

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

UNIDAD XOCHIMILCO

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA Y ANIMAL

LICENCIATURA EN AGRONOMÍA

Informe final

**“Efecto de aguas residuales y sedimentos de 2017, en el crecimiento inicial de cultivos”**

Prestador de Servicio Social:

Reyes Luz Mónica

Matrícula:

2132037973

Asesora interna:

M. en C. María Guadalupe Ramos Espinosa

Número económico 12394

Asesor externo:

Dr. Martín López Hernández

Cédula Profesional 2567434

Lugar de realización:

**Laboratorio de Fisiología y Tecnología de los cultivos, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco**

Fecha de inicio y terminación:

**15 de octubre de 2018 al 15 de abril de 2019**

## ÍNDICE

1. RESUMEN.....	4
2. INTRODUCCIÓN.....	5
3. MARCO TEORICO.....	6
3.1. Contaminación hídrica.....	6
3.2. Bioensayos.....	7
3.3. Lixiviados.....	8
4. ÁREA DE ESTUDIO.....	9
4.1 Río Tula.....	9
5. OBJETIVOS.....	10
5.1. Objetivo general.....	10
5.2. Objetivos específicos.....	11
6. METODOLOGIA UTILIZADA.....	11
6.1 Bioensayos con semilla.....	12
7. ACTIVIDADES REALIZADAS.....	13
8. OBJETIVOS Y METAS ALCANZADOS .....	13
9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	13
9.1 Concentración de nutrientes presentes en aguas residuales.....	14
9.1.1 Amoniaco.....	14

9.1.2 Nitritos.....	15
9.1.3 Fosforo total.....	15
9.1.4 Ortofosfatos.....	16
9.1.5 Demanda de oxígeno.....	16
9.2 Concentración de nutrientes presentes en sedimentos.....	17
9.2.1 Ortofosfatos.....	18
9.2.2 Nitratos.....	18
9.2.3 fosforo total.....	19
9.2.4 Nitritos.....	19
9.3 Metales pesados presentes en los sedimentos.....	20
9.3.1 Cromo (Cr).....	20
9.3.2 Molibdeno (Mo).....	20
9.3.3 Zinc (Zn).....	21
9.3.4 Níquel (Ni).....	21
9.3.5 Cobalto (Co).....	21
9.3.6 Cobre (Cu).....	22
9.4 Efecto del agua sobre el desarrollo de etapas iniciales de <i>Zea mays</i> .....	22
9.5 Efecto de las aguas sobre el desarrollo de etapas iniciales de <i>Medicago sativa</i> .....	23
9.6 Efecto de las aguas sobre el desarrollo de etapas iniciales de <i>Avena sativa</i> .....	24
10.	
CONCLUSIONES.....	25
11. RECOMENDACIONES.....	26

## 1. RESUMEN

La presente investigación se llevó a cabo en diferentes presas pertenecientes a la cuenca del río Tula, las cuales se utilizan con fines agrícolas. En estas presas se vierten aguas residuales de zonas aledañas, se reciben descargas de aguas negras provenientes de la ciudad de México, por lo que la mayoría de ellas presentan algún grado de contaminación por esta causa.

Por lo anterior el objetivo de este trabajo fue conocer el efecto de agua y sedimentos de estas presas sobre el desarrollo de etapas iniciales de algunos cultivos de la Zona, para lo cual se realizaron bioensayos con semillas de *Zea mays* (maíz), *Medicago sativa* (alfalfa), *Raphanus sativus* (rábano) y *Avena sativa* (avena).

Para este fin dichas presas se muestrearon en meses representativos de las temporadas de postlluvia. Se tomaron muestras de agua compuestas con un tubo de PVC de tres metros de longitud, a las que se les midió NH<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, PO<sub>4</sub>, PO<sub>3</sub> y COD además, se tomó muestra de sedimento, el cual fue tamizado para disolver 125mg en 500 ml de agua y obtener los lixiviados, a los cuales también se les midieron los parámetros ya mencionados y los metales pesados Cr, Mo, Zn, Ni, Co y Cu.

Los diferentes cultivos respondieron de manera diferente a las distintas mezclas de agua. Con el agua de las presas Endho cortina, Endho centro, Emisor central Río salado y Mixquiahuala se presentó mayor elongación en radícula, lo contrario sucedió con las aguas de La binola, Zozea centro, Taxhimay, Tasquillo y requena mitad que se presentaron mayor grado de contaminación.

Los cultivos de *Raphanus sativus* variedad champion 2001 y *Zea mays* CB CRM-28 resultaron ser más sensible a los lixiviados. En casi todos los sitios se encontró mayor concentración de nutrientes y menor cantidad de metales pesados.

Palabras clave: agua, sedimentos, cultivos, presas, río Tula.

## **2. INTRODUCCIÓN**

En la actualidad la contaminación hídrica es un problema que se está presentando a nivel mundial, por lo que ocupa uno de los primeros lugares de atención pública ante el continuo deterioro del entorno y el acelerado agotamiento de los recursos naturales (Rodríguez y Ospina, 2005).

Se entiende por contaminación hídrica la acción de introducir algún material en el agua alterando su calidad y su composición química. Según la Organización Mundial de la Salud el agua está contaminada “cuando su composición se haya modificado de modo que no reúna las condiciones necesarias para el uso, al que se le hubiera destinado en su estado natural”.

El ser humano es el principal causante de la contaminación hídrica, que puede verse afectada de muchas maneras, con el vertido de desechos industriales y domésticos, por el aumento de las temperaturas que provocan la alteración del agua al disminuir el oxígeno en su composición o a causa de la deforestación, que origina el arrastre de sedimentos, aporte de Nitrógeno y Fósforo al agua, así como de materia orgánica, por lo tanto la contaminación primero es del agua superficial y al comenzar a sumarse muchas de esas sustancias, se van quedando adsorbidas al sedimento que al saturarse pasan al agua subterránea (Sánchez, 2002).

De la misma manera, los agroquímicos utilizados en cultivos agrícolas, son lixiviados por la lluvia y acarreados a los cuerpos de agua, pudiendo llegar al agua subterránea o a las redes de agua para consumo humano, lo mismo sucede con el

vertido accidental de petróleo o sus derivados así como sustancias emergentes, ya sea en los cuerpos de agua o al suelo directo (Ramos-Espinosa et al., 2018).

Otro aspecto relevante que incide en lo anteriormente mencionado, es el uso de aguas residuales que son utilizadas para el riego de campos agrícolas, tal es el caso del río Tula. El agua de este río es utilizada casi en su totalidad para riego, lo que llevó a la construcción de 6 presas: Taxhimay, Requena, Endho, Rojo Gómez, Vicente Aguirre (Zozea) y la Fernando Hiriart (Zimapán), como estrategia del manejo del agua para este fin, por parte de la Comisión Nacional del Agua (Mondragón, 2013).

Debido a esta problemática se han desarrollado diferentes métodos para valorar el riesgo biológico por la exposición a compuestos presentes en los cuerpos de agua. Algunos de estos métodos que resultan de gran utilidad son los bioensayos tanto con agua como con sedimentos, que de acuerdo con la Universidad de Concepción (2007) estos son de gran utilidad ya que en la evaluación de la contaminación acuática, las pruebas fisicoquímicas no resultan suficientes para evaluar los efectos potenciales del agua sobre la biota acuática y terrestre en los diversos ecosistemas.

Estos estudios son importantes ya que, tanto en México como en el mundo, las actividades agropecuarias consumen la mayor cantidad de agua dulce, según la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) en 2016, la agricultura y la ganadería consumen el 76.3%, y en el mundo, estas actividades consumen en promedio 70%.

