



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

INSTITUTO DE CIENCIAS

POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES



“La Tierra no es de nosotros, nosotros somos de la Tierra”

**“EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN GENERADA POR EL AGUA RESIDUAL TEXTIL VERTIDA AL RÍO ATOYAC
EN TLAXCALA”.**

TESIS

Que para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS AMBIENTALES

Presenta

CARLOS FELIPE LUNA BAUTISTA

Directora de tesis:
Dra. Anabella Handal Silva

Diciembre 2020



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

INSTITUTO DE CIENCIAS

POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES



“La Tierra no es de nosotros, nosotros somos de la Tierra”

“EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN GENERADA POR EL AGUA RESIDUAL TEXTIL VERTIDA AL RÍO ATOYAC EN TLAXCALA”.

TESIS

Que para obtener el grado
de:

MAESTRO EN CIENCIAS AMBIENTALES

Presenta

CARLOS FELIPE LUNA BAUTISTA

Comité tutorial:

Directora y Tutora	Dra. Anabella Handal Silva
Integrante Comité Tutorial	Dra. Alía Méndez Albores
Integrante Comité Tutorial	Dra. Fabiola Avelino Flores
Integrante Comité Tutorial	Dra. Wendy Argelia García Suastegui

Diciembre 2020



BUAP

Por este conducto me permito comunicarle que los miembros del jurado integrado por:

Dr. Pedro Rafael Valencia Quintana Presidente

Dr. Miguel Ángel Valera Pérez Secretario

Dra. Edith Chávez Bravo Vocal

Dr. Eduardo Torres Ramírez Vocal

Dra. Lucía López Reyes Suplente

Designado para la defensa de su tesis **“EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN GENERADA POR EL AGUA RESIDUAL TEXTIL VERTIDA AL RÍO ATOYAC EN TLAXCALA”** han manifestado mediante su voto que ésta cumple con los méritos suficientes para ser defendida como tesis de grado de Maestría en Ciencias Ambientales, por lo que este Posgrado le autoriza la impresión de la misma.

Sin otro asunto en lo particular, quedo de Usted.

ATENTAMENTE

“Pensar bien, para vivir mejor”

H. Puebla de Z; a 07 de diciembre de 2020

E. Torres R.

Dr. Eduardo Torres Ramírez

Coordinador

Posgrado en Ciencias Ambientales

c.c.p minutario

Dr.ETR/melh

E-Mail: ciencias.ambientales@correo.buap.mx

Posgrado en Ciencias
Ambientales



Edif. IC6, Ciudad Universitaria,
Col. San Manuel, Puebla, Pue.
C.P. 72570
01 (222) 2 29-55-00 Ext. 7387

DEDICATORIA

A mi Madre y Abuela

Por todo su esfuerzo, por sus palabras, por siempre alentarme a mejorar día con día y ser un ejemplo de sacrificio.

A mis amigos

Gracias por compartir esta etapa de mi vida, compartiendo momentos difíciles, alegrías, enojos, pero sobre todo volviéndonos una familia cada día.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca de Maestría otorgada para cursar mis estudios de posgrado.

CVU: 883403

Al Posgrado en Ciencias Ambientales del Instituto de Ciencias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla de quienes siempre recibí apoyo incondicional.

“Se agradece a la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado por el apoyo otorgado para la conclusión de esta tesis dentro del Programa IV. Investigación y Posgrado. Apoyar a los programas de posgrado para lograr su incorporación al Padrón Nacional de Calidad. Indicador establecido en el Plan de Desarrollo Institucional 2017-2021”

Al Departamento de Biología y Toxicología de la Reproducción del Instituto de Ciencias de la BUAP, por el apoyo constante brindado al proyecto de tesis.

A la Dra. Anabela Handal Silva, por el interés mostrado en la realización de esta tesis, por brindarme su confianza y apoyo.

A mi comité tutorial:

Dra. Wendy Argelia García Suastegui,

Dra. Alia Méndez Albores

Dr. Fabiola Avelino Flores

Por su gran apoyo para la elaboración de esta tesis.

