcalinidad total	Ambystoma	1	17236.336	17236.3	82.5368	0.0001*
	Error	58	12112.264	208.8		
	C.Total	59	29348.6			

Tabla C2: Análisis de varianza (ANOVA) de una vía para metales pesados por presencia-ausencia de Ambystoma

Metal	Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculada	Prob>F
Zinc	Ambystoma	1	0.00473063	0.004731	8.7035	0.0046*
	Error	58	0.03152471	0.000544		
	C.Total	59	0.03625533			
Arsénico	Ambystoma	1	1.088604	1.0886	10.1105	0..0024*
	Error	58	6.2448822	0.10767		
	C.Total	59	7.3334862			

ANEXO D: Tabla D1: Análisis de varianza (ANOVA) de una vía para parámetros fisicoquímicos por temporada de muestreo

Parámetro	Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculada	Prob>F
pH	Temporada	1	3.123602	3.1236	7.5039	0.0082*
	Error	58	24.143417	0.41627		
	C.Total	59	27.267018			
Oxígeno disuelto	Temporada	1	28.93982	28.9398	9.4504	0.0032*
	Error	58	177.61428	3.0623		
	C.Total	59	206.5523			
C.E.	Temporada	1	23012.38	23012.4	5.1521	0.0270*
	Error	58	259061.87	4466.6		
	C.Total	59	282074.25			
Dureza total	Temporada	1	3283.809	3283.81	6.8537	0.0113*
	Error	58	277789.705	479.13		
	C.Total	59	31073.514			

MAESTRIA EN CIENCIAS EN INGENIERIA AMBIENTAL

Tabla D2: Análisis de varianza (ANOVA) de una vía para metales pesados por temporada de muestreo

Metal	Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculada	Prob>F
Cromo	Temporada	1	0.00066667	0.000667	33.4873	0.0001*
	Error	58	0.00115467	0.00002		
	C.Total	59	0.00182133			
Zinc	Temporada	1	0.0029051	0.002905	5.0523	0.0284*
	Error	58	0.03335023	0.000575		
	C.Total	59	0.03625533			
Arsénico	Temporada	1	0.9015759	0.901576	8.13	0.006*
	Error	58	6.4319103	0.110895		
	C.Total	59	7.3334862			

Tabla D3: Análisis de varianza (ANOVA) de una vía para metales pesados en sedimentos por presencia-ausencia de Ambystoma

Metal	Fuente de variación	G.L.	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculada	Prob>F
Hierro	Ambystoma	1	31084393	31084393	5.5411	0.0220*
	Error	58	325370344	5609833.5		
	C.Total	59	356454737			
Cromo	Ambystoma	1	40.46803	40.468	4.632	0.0356*
	Error	58	506.72181	8.7366		
	C.Total	59	547.18983			