Por lo tanto, es importante conocer el efecto que causa este tipo de agua en el desarrollo de los cultivos. En el caso que nos ocupa, el estudio del agua y sedimentos del río Tula y su relación con los cultivos, es importante ya que corresponde al agua residual proveniente de la Ciudad de México que presenta algún grado de contaminación.

De acuerdo con Landa y Neri (2002), dos de los cultivos de mayor relevancia en la zona son el maíz y la alfalfa, por lo tanto, en esta investigación se trabajará con

semillas de esos cultivos, además de avena y rábano, mismas que serán expuestas al agua y sedimento obtenido de las presas asociadas a la cuenca del río Tula.

### **3. MARCO TEORICO**

#### **3.1 Contaminación hídrica.**

La contaminación hídrica se produce cuando los contaminantes se vierten directa o indirectamente en los cuerpos de agua. La afectación del líquido puede ser evidente cuando hay basura en la superficie, cuando su color es más oscuro de lo normal y cuando tiene un olor desagradable.

Los contaminantes presentes en cuerpos de agua se clasifican en tres grupos: el primero lo constituyen los organismos patógenos, presentes sobre todo en zonas donde se han vertido aguas residuales; el segundo son los macrocontaminantes, por ejemplo el material en suspensión que afecta la turbidez y los nutrientes como fosfatos y nitratos; y finalmente los microcontaminantes, normalmente en concentraciones bajas, pero capaces de producir efectos perjudiciales y provocar la alteración del sistema, dentro de este grupo se encuentran los metales traza, sustancias inorgánicas, agroquímicos e hidrocarburos de tipo simple, aromáticos, policíclicos aromáticos y clorados (Casado, 2006).

Como es bien sabido, la agricultura es el principal usuario de recursos de agua dulce, ya que utiliza un promedio mundial del 70 % de todos los suministros hídricos superficiales. No obstante, la agricultura es al mismo tiempo causa y víctima de la contaminación de los recursos hídricos. Es causa, por la descarga de contaminantes y sedimentos en las aguas superficiales y/o subterráneas, por la pérdida neta de suelo como resultado de prácticas agrícolas desacertadas y por la salinización y anegamiento de las tierras de regadío. Es víctima, por el uso de aguas residuales y aguas superficiales y subterráneas contaminadas, que contaminan a su vez los cultivos y transmiten enfermedades a los consumidores y trabajadores agrícolas (Tortosa, 2009).

#### **3.2 Bioensayos.**

Uno de los métodos para valorar el riesgo biológico por la exposición a compuestos presentes en los cuerpos de agua y en sedimentos son los bioensayos. Un bioensayo es el uso de un organismo vivo como un agente de prueba para detectar la presencia o concentración de un compuesto químico o un efecto ambiental. Los bioensayos permiten identificar y evaluar los efectos potenciales de los contaminantes provenientes de actividades antropogénicas agrícolas, acuícolas, urbanas e industriales, sobre componentes biológicos, los resultados de estas pruebas de laboratorio son aceptados como estimaciones de los efectos potenciales de las sustancias en el medio ambiente.

Actualmente se reconoce su utilidad en programas de monitoreo ambiental para la regulación de sustancias nocivas, además, permiten priorizar muestras o áreas que requieren estudios más exhaustivos y costosos (Ramírez y Mendoza, 2008). Otra ventaja es que son herramientas más rápidas y de menor costo comparadas con otros métodos químicos y biológicos (Sánchez, 2002). De acuerdo con la investigación de Mondragón (2013), los bioensayos demostraron su eficacia para detectar contaminantes o sustancias perjudiciales en sitios donde los análisis rutinarios no son capaces de hacerlo.

### **3.3 Lixiviados**

Los lixiviados son líquidos provenientes de desechos muy heterogéneos en composición y arrastran todo tipo de contaminantes muchos de ellos en concentraciones elevadas, por lo que son catalogados de los más difíciles de tratar, al contener concentraciones elevadas de contaminantes orgánicos e inorgánicos incluyendo ácidos húmicos, nitrógeno amoniacal y metales pesados, además de sales inorgánicas (Nájera, 2009).

La Norma Oficial Mexicana NOM-083- SEMARNAT-2003, define a los lixiviados como el "líquido que se forma por la reacción, arrastre o filtrado de los materiales que constituyen los residuos y que contiene en forma disuelta o en suspensión, sustancias que pueden infiltrarse en los suelos o escurrirse fuera de los sitios en los que se depositan los residuos y que puede dar lugar a la contaminación del

suelo y de cuerpos de agua, provocando su deterioro y representar un riesgo potencial a la salud humana y de los demás organismos vivos”.

Cuando estos líquidos no son controlados, captados, almacenados y tratados pueden permear hasta llegar al agua subterránea o mezclarse con aguas superficiales y contribuir a la contaminación de suelo, agua subterránea y superficial (Deng y Englehardt, 2007).

Para obtener los lixiviados se trabajó con sedimentos ya que son un conjunto de sustancias químicas (orgánicas e inorgánicas) que los constituyen, la composición de un sedimento aporta información sobre los diferentes ambientes de constitución y de sedimentación por los que ha pasado. La combinación de datos de los análisis químicos de un sedimento reflejan la historia del mismo y los parámetros físicos, químicos, biológicos etc., que han dado lugar a su formación (Cobo R., 2008). Los lixiviados tienen la finalidad de desadsorber las sustancias presentes en los sedimentos.

#### **4. ÁREA DE ESTUDIO**

##### **4.1 Río Tula**

El río Tula nace en el Cerro de la Bufa en la Sierra de Monte Alto, Estado de México, toma su nombre de la ciudad de Tula de Allende, una de las principales poblaciones por las que atraviesa. Se origina en el parteaguas de la cuenca del río Lerma, en donde inicia su recorrido con dirección norte hasta la población de Ixmiquilpan, posteriormente cambia su curso hacia el noroeste desembocando en el río San Juan, el cual llega a la presa hidroeléctrica Zimapán en el límite entre Querétaro e Hidalgo. El río Tula forma parte de la Región Hidrológica del Pánuco, y desemboca en el río Moctezuma (Badillo, 2008).

Del total de aguas residuales que se generan en la CDMX, sólo 10% es tratada y toda se exporta hacia el Valle del Mezquital, generando un volumen de 52 m<sup>3</sup>/s, que corresponde anualmente a 1.6 millones de m<sup>3</sup>/s. Esta exportación actualmente se hace a través de tres salidas artificiales denominadas: Gran Canal del Desagüe (Túneles de Tequisquiác), que descarga en el río Salado, el Emisor

Poniente (Tajo de Nochistongo), que hace conexión con el río el Salto, mismo que a todo lo largo de su trayecto recibe aguas negras municipales y desechos urbanos e industriales, y el Emisor Central, que desde 1975 descarga en la presa Endho, estos tres sistemas fueron construidos en diferentes épocas, tienen una longitud y capacidad de 53 km y 110 m<sup>3</sup>/s, 16.2 km y 25 m<sup>3</sup>/s y 50 km y 220 m<sup>3</sup>/s, respectivamente, todos drenan las aguas de desecho mezcladas con agua de lluvia hacia el Valle del Mezquital para evitar inundaciones en la cuenca cerrada donde se ubica la CDMX (Ramos-Espinosa et al., 2018).