ÍNDICE

1.	MARCO TEÓRICO.....	1
1.1.	CONTAMINACIÓN DEL AGUA EN MÉXICO.	1
1.2.	INDUSTRIA TEXTIL PUEBLA-TLAXCALA.	2
1.3.	INDUSTRIA TEXTIL.	4
1.4	TOXICOLOGÍA.	7
1.5	GENOTOXICIDAD.	7
1.6	ADN.	8
1.7	CICLO CELULAR.	9
1.8	ABERRACIONES CROMOSÓMICAS.....	10
1.9	BIOINDICADORES O BIOENSAYOS.	10
1.10	EVALUACIÓN GENOTÓXICA.....	11
1.11	ÍNDICE MITÓTICO.	12
2	PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.	13
3	HIPÓTESIS.	13
4	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	13
5	JUSTIFICACIÓN.....	14
6	OBJETIVO GENERAL.....	14
6.1	OBJETIVOS PARTICULARES.	15
7	MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
7.1	DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	15
7.2	TRABAJO DE CAMPO.	16
7.3	VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS.	17
7.4	ANÁLISIS DE METALES PESADOS, METALOIDES, NO METALES Y CIANURO.....	19
7.5	COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES.	20
7.6	COMPUESTOS ORGÁNICOS NO VOLÁTILES.....	20
7.7	EXPOSICIÓN DE <i>A. sativum</i> A LAS DILUCIONES DE ARTC.	21
7.8	EVALUACIÓN CITOTÓXICA.....	21
7.9	EVALUACIÓN GENOTÓXICA.....	22
8	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.	23
9	RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.	23
9.1	ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS.....	23

9.2	METALES PESADOS, METALOIDES, NO METALES Y CIANURO EN EL ART.	29
9.3	ANÁLISIS DE COMPUESTOS ORGÁNICOS EN EL AGUA RESIDUAL TEXTIL.	33
9.3.1	COMPUESTOS ORGÁNICOS NO VOLÁTILES.....	33
9.4	COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES EN EL AGUA RESIDUAL TEXTIL.	35
9.5	CITOTOXICIDAD Y GENOTOXICIDAD AGUDA Y CRÓNICA DE <i>A. sativum</i> EN ARTC.....	37
10	CONCLUSIONES.	48
11	RECOMENDACIÓN.....	49
12	REFERENCIAS.....	49

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1.	Etapas de la investigación.....	15
Figura 2.	Área de estudio Villa Alta, Tlaxcala. Modificado de Google Maps.....	16
Figura 3.	Efluente textil (A), toma de muestra de ART (B y C) y medición de análisis físicos y químicos <i>insitu</i> (D).....	17
Figura 4.	Exposición del ajo (<i>A. sativum</i>) a diferentes diluciones de agua residual textil compuesta (ARTC).....	21
Figura 5.	Agua residual textil (ART) proveniente del efluente y vertida al Río Atoyac (A, B y C); ART colectada para su análisis (D).....	23
Figura 6.	Efecto de la exposición de <i>A. sativum</i> a diferentes diluciones de ARTC sobre el número de raíces en tratamiento agudo.....	39
Figura 7.	Efecto de la exposición de <i>A. sativum</i> a diferentes diluciones de ARTC sobre la longitud de la raíz y tallo en tratamiento agudo.....	40
Figura 8.	Efecto de la exposición de <i>A. sativum</i> a diferentes diluciones de ARTC sobre el número de raíces en tratamiento crónico.....	40
Figura 9.	Efecto de la exposición de <i>A. sativum</i> a diferentes diluciones de ARTC sobre la longitud de la raíz y tallo al finalizar el tratamiento crónico.....	41
Figura 10.	Longitud de raíz, tallo y número de raíces del ajo (<i>Allium sativum</i>) del grupo testigo y experimentales a 120 horas.....	42
Figura 11.	Longitud de raíz y tallo <i>A. sativum</i> del grupo testigo y experimentales a 28 días.....	42
Figura 12.	Porcentaje de los II e IM en <i>A. sativum</i> en tratamiento agudo (A) y crónico (C).....	44
Figura 13.	Porcentaje del índice de las fases mitóticas en tratamiento agudo en <i>A. sativum</i>	46
Figura 14.	Porcentaje del índice de las fases mitóticas en tratamiento crónico en <i>A. sativum</i>	46
Figura 15.	Aberraciones cromosómicas inducidas por el ARTC, en <i>A. sativum</i>	47