De acuerdo con datos de la Comisión Nacional del Agua de México, el río Tula es uno de los más contaminados de este país al transportar 409,42 millones de m<sup>3</sup> anuales de aguas residuales. La contaminación del río Tula se debe a que esta corriente recibe tanto las aguas residuales de la zona metropolitana de la Ciudad de México, como las de las zonas industriales asociadas a la ciudad de Tula de Allende.

A lo largo de su recorrido el río Tula confluye con varias presas entre las que sobresalen: Taxhimay, Requena, Endho, Rojo Gómez, Vicente Aguirre (Zozoa) y la Hidroeléctrica Fernando Hiriart (Zimapán).



Fig. 1. Zona de estudio, presas; Taxhimay, Requena, Endho, Rojo Gómez y Vicente Aguirre (Zoea)

## 5. OBJETIVOS

### 5.1 Objetivo general

- Conocer el efecto de aguas residuales y sedimentos de distintas presas asociadas al río Tula en el crecimiento inicial de cultivos.

### 5.2 Objetivos específicos

- Medición de nutrientes (amonio, nitratos, nitritos, nitrógeno total, ortofosfatos y fósforo total) presentes en aguas residuales y sedimentos.
- Conocer los valores de algunos metales pesados (Cromo, Molibdeno, Zinc, Níquel, Cobalto y cobre), disueltos en lixiviados de sedimentos de los diferentes sitios muestreados.

- Describir el efecto de aguas residuales y sedimentos sobre el crecimiento inicial de raíces de *Zea mays* (maíz), *Medicago sativa* (alfalfa), *Raphanus sativus* (rábano) y *Avena sativa* (avena).
- Interpretar la relación existente entre los resultados de los bioensayos, los valores de nutrientes y metales pesados.

## 6. METODOLOGÍA UTILIZADA

El muestreo del agua y sedimento con que se trabajó, se realizó en noviembre de 2017 (temporada de postlluvia), abarcando las diferentes presas relacionadas con el río Tula, algunos puntos del río y canales de riego.

El agua superficial fue colectada a 30 cm de profundidad directamente en envases de pet de ¼ de litro, enjuagados previamente con el agua del punto de muestreo.

Para obtener los sedimentos se utilizó una draga manual tipo Ekman, ya en la superficie se colectó aproximadamente ½ kg sin tocar el metal de la misma, las muestras se guardaron en bolsas de polietileno. Las muestras de agua se filtraron con papel prefiltro y luego con filtro millipore de poro de 45 µm y 45 mm de diámetro, posteriormente, agua y sedimento se mantuvieron congeladas desde su obtención hasta su manejo.

En el laboratorio las muestras de agua se filtraron y se les determinaron los nutrientes: Nitrógeno amoniacal (N-NH<sub>3</sub>), Nitritos (NO<sub>2</sub>), Ortofosfatos (PO<sub>4</sub>) y Fósforo total (PO<sub>3</sub>), utilizando las técnicas de HACH DR/2010, también se determinó Demanda química de oxígeno (DQO).

Las muestras de suelo se descongelaron y se secaron a temperatura ambiente, posteriormente se tamizaron utilizando un tamiz del número 500, se etiquetaron las muestras y se guardaron en bolsas de plástico.

Para obtener los lixiviados, de cada muestra de suelo se pesaron 125 mg de sedimento seco y se diluyeron en 500 ml de agua destilada en un matraz Erlen Meyer. Los matraces se agitaron a 150 RPM durante 24 horas, en un agitador

marca ORBIT SHAKER, con la finalidad de desadsorber las sustancias presentes en los sedimentos.

Las muestras se filtraron con papel filtro No. 5 y con filtro millipore de poro de 45  $\mu\text{m}$  y 45 mm de diámetro (Daniels et al., 1989). A los lixiviados obtenidos se les determinaron los parámetros químicos: Ortofosfatos ( $\text{PO}_4$ ), Nitratos ( $\text{NO}_3$ ), Fósforo total ( $\text{PO}_3$ ) y Nitritos ( $\text{NO}_2$ ), incluyendo los metales pesados Cromo (Cr), Molibdeno (Mo), Zinc (Zn), Níquel (Ni), Cobalto (Co) y Cobre (Cu). Una vez obtenidos los lixiviados se procedió a hacer los bioensayos con las semillas.

### **6.1 Bioensayos con semilla**

Se trabajó con dos variedades de *Zea mays* (maíz) la primera CB CRM-28 y la otra variedad Águila 215, ambas cosechadas en 2017 y usadas en la zona de estudio. También se trabajó con las especies *Medicago sativa* (alfalfa), *Raphanus sativus* (rábano) y *Avena sativa* (avena).

Se utilizaron tubos de ensaye de vidrio de 10 cm de largo y 1 cm de diámetro. A cada tubo se le agregaron 5 ml de agua del sitio correspondiente y se le colocó dentro una semilla envuelta en un rollito de papel absorbente, quedando la semilla aproximadamente a 2 cm de la boquilla del tubo. Cada muestra tuvo 10 repeticiones, se usó agua destilada para el control.

En el caso de las semillas de *Zea mays* se incubaron por 48 hrs. a 23 °C, en el de las semillas *Medicago sativa*, *Raphanus sativus* y *Avena sativa* se incubaron por 168 hrs. para obtener resultados, posteriormente se midió la elongación de radícula en cada cultivo, y se determinó su peso fresco y peso seco en cada caso, eliminando las semillas; el peso seco de las radículas se obtuvo después de dejarlas secar en una estufa marca BOEKEL Scientific modelo 132000, a 60 °C durante 48 hrs.

## **7. ACTIVIDADES REALIZADAS**

- Se realizó la redacción del protocolo y registro del mismo en el mes de octubre.

- Se analizaron las muestras químicamente en los meses de octubre a enero.
- Se prepararon los bioensayos a partir del mes de noviembre a febrero, al igual que la elaboración de una base de datos para su posterior análisis.
- Se reanudaron las actividades de bioensayos y análisis de datos en los meses de mayo a julio, se terminó el escrito, se revisó y se entregó el informe final en agosto.

## 8. OBJETIVOS Y METAS ALCANZADOS.

Se logró conocer el efecto de aguas residuales y sedimentos lixiviados de presas asociadas al río Tula, aplicadas al crecimiento inicial de los cuatro cultivos; se realizó la medición de nutrientes (amonio, nitratos, nitritos, nitrógeno total, ortofosfatos y fósforo total) presentes en las muestras de aguas y sedimentos lixiviados: se logró conocer los valores de algunos metales pesados (Cromo, Molibdeno, Zinc, Níquel, Cobalto y cobre) presentes en los sedimentos lixiviados y finalmente se interpretaron los resultados de los bioensayos en cuanto a nutrientes y metales pesados.

## 9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

No en todas las presas se pudo extraer sedimento ya que a veces la profundidad era mayor a la cuerda de la draga, o el fondo rocoso no lo permitía, o bien porque los sitios muestreados corresponden a canales de riego. La totalidad de los sitios se señala en la Tabla 1.

**Tabla 1. Presas relacionadas con el río Tula y sitios de muestreo sobre éste.**

Sitios	Muestras de agua	Muestras de sedimentos
1. Río Taxhimay	•	•
2. Presa Taxhimay entrada	•	•
3. Presa Taxhimay centro	•	•
4. Presa Requena mitad	•	•
5. Presa Requena cortina	•	X
6. Quelites	•	•
7. Emisor central	•	•

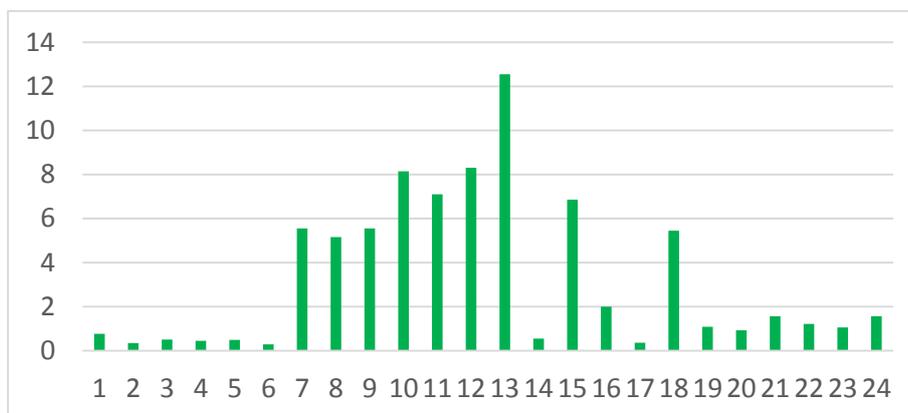
8. Canal PTAR 1 entrada	●	X
9. Presa Endho centro	●	●
10. Presa Endho cortina	●	●
11. Manantiales	●	X
12. La binola	●	●
13. Río salado	●	●
14. Canal PTAR 2 entrada	●	X
15. Mixquiahuala	●	●
16. Tasquillo	●	●
17. Dolores	●	●
18. Presa Rojo Gómez	●	●
19. Presa Zozea entrada	●	●
20. Presa Zozea centro	●	●
21. Presa Zimapán La florida	●	●
22. Presa Zimapán Las palmitas	●	X
23. Presa Zimapán El llano	●	X
24. Presa Zimapán El limón	●	X

Las X indican que no se pudo obtener sedimento.

## 9.1 Concentración de nutrientes presentes en agua de ríos y presas

### 9.1.1 Amoniaco

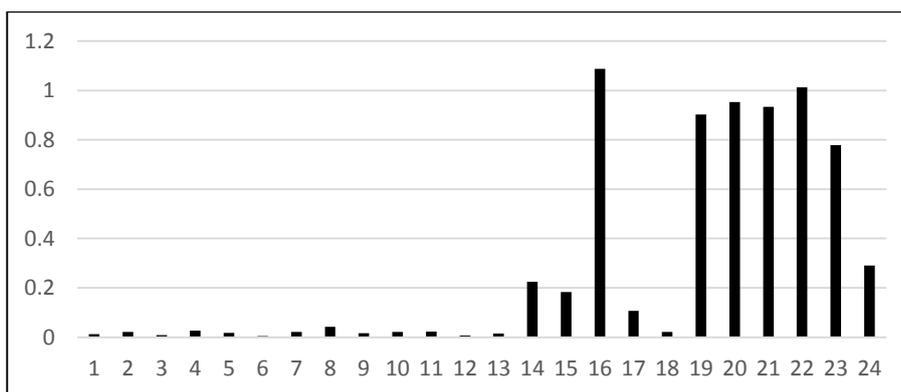
Las concentraciones de amoniaco fueron más altas en tres muestras, Río salado (12.55 mg/L), La binola (8.3 mg/L) y cortina de la Presa Endho con 8.15 mg/l, mientras que las más bajas estuvieron en la entrada de Presa Taxhimay con 0.34 mg/L y Quelites con 0.29 mg/L.



**Fig. 2. Concentraciones de amoniaco (mg/L)**

### 9.1.2 Nitritos

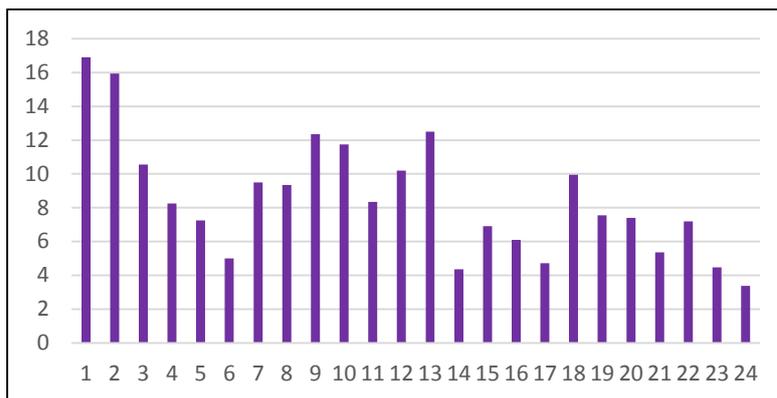
Con respecto a Nitritos los niveles más altos estuvieron en dos sitios: Tasquillo con 1.088 mg/L y en Presa Zimapán las palmitas con 1.013 mg/L en tanto que los niveles más bajos se encontraron en La binola con 0.007mg/L y Quelites con 0.004 mg/L.



**Fig. 3. Concentración de Nitritos (mg/L)**

### 9.1.3 Fósforo total

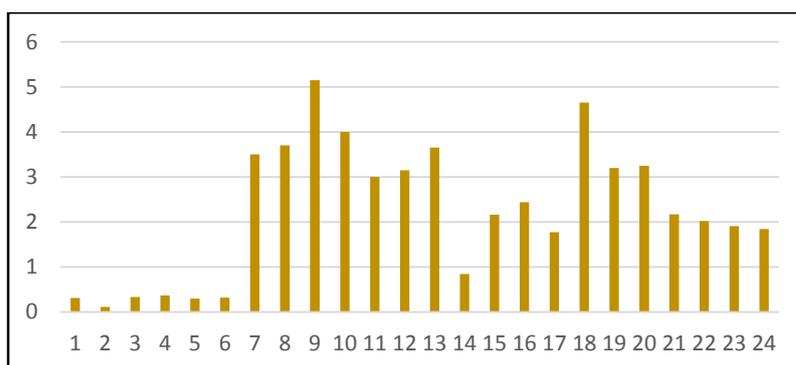
Los niveles más altos de Fósforo total se encontraron en Río Taxhimay con 16.9 mg/L seguido por Entrada de Presa Taxhimay con 15.95 mg/L, lo cual indica el uso de fertilizantes cerca de este río; el resto de los sitios tuvieron valores de Fósforo total por debajo de 12.35 mg/L, siendo los más bajos canal PTAR con 4.36 mg/L y el área El limón en la Presa Zimapán con 3.38 mg/L; ninguno de los sitios rebasó el límite máximo permisible para aguas de riego de acuerdo a la NOM-001 ECOL-1996, el cual se establece en 30 mg/L para este parámetro.



**Fig. 4. Concentración de Fósforo total (mg/L)**

#### 9.1.4 Ortofosfatos

Los valores más altos de Ortofosfatos se detectaron en el centro de la Presa Endho con 5.15 mg/L y Presa Rojo Gómez 4.65 mg/L, mientras que los más bajos se registraron en la cortina de la Presa Requena 0.3 mg/L y Entrada de Presa Taxhimay con 0.11 mg/L.