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Caracterización físico química del agua residual textil (ART).....	25
Tabla 2. Cuantificación de metales, metaloide y cianuro en el ART.....	30
Tabla 3. Determinación de compuestos orgánicos no volátiles en el ART.....	34
Tabla 4. Determinación de compuestos orgánicos volátiles en el ART.....	36
Tabla 5. Numero de raíces, su longitud y la del tallo de <i>A. sativum</i> expuestas al ARTC, en tratamiento agudo.....	38
Tabla 6. Numero de raíces, su longitud y la del tallo de <i>A. sativum</i> expuestas al ARTC, en tratamiento crónico.....	38
Tabla 7. Medías \pm DS de la longitud de raíz y tallo y número de raíces de <i>A. sativum</i> en tratamiento agudo.....	37
Tabla 8. Medías \pm DS de la longitud de raíz y tallo y número de raíces de <i>A. sativum</i> en tratamiento crónico.....	37
Tabla 9. Porcentajes promedio del (IM), (II) de <i>A. sativum</i> en tratamiento agudo.....	42
Tabla 10. Porcentajes promedio de los (IM), (II) de <i>A. sativum</i> en tratamiento crónico.....	43
Tabla 11. Porcentajes de los índices de fases (IP=índice profásico; IMe=índice metafásico; IA=índice anafásico; IT= índice telofásico) de <i>A. sativum</i> en tratamiento agudo.....	45
Tabla 12. Porcentajes de los índices de fases (IP=índice profásico; IMe=índice metafásico; IA=índice anafásico; IT= índice telofásico) de <i>A. sativum</i> en tratamiento crónico.....	45

1. MARCO TEÓRICO.

1.1. CONTAMINACIÓN DEL AGUA EN MÉXICO.

En febrero del 2012 en el artículo cuarto de la Constitución Mexicana se declaró: “*toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible*” (Constitución política de los Estados Unidos Mexicanos, 2004), decreto que también fue incluido el Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 y el Programa Nacional Hídrico 2014-2018 (CNA, 2017).

Sin embargo, en la actualidad, pese a los esfuerzos que se realizan a nivel municipal, estatal y federal, la declaración antes mencionada está muy lejos de cumplirse. En México, las descargas de aguas residuales son clasificadas en dos categorías, municipales y no municipales, las cifras oficiales mencionan que, de las primeras, únicamente se trata el 52.7% mientras que para las aguas residuales industriales solo el 32%.

La Comisión Nacional del Agua, por conducto del Comité Consultivo Nacional del Sector Agua, elabora las normas oficiales mexicanas sobre la conservación, seguridad y calidad en la explotación, uso, aprovechamiento y administración de las aguas nacionales y de los bienes nacionales enunciados en el artículo 113 de la Ley de Aguas Nacionales, y así garantizar el derecho consagrado en el artículo Constitucional anteriormente citado. Así, para determinar la calidad del agua es necesario realizar su caracterización tanto física como química y ver que cumplan las normas vigentes en materia hídrica (CNA, 2016).

De acuerdo con los indicadores establecidos por la CNA, entre 2015 y 2019 se registraron aproximadamente 900 reportes de "coliformes fecales" en el agua potable de 598 ciudades y aproximadamente 1000 de contaminación por fluoruro en 227 ciudades de 24 estados.

Paralelamente se calcula que para el periodo 2016-2030, más de la mitad del crecimiento poblacional total ocurrirá en las regiones hidrológico administrativas (RHA) IV Balsas, VI Río Bravo, VIII Lerma-Santiago Pacífico y XIII Aguas del Valle de México (CNA, 2017).

La RHA, corresponde al Balsas, esta región a su vez se divide en Alto, Medio y Bajo Balsas. En el Alto Balsas se encuentran los ríos Zahuapan y Atoyac en los estados de Puebla y Tlaxcala, estos ríos se encuentran severamente afectados (CNA, 2016). Cabe destacar que en el país existen 56 Zonas Metropolitanas (ZM), siete de las cuales (Cuernavaca, Cuautla, Puebla-Tlaxcala, San Martín Texmelucan, Valle de México, Apizaco y Tlaxcala) se encuentran ubicadas en la región IV Balsas.

Por otro lado, para el periodo 2007-2016, producto del desarrollo industrial alcanzado en la RHA del Balsas, se incrementó el volumen de agua extraída aproximadamente en un 50.7% (CNA, 2017).

En 2014, el 31,4% de los sitios de monitoreo reportó un valor menor a 3mg/L de DBO5, lo que significó una caída del 40,7%, esta disminución es importante si la comparamos con el valor de DBO5 reportado para 2012, donde se señala que el 40.7% de los sitios monitoreados poseen calidad de agua excelente. Sin embargo, a nivel nacional aproximadamente el 7.9% de los sitios registraron valores mayores a 30mg/L de DBO5, que corresponden a fuertemente contaminadas, que se consideran en el límite máximo permisible para protección de la vida acuática en ríos (DOF NOM 001, 1996). Los sitios donde se identificaron estos altos valores de DBO5 corresponden a las zonas más pobladas de las RHA I Península de Baja California, XIII Aguas del Valle de México y IV del Balsas.

Los niveles más altos de DQO se localizan en aquellos lugares donde se presentan las mayores concentraciones de población, esto es en el centro y occidente, así como, en las zonas de la costa sur y sureste del país. En los últimos seis años la calidad del agua disminuyó en un 22.8% y las zonas que están contaminadas y fuertemente contaminadas se incrementaron en un 33 %. Con relación a los lugares donde se presentó mayor extracción del recurso agua fueron: Lerma-Santiago-Pacífico, Pacífico Norte, Balsas y Río Bravo (CNA, 2012, 2004, 2003, 2002, 2001).

También se consideró que las RHA con mayor porcentaje de contaminación de aguas superficiales (SST >150 mg/L) fueron: V Pacífico Sur (13.1%) y IV Balsas (15%) (SEMARNAT, 2015).

En México la contaminación ha disminuido la disponibilidad del agua per cápita de 11,500 m³ en el año 1955 a 4,263 m³ en el año 2011, de acuerdo con la CNA (2011) el 70% de los ríos nacionales presentan algún grado de contaminación y se ha hecho muy poco para poder tratar de revertirla.

1.2. INDUSTRIA TEXTIL PUEBLA-TLAXCALA.

El Río Atoyac forma parte de la cuenca del Alto Balsas, que pertenece al Distrito Hidrológico N° 18 del Balsas. La cuenca está formada principalmente por los ríos Atoyac y Zahuapan, con una extensión aproximada de 4011 km², hasta la presa de Valsequillo. En el estado de Puebla, cubre un área de 2.420 km² e incluye 22 municipios. En el estado de Tlaxcala tiene

una superficie de 1,591 km², incluyendo 47 municipios de la región, con cerca de 3 millones de habitantes (CNA, 2014).

De acuerdo con Handal Silva *et al.*, (2017), desde hace más de cuatro décadas, los efectos de la consolidación y expansión del modelo económico y político capitalista, así como las ideas sobre el ambiente que argumentan y que coinciden con sus patrones de consumo y producción irracionales; ven reflejados en la destrucción del ecosistema de la cuenca del Alto Balsas. La situación anterior se ve reflejada en la creación de parques y corredores industriales y toda la infraestructura que se construye alrededor de estos sitios con el objetivo de garantizar el acceso al agua en la cuenca del Alto Balsas (Atoyac-Zahuapan) (Handal Silva *et al.*, 2017).