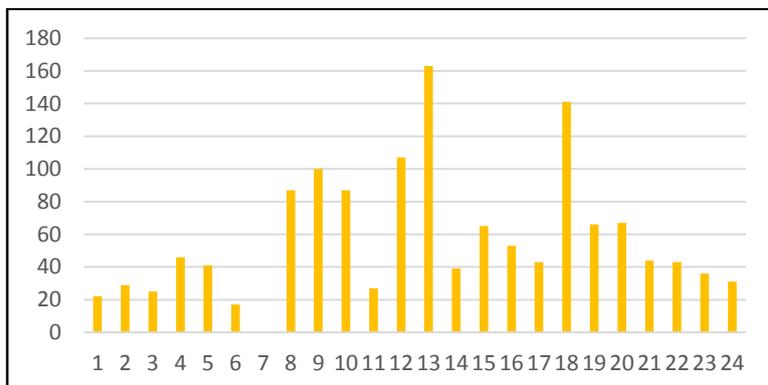


**Fig. 5. Concentración de Ortofosfatos (mg/L)**

#### 9.1.5 Demanda química de oxígeno

Las concentraciones más altas se registraron en Emisor central (167 mg/L), Río salado (163 mg/L), Rojo Gómez (141 mg/l), La binola (107 mg/L) y parte central de la Presa Endho central (100mg/L), los demás sitios estuvieron por debajo de los 87 mg/L registrándose las concentraciones más bajas en Río Taxhimay con 22 mg/L y Quelites con 17 mg/L.

Ninguno de los sitios rebaso el límite máximo permisible para aguas de riego de acuerdo a la NOM-001 ECOL-1996, el cual se establece en 200 mg/L.



**Fig. 6. Demanda química de oxígeno (mg/L)**

## 9.2 Concentración de nutrientes presentes en sedimentos lixiviados

Como anteriormente se había mencionado no se pudo extraer sedimento en todas las presas, por lo tanto de las 24 muestras reportadas para agua, en sedimento solamente serán 17 muestras como se observa en la siguiente tabla.

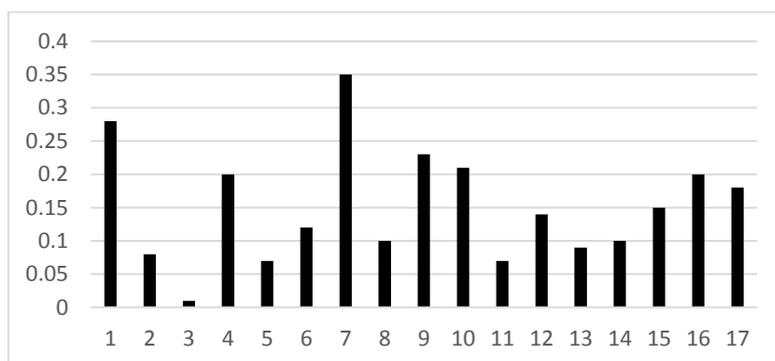
**Tabla 2. Nutrientes en muestras de sedimentos lixiviados**

Muestra	Ortofosfatos (mg/l)	Nitratos (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	Nitritos (mg/L)
1. Taxhimay	0.28	0.7	1.76	0.006
2. Taxhimay entrada	0.08	1.1	0.89	0.007
3. Taxhimay centro	0.01	1.5	2.41	0.004
4. Requena mitad	0.2	1	0.85	0.012
5. Quelites	0.07	0.8	0.05	0.003
6. Emisor central	0.12	0.7	0.61	0.006
7. Endho centro	0.35	1.2	0.63	0.008
8. Endho cortina	0.1	1.2	0.45	0.004
9. La binola	0.23	1	1.06	0.003
10. Rio salado	0.21	1.3	1.26	0.007
11. Mixquiahuala	0.07	1.9	1.2	0.003
12. Tasquillo	0.14	0.8	1.58	0.007
13. Dolores	0.09	0.9	2.06	0.009
14. Rojo Gómez	0.1	1.2	1	0.004
15. Zozea entrada	0.15	1.6	2.78	0.005
16. Zozea centro	0.2	1.1	0.71	0.002

17. La florida	0.18	1.2	1.52	0.006
----------------	------	-----	------	-------

### 9.2.1 Ortofosfatos

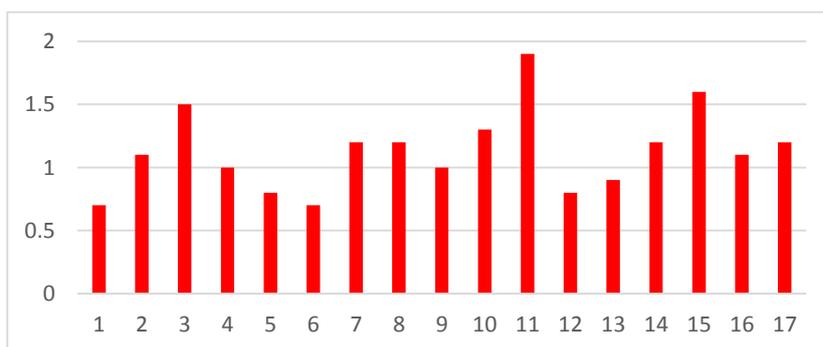
Los niveles más altos se registraron en el centro de la Presa Endho con 0.35 mg/L y Río Taxhimay con 0.28 mg/L, en cuanto a los niveles más bajos estuvieron en Quelites y Mixquiahuala con 0.07 mg/L y Presa Taxhimay centro con 0.01 mg/L.



**Fig.7. Concentración de ortofosfatos (mg/L)**

### 9.2.2 Nitratos

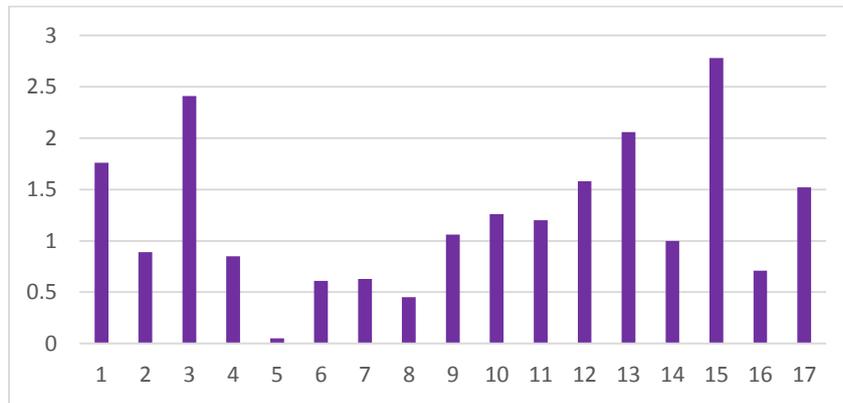
Los valores más altos se encontraron en Mixquiahuala con 1.9 mg/L y Entrada de Presa Zozea con 1.6 mg/L, los bajos en Quelites con 0.08 mg/L, Río Taxhimay y Emisor central con 0.07 mg/L. En ninguno de los sitios se rebasa el límite máximo permisible que establece la FAO en 5 mg/L (Guevara, 1996).



**Fig. 8. Concentración de nitratos (mg/L)**

### 9.2.3 Fósforo total

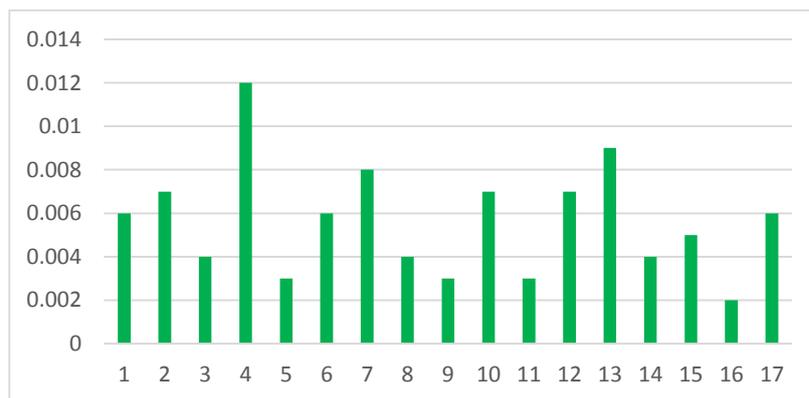
Los niveles más altos se encontraron en la entrada de Presa Zozea (2.78 mg/L) y centro de la Presa Taxhimay (2.41 mg/L) y los niveles más bajos se encontraron en la cortina de la Presa Endho cortina (0.45 mg/L) y Quelites (0.05 mg/L). Todos los valores se encuentran dentro del límite permisible para el uso de aguas de riego establecido en 30 mg/L (NOM-001 ECOL-1996).