En el municipio de Tepetitla de Lardizábal, en el estado de Tlaxcala, a partir de 1970 se observó una transformación en su estructura económica de ser una población dedicada a la agricultura, pasó a ser manufacturera como lo citan, Rodríguez Tapia y Morales Novelo, (2011). Entre los estados, Puebla-Tlaxcala, se encuentra el cuarto corredor industrial más importante, el cual alberga fábricas de distintos giros como: química, farmacéutica, automotriz, petroquímica, agroquímica y textil, entre otras., que generalmente no recurren al tratamiento de sus aguas residuales previo a ser vertidas al medio acuático (Rodríguez Tapia y Morales Novelo, 2011; Gobierno del Estado de Tlaxcala, 2003).

La industria textil constituye la cuarta actividad de fabricación más grande en México y es vital para su economía. México ocupa el séptimo lugar como exportador mundial en la comercialización de mezclilla (Torres, 2001). Además, es el cuarto mayor proveedor de textiles y prendas de vestir en el mercado estadounidense. Actualmente hay alrededor de 30 fábricas que producen hilados, telas y telas. Las empresas estadounidenses producen una gran cantidad de mezclilla en el país, siendo Tepetitla de Lardizábal una de las principales localidades de Tlaxcala en el cual existen diversas empresas del ramo textil donde más del 90% de los productos son fabricados por un gran número de talleres o lavanderías localizados en domicilios particulares, los cuales generan ingresos considerables hacia la población. Sin embargo, este tipo de producción genera una gran cantidad de residuos sólidos, líquidos y gaseosos, y si no se realiza una disposición final y un tratamiento adecuados, se producirá un alto nivel de contaminación, lo que ocasionará graves problemas ambientales y de salud (INEGI, 2011; Rodríguez Tapia y Morales Novelo, 2011).

Las actividades socioeconómicas que se presentan en la zona son: alimenticia, textil, química, automotriz, papelera, farmacéutica, etc., dentro de éstas 55 son generadoras de aguas residuales, de las cuales 45 son industriales y 10 municipales que son vertidas directamente al río y repercuten directamente en su calidad (Sandoval-Villasana *et al.*, 2009). La industria textil es uno de los giros industriales que hace un manejo intensivo del agua en sus procesos por lo que se generan grandes volúmenes de agua residual con elevadas concentraciones de colorantes, DQO, DBO5, sólidos suspendidos totales, entre otros (Alimba *et al.*, 2013; EPA, 1996).

La composición de los efluentes generados por la industria textil contiene agentes contaminantes entre los cuales destacan: colorantes, sólidos suspendidos, aceites minerales y compuestos orgánicos, los cuales son considerados xenobióticos que son persistentes en el ambiente, sin embargo, no solo agentes xenobióticos se encuentran en el agua residual generada sino también contaminantes microbiológicos, como bacterias, hongos y virus (World Bank Group, 2011; Anjaneyulu *et al.*, 2005).

1.3. INDUSTRIA TEXTIL.

El principal problema ambiental que tiene el sector textil se debe fundamentalmente a las aguas residuales que genera debido a la gran carga de contaminantes que contiene además de usar grandes volúmenes de agua, generar emisiones atmosféricas, residuos sólidos y malos olores que comúnmente causan irritación en ojos, dolor de cabeza y vómitos en algunos casos. Los diversos compuestos químicos resultantes de los distintos procesos se mezclan y producen un efluente final complejo de productos químicos y auxiliares utilizados (Panswad *et al.*, 2001; Stolz, 2001).

La fabricación de textiles puede generar cantidades considerables de contaminantes al aire, incluidos los procesos de acabado, los residuos de secado, estampado, así como la preparación de tejidos. Las emisiones potenciales de compuestos orgánicos volátiles COV incluyen: formaldehído, ácido acético, acetaldehído, clorofluorocarbonos, acetato de etilo, metilnaftaleno y clorotolueno, amoníaco, formaldehído, metanoles y otros alcoholes, ésteres, hidrocarburos alifáticos y varios monómeros. La fabricación de textiles puede generar olores, especialmente durante la tintura y otros procesos de acabado, y el uso de aceites, vapores de disolventes, formaldehído, compuestos de azufre y amoníaco (Li *et al.*, 2012; Lotito *et al.*, 2012).