**Fig.9. Concentración de fósforo total (mg/L)**

#### 9.2.4 Nitritos

Las concentraciones más altas de Nitritos se registraron para la Presa Requena con 0.012 mg/L y en Dolores con 0.009 mg/L y las concentraciones más bajas en Quelites, La binola y Mixquiahuala con 0.003mg/L y el centro de la Presa Zozea con 0.002 mg/L.



**Fig.10. Concentración de nitritos (mg/L)**

#### 9.3 Metales pesados presentes en los sedimentos lixiviados

### 9.3.1 Cromo (Cr)

Los mayores valores de Cromo se encontraron en La binola (0.17 mg/L) y en la entrada de la Presa Zozea (0.10 mg/L) en el resto de los sitios los valores no rebasaron los 0.06 mg/L.

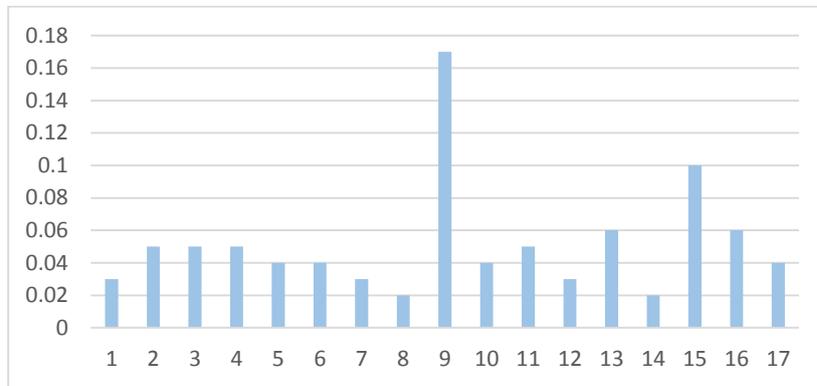


Fig. 11. Concentración de Cromo (mg/L)

### 9.3.2 Molibdeno (Mo)

Las concentraciones más altas de Molibdeno se encontraron en RíoTaxhimay con 0.04 mg/L siguiéndole Presa Requena con 0.03 mg/L en los sitios restantes los valores se mantuvieron por debajo de los 0.02 mg/L. Mientras que en La binola, Río salado, Mixquiahuala y Rojo Gómez no se registró concentración de Molibdeno.

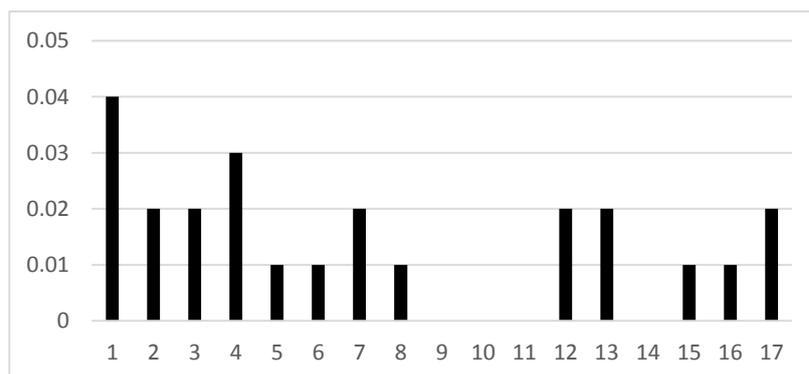
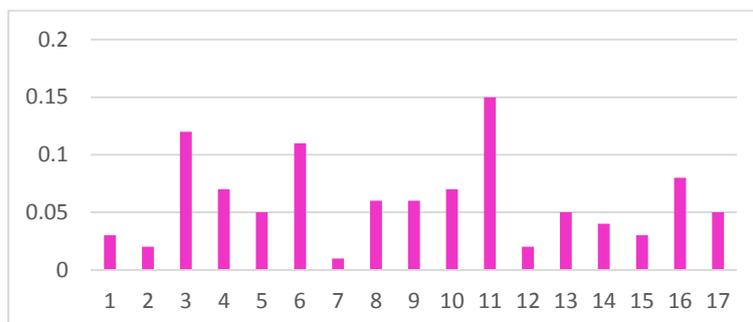


Fig. 12. Concentración de Molibdeno (mg/L)

### 9.3.3 Zinc (Zn)

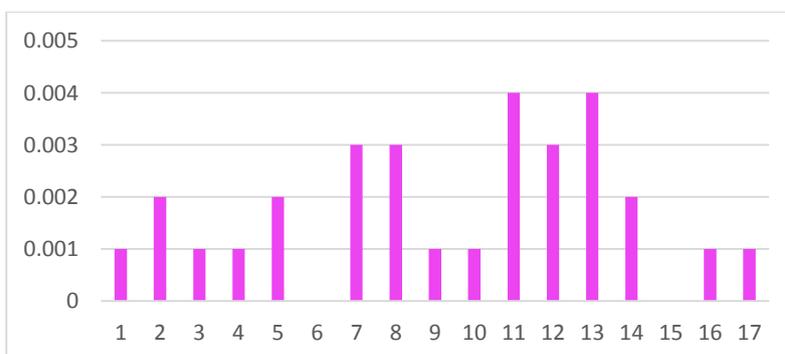
Se encontraron tres concentraciones más altas en las presas de Mixquiahuala con 0.15 mg/L, en el centro de la Presa Taxhimay con 0.12mg/L y Emisor central con 0.11 mg/L, el resto de los valores se encontraron por debajo de los 0.08 mg/L.



**Fig. 13. Concentración de Zinc (mg/L)**

### 9.3.4 Níquel (Ni)

Los valores mayores se encontraron en la salida de Mixquiahuala y Dolores con 0.004 mg/L, en el resto de los sitios los valores se encontraron por debajo de los 0.003 mg/L. No se registraron concentraciones de Níquel en los sitios de Emisor central y Entrada de Presa Zozea; el límite máximo permisible para aguas de riego está establecido en 0.2 mg/L (NOM-001 ECOL 1996).