El consumo de energía es particularmente significativo en las operaciones de secado y curación y en las actividades que implican el empleo de tratamientos en húmedo. El consumo de agua en la fabricación de textiles tiene un impacto ambiental a causa del uso de grandes cantidades de agua potable (Panswad *et al.*, 2001; Stolz, 2001).

Los problemas ambientales generados por la industria textil se deben principalmente a las siguientes fases: gestión de materiales peligrosos, aguas residuales, emisiones a la atmósfera, consumo de energía, residuos sólidos y líquidos.

Los efluentes de aguas residuales específicos de la industria textil están relacionados con las operaciones en húmedo. Las aguas residuales son alcalinas y con elevadas DBO y DQO. Los contaminantes presentes en éstos incluyen sólidos en suspensión, aceites minerales (agentes antiespumantes, grasa, lubricantes de hilatura), agentes surfactantes no biodegradables (etoxilatos de alquilfenol, etoxilatos de nonilfenol) y compuestos orgánicos fenoles procedentes de los procesos de acabado en húmedo (la tintura) y también sustancias orgánicas halogenadas derivadas del uso de disolventes durante el blanqueo. Los efluentes generados de los procesos de tintura suelen ser vertidos con elevada temperatura y grandes concentraciones de colorante y que contienen concentraciones significativas de metales pesados (cromo, cobre, cinc, plomo o níquel) (Dias *et al.*, 2007).

Las actividades textiles constan de los siguientes pasos:

1- Pretratamiento, un gran porcentaje de la carga total de emisión de las actividades de la industria textil se debe a sustancias que ya están en la materia prima antes de entrar en el proceso de acabado (por ejemplo, impurezas y materiales afines para fibras naturales, agentes de preparación, lubricantes de hilatura, agentes de encolado, etc.). La eliminación de estos productos puede generar vertidos, no sólo de sustancias orgánicas poco biodegradables como los aceites minerales, sino también de compuestos peligrosos como hidrocarburos poliaromáticos, alquifenoletoxilatos (APEO) y biocidas. Cuando el sustrato se somete a un proceso seco antes del lavado, los productos auxiliares presentes en el sustrato pasan al aire.

2- El desengomado produce cantidades significativas de materia orgánica y sólidos. Las cargas de DBO₅ y DQO durante éste son considerables y representan el 35 a 50% de la carga total.

3- El lavado de fibras requiere agua caliente y detergente para eliminar el polvo, las impurezas vegetales y la grasa. Este lavado se realiza con un disolvente orgánico. El lavado

alcalino descompondrá los aceites naturales y los tensioactivos, por lo que el efluente es muy alcalino y producirá una gran cantidad de DBO5 y DQO.

4- El blanqueamiento con hipoclorito de sodio puede provocar reacciones secundarias para formar compuestos orgánicos halogenados (triclorometano). Debido a la toxicidad del clorito de sodio y al riesgo de corrosión y explosión, se debe prestar especial atención a su manejo y almacenamiento. En el blanqueo con peróxido de hidrógeno, los problemas medioambientales se deben al uso de agentes complejantes agresivos (estabilizadores). Si el agua de lavado producida después del tratamiento de mercerización no se recicla o reutiliza, se producirán aguas residuales alcalinas de alta concentración.

5- Mercerización, consiste en que la fibra de algodón reacciona a una solución de sosa cáustica, le sigue un tratamiento de lavado con agua caliente elimina la solución cáustica de la fibra.

6- Tintura, las aguas resultantes de la tintura contienen pigmentos de color, halógenos, metales (cobre, cromo, cinc, cobalto y níquel), aminas (colorantes azoicos). Los agentes (de dispersión y antiespumantes), álcalis, sales y agentes reductores / oxidantes). Durante este proceso se utilizan colorantes de tipo azo que contienen metales pesados, bencidina y colorantes clorados que producen aminas aromáticas que son carcinógenas. En este proceso se producen elevadas cantidades de DBO y DQO, sales, compuestos orgánicos clorados, fenilos y bifenilos.

El proceso del lavado genera (COV) procedentes del estampado. En el caso de la mezclilla, este textil se caracteriza por utilizar para el teñido el Reactivo Blue 19 que permanece en el ambiente 45 años (Carrasco, 2018).

7- Los agentes de acabado, las formulaciones de agentes de acabado no son biodegradables ni biológicamente removibles y, a veces, son tóxicos (como los fungicidas). Estos agentes se basan en permetrina, ciflutrina y otros biocidas, que son compuestos altamente tóxicos para los organismos acuáticos. La bibliografía demuestra que las fábricas del giro textil generan efluentes con grandes cargas de contaminantes tanto orgánicos como inorgánicos que son difíciles de degradar y que al estar en contacto con la biota son capaces de ocasionar un daño irreversible (Rodríguez-Tapia y Morales-Novelo, 2011).

1.4 TOXICOLOGÍA.

La toxicología es una ciencia que estudia las sustancias químicas y los agentes físicos capaces de producir alteraciones patológicas en los organismos vivos, paralelamente estudia los mecanismos de las alteraciones que se producen, así como los procedimientos para detectar e identificar el grado de toxicidad (Repetto, 1997).

Los análisis físicos y químicos que se realizan en un cuerpo de agua, determina la presencia y concentración de diferentes contaminantes, las pruebas biológicas sobre toxicidad y genotoxicidad determinan las diferentes reacciones de los organismos vivos a la contaminación ambiental e indican el efecto sinérgico potencial de varios contaminantes (Grippa & Matsumoto, 2012).

La toxicología genética, es la disciplina que se encarga de identificar la acción de las sustancias tóxicas en el ambiente que entran al organismo y que tienen acción adversa en el material genético (Smarth y Hodgson, 2008). El objetivo de esta disciplina es detectar las características fundamentales de los agentes químicos, físicos y biológicos, que actúan sobre el material genético modificándolo, estableciendo una relación entre el periodo de exposición ante el agente y los efectos adversos que puede causar (Smarth y Hodgson, 2008).

1.5 GENOTOXICIDAD.

La genotoxicidad es la capacidad de los agentes físicos, químicos o biológicos, de causar daño en el material hereditario, no solo sobre ADN sino a todos aquellos componentes celulares que están relacionados con el comportamiento y función de los cromosomas en el interior de la célula; tales como proteínas involucradas en reparación, condensación y descondensación del ADN y en el huso mitótico (Repetto, 2009).

Los agentes genotóxicos pueden ser elementos físicos (luz uv, radiación ionizante, radiación electromagnética, temperatura, etc.) o químicos (plaguicidas, HAPs, acridina, agentes oxidantes, epóxidos alifáticos, etc.) que modifican la composición del ADN, los agentes genotóxicos son aquellos que se unen directamente al ADN o lo modifican, inducen especies reactivas de oxígeno (ROS) e inhiben las topoisomerasas y otras proteínas implicadas en el metabolismo del ADN. Estos agentes genotóxicos son capaces de producir multiplicidad de agresiones al ADN, incluidas modificaciones a las bases del ADN, aductos, enlaces cruzados y rupturas de una o dos hebras estos agentes genotóxicos son vinculados

directamente al ADN, en donde actúan modificando la posición de los cromosomas durante la división celular, alterando elementos de las células como el huso mitótico y proteínas vinculadas al funcionamiento de las fases de este ciclo (Fasullo, 2019).

1.6 ADN.

El ácido desoxirribonucleico (ADN), es un ácido nucleico que contiene las instrucciones genéticas usadas en el desarrollo y funcionamiento de todos los organismos vivos, también es el responsable de la transmisión hereditaria. La principal función de la molécula de ADN es el almacenamiento de la información para construir otros componentes de la célula, como las proteínas y las moléculas de ARN. Los segmentos de ADN que contienen esta información genética se llaman genes.