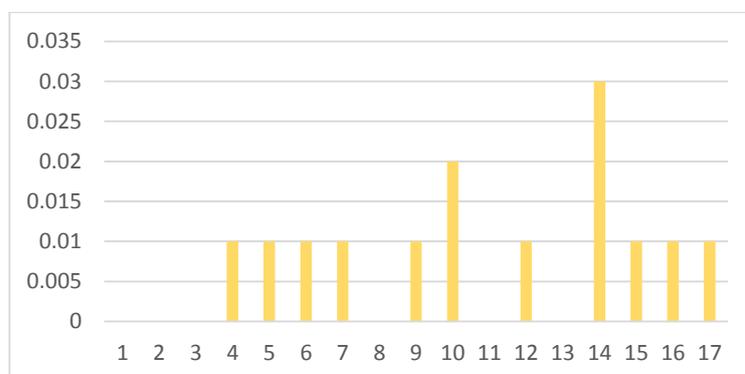


**Fig. 14 Concentración de Níquel (mg/L)**

### 9.3.5 Cobalto (Co)

Las concentraciones más altas de Cobalto se encontraron en Rojo Gómez (0.03 mg/L) y Río salado (0.02 mg/L), las demás muestras se mantuvieron con un valor

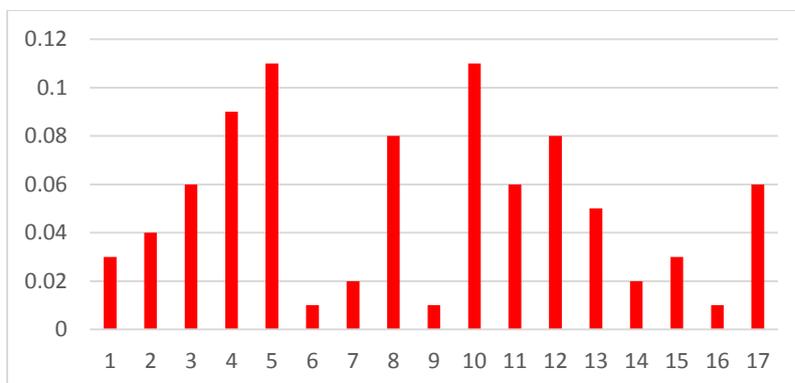
de 0.01 mg/L. Mientras que en los siguientes sitios Río Taxhimay, Entrada de Presa Taxhimay, Centro de Presa Taxhimay, Presa Endho cortina, Mixquiahuala y Dolores, no se registró la presencia de este metal; de acuerdo a la NOM-001-ECOL-1996, se establece en 0.05 mg/L para aguas de riego



**Fig. 15. Concentración de cobalto (mg/L)**

### 9.3.6 Cobre (Cu)

Los valores más altos se encontraron en Río salado con 0.11 mg/L y Quelites con 0.11 mg/L, los demás sitios obtuvieron valores menores a los 0.09 mg/L.



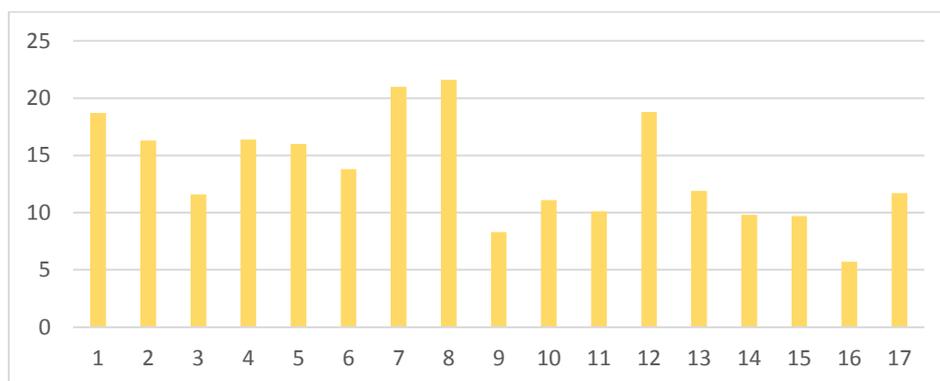
**Fig. 16. Concentración de cobre (mg/L)**

### 9.4 Efecto del agua sobre el desarrollo de etapas iniciales de *Zea mays*

Los resultados de los bioensayos realizados con el agua de los sedimentos lixiviados, fueron favorables para las especies *Zea mays* Águila 215, *Medicago sativa* San Miguel y *Avena sativa* Turquesa ya que se obtuvieron resultados favorables en cuanto a la germinación de la semilla y elongación de la radícula.

En el caso de las semillas de *Zea mays* CB CRM-28 y *Raphanus sativus* champion, resultaron ser más susceptibles a los lixiviados y por tanto no registró elongación radicular.

De acuerdo con la siguiente gráfica, la mayor elongación radicular se presentó cuando las semillas fueron expuestas al agua de cortina y centro de la Presa Endho, con valores de 21.6 cm y 21cm respectivamente; al contrario, la menor elongación se presentó en las muestras La binola y Presa Zozea centro, con valores de 8.3 cm y 5.7 cm.

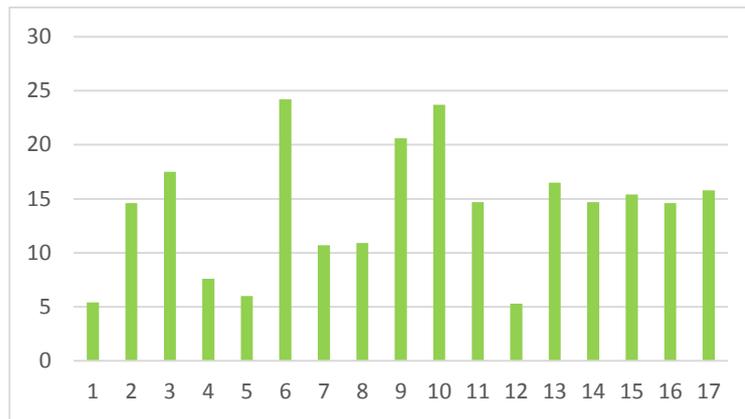


**Fig.17. Elongación radicular de *Zea mays* Águila 215**

El mayor crecimiento radicular fue en las dos muestras de Presa Endho (centro y cortina) debido posiblemente a todos los nutrientes que lleva el agua, independientemente de los contaminantes que también pudiera llevar.

### **9.5 Efecto del agua sobre el desarrollo de etapas iniciales de *Medicago sativa* San Miguel.**

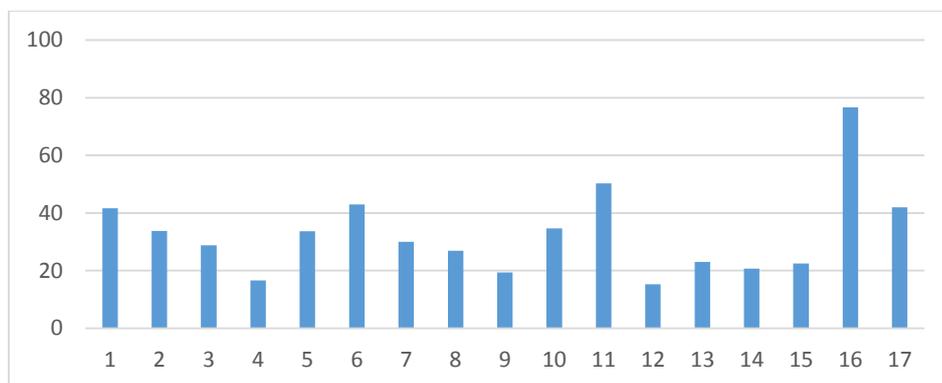
En la gráfica 18 se muestran los datos obtenidos de la elongación de radícula en cada una de las muestras, el mayor crecimiento se presentó en las semillas expuestas al agua de Emisor central y Río salado con valores de 24.2 cm y 23.7 cm respectivamente, al contrario, la menor elongación se presentó en las muestras de Río Taxhimay y Tasquillo con valores de 5.4 cm y 5.3 cm. debido quizá al bajo contenido de nutrientes en estas últimas, o la presencia de otras sustancias no determinadas.



**Fig. 18. Elongación radicular de *Medicago sativa* San Miguel**

**9.6 Efecto del agua sobre el desarrollo de etapas iniciales de *Avena sativa* Turquesa.**

El mayor crecimiento radicular de semillas de avena fue las expuestas a aguas de sedimentos lixiviados del centro de la Presa Zozea y de Mixquiahuala con valores de 76.6 cm y 50.3 cm respectivamente; los menores crecimientos se presentaron en las muestras de Tasquillo y centro de la Presa Requena con valores de 16.6 cm y 15.2 cm. Cabe mencionar que estas semillas estuvieron expuestas al agua 168 hrs. ya que fue muy lento su crecimiento a comparación del tiempo estimado de 96 hrs.



**Fig. 19. Elongación radicular en *Avena sativa* Turquesa.**

Los sedimentos lixiviados del centro de la Presa Zozea, fueron más favorables para *Avena sativa* dado que fue la muestra donde hubo más crecimiento, lo

contrario sucedió con la especie de *Zea mays* que resultaron más sensibles a esta muestra.

Mixquiahuala fue otra muestra que resultó favorable para el crecimiento radicular de *Avena sativa*, pudiera relacionarse con los bajos valores de metales pesados obtenidos y valores altos en nutrientes.

## 10. CONCLUSIONES

- En la mayoría de los sitios muestreados, la concentración de nutrientes fue alta, en las muestras de agua hubo más concentraciones de fósforo total, ortofosfatos, por lo que quizá la demanda química de oxígeno sea elevada; con respecto a nitritos y amoníaco se encontraron en menor concentración; en lo que se refiere a las muestras de sedimentos lixiviados las concentraciones más altas se encontraron en nitratos y fósforo total, las menores estuvieron en ortofosfatos y nitritos.
- Las concentraciones de metales pesados en general estuvieron por debajo de los límites permisibles, la más alta fue de zinc y en el caso de molibdeno fue una de las concentraciones más bajas que se encontraron en las muestras de los sedimentos lixiviados.
- El efecto de los sedimentos lixiviados fue favorable en cuanto a las especies de *Zea mays* Águila 215, *Medicago sativa* San Miguel y *Avena sativa* Turquesa, ya que se obtuvieron crecimientos variables de sus radículas; el efecto negativo se presentó con la exposición de las semillas de *Raphanus sativus* champion y *Zea Mays* CB CRM-28 en los cuales no hubo desarrollo de radículas.
- El agua de las presas que causó más inhibición del crecimiento radicular fueron: La binola, y la del centro de la presa Zozea para *Zea mays* Águila 215; Río Taxhimay y Tasquillo para *Medicago sativa* San Miguel y nuevamente Tasquillo y la del centro de la Presa Requena para *Avena sativa* Turquesa, ya que provocaron el menor desarrollo de radícula y en la mayoría de los casos no hubo desarrollo de hipocótilo.

- La exposición de las semillas *Raphanus sativus* champion y *Zea Mays* CB CRM-28 resultaron ser más sensibles a los lixiviados ya que fueron las que no presentaron el desarrollo necesario y en varias muestras no se presentó la germinación de la semilla.
- Los resultados de los bioensayos demostraron su eficacia para detectar contaminantes o sustancias perjudiciales en sitios donde los análisis rutinarios no son capaces de hacerlo, ya que las semillas respondieron a una serie de factores y sustancias disueltas en el agua, con lo que se demuestra que los sitios que presentan más contaminación no siempre son los que causan más daño, ya que inclusive en esas aguas pueden existir micronutrientes que ayudan al crecimiento, por el contrario en sitios donde aparentemente la calidad de agua es mejor se produce una inhibición ya sea por carencia de nutrientes o sustancias contaminantes potenciales que con los análisis acostumbrados no se detectan.

## **11. RECOMENDACIONES**

Con base a los resultados obtenidos se recomienda la utilización de bioensayos aplicados a más cultivos de la zona, puesto que mostraron su eficacia, para así tener una idea más clara sobre el efecto que tendrá la calidad de las aguas que son destinadas para riego y el efecto potencial de los sedimentos elutriados. Otro aspecto sería pasar de esta etapa a las primeras etapas del desarrollo de plántula.

## 12. BIBLIOGRAFIA

- Badillo R., 2008. Ordenamiento ecológico territorial regional en los municipios donde se ubica el Parque Nacional Los Mármoles. Consejo Estatal de Ecología. Informe SNIB-CONABIO proyecto No. DQ006. México. pp. 1-67.
- Casado C., 2006. Caracterización de material de dragado optimizando un método integrado de evaluación de la calidad ambiental. Tesis de doctorado. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cádiz. España. pp. 20-45.
- Cobo R. 2008. Los sedimentos de los embalses españoles. Ingeniería del agua. Vol. 15, N° 4 pp. 232 [consultada el 24 de agosto del 2018] Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/10739/II%20->
- Comisión Nacional del Agua, 2016. Atlas del Agua en México [consultada el 11 de octubre del 2018] Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/ATLAS2015.pdf>
- Daniels S., Munawar M. y C. Mayfield. 1989. An improved elutriation technique for the bioassessment of sediment contaminants. Hydrobiologia. 188/189: 619-631.
- Deng, Y., y Englehardt J. 2007, Oxidación por tratamiento de lixiviados. pp. 380-388.
- Guevara, A. 1996. Control de calidad del agua, Análisis de las normas de control de la calidad de las aguas. CEPIS. Perú. 33 pp.
- Landa R. y C. Neri. 2002. El diagnóstico socioambiental como herramienta para orientar política pública en la gestión de riesgos hidrometeorológicos en la región semiárida del Alto Mezquital en Hidalgo y el Centro-Oeste de Querétaro. Subsecretaría de Planeación y Política Ambiental, SEMARNAT, Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM. México. 11 pp.

- Mondragón A., 2013. Efecto del agua y sedimentos de las presas asociadas a la cuenca del río Tula sobre el desarrollo de etapas iniciales de dos cultivos, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, México. Servicio Social. Licenciatura en Biología. 47 pp.
- Nájera H. 2009. Lixiviados ¿Qué son y cómo se clasifican? (parte 1), UNICACH. México. 3 pp. Disponible en:  
<https://www.unicach.mx/ambiental/descargar/Gaceta4/Lixiviados.pdf>
- NORMA OFICIAL MEXICANA. (NOM-001-ECOL-1996). Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes Nacionales Diario Oficial de la Federación. México D.F. 24 de junio de 1996.
- NORMA OFICIAL MEXICANA. (NOM-083-SEMARNAT-2003). Establece las especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.
- Ramos-Espinosa M.G., De León F. y López-Hernández M. 2018. Aguas residuales provenientes de la Zona Metropolitana del Valle de México y sus efectos en el Valle del Mezquital, Sociedades rurales, producción y medio ambiente.
- Ramírez P. y A. Mendoza. (Eds.) 2008. Ensayos toxicológicos para la evaluación de sustancias químicas en agua y suelo, La experiencia en México. SEMARNAT. México. pp. 1-290.
- Rodríguez T. y I. Ospina. 2005. Humedales artificiales de flujo vertical para mejorar la calidad del agua del río Bogotá. Facultad de Ingeniería, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá D.C Colombia. Ciencia e Ingeniería Neogranadina No 15, 74-84.
- Sánchez P., 2002. Valoración ecotoxicológica de la contaminación de origen agrario: incorporación de bioensayos en los protocolos de evaluación del riesgo ambiental. Tesis de doctorado. Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias Biológicas. España. pp. 1-46.

- Tortosa G, 2009, Agricultura, medio ambiente y sostenibilidad: Empleo de fertilizantes inorgánicos, [consultada el 8 de octubre del 2018]. Disponible en:  
<http://www.compostandociencia.com/2009/09/agricultura-medio-ambiente-y-html/>
- Universidad de Concepción. 2007. Programa de monitoreo ecotoxicológico de los efluentes industriales en el río Cruces, provincia de Valdivia Chile. Universidad de Concepción centro Eula-Chile. 41 pp.