Desde el punto de vista químico, el ADN es un polímero de nucleótidos, es decir, es un polinucleotido. Cada nucleótido está formado por la desoxirribosa, una base nitrogenada (que puede ser adenina, timina, citosina o guanina) y un grupo fosfato. La especificidad secuencial de estas cuatro bases nitrogenadas a lo largo de la cadena será la que codifique la información genética.

Para que la información contenida en el ADN pueda ser utilizada, esta debe copiarse a unas unidades diferentes llamadas ARN. Las moléculas de ARN se copian exactamente del ADN mediante un proceso llamada transcripción. Una vez procesadas en el núcleo las moléculas de ARN estas ya pueden salir hacia el citoplasma.

Dentro de las células, el ADN se organiza en unas estructuras llamadas cromosomas que, durante el ciclo celular, se duplican antes de que la célula se divida (Watson, 2013).

Los cromosomas son estructuras que contiene al ADN enrollado apretadamente alrededor de proteínas llamadas histonas. Para que un organismo crezca y funcione de manera normal, las células deben dividirse constantemente y producir nuevas células que reemplacen a las células viejas y desgastadas. Durante la división celular, es esencial que el ADN permanezca intacto y se distribuya uniformemente entre las células. Los cromosomas son una parte fundamental del proceso que asegura que el ADN se copie fielmente. Los cromosomas varían en número y forma entre los seres vivos, los seres humanos, plantas y animales tienen cromosomas que se ordenan en pares dentro del núcleo de la célula. El número total de cromosomas por célula es específico para cada especie. Cada cromosoma tiene una región condensada, llamada centrómero y esta

estructura ocupa una posición diferente a lo largo del cromosoma que permite clasificarlos según la posición que ocupa el centrómero. Los miembros de cada par se denominan cromosomas homólogos (Butler 2001; Lewin, 1994).

El ciclo celular tiene etapas distintivas, que se denominan G1, S, G2 y M. La etapa G1 es aquella en la que la célula se prepara para dividirse, para ello, entra en la etapa S, que es cuando la célula sintetiza un duplicado de todo su ADN. Una vez que el ADN copiado está accesible, la célula entra en la etapa G2 la célula crece más, hace proteínas y orgánulos, y comienza a reorganizar su contenido en preparación para la mitosis (Zapata, 2001).

1.7 CICLO CELULAR.

El ciclo celular se conforma por las fases (G1, S, G2,) seguida por la fase mitótica (M) y citocinesis y fase G0.

El ciclo celular es vital para la célula, es decir, es una serie de etapas de crecimiento y de desarrollo que experimenta una célula a partir de una célula madre y da como resultado la formación de dos células hijas.

Para que una célula pueda dividirse debe completar varios procesos importantes: deberá de crecer, copiar su material genético (ADN), y dividirse en dos células hijas. Las células realizan estas tareas mediante una serie de pasos organizados y secuenciales que conforman en su conjunto el ciclo celular. En las células eucariotas, las etapas del ciclo celular se dividen en dos fases importantes: la interfase y la fase mitótica. Durante la interfase la célula crece y hace una copia de su ADN y durante la fase mitótica la célula separa su ADN en dos grupos y divide su citoplasma (citocinesis) para formar dos nuevas células.

La interfase se divide en tres pasos: la fase G1 durante la cual la célula crece físicamente, copia los orgánulos y elabora componentes moleculares que necesitara en etapas posteriores. En la fase S la célula sintetiza una copia completa del ADN en su núcleo también duplica la estructura que organiza los microtúbulos denominada centrosoma. Esta estructura ayudará a separar el ADN durante la mitosis. La fase G2 estructura proteínas y orgánulos y reorganiza su contenido para prepararse para la mitosis, esta fase termina cuando la mitosis comienza.

Durante la fase mitótica la célula divide su ADN duplicado y su citoplasma para hacer dos nuevas células. La mitosis implica dos procesos distintos: mitosis y citocinesis. La mitosis

ocurre en cuatro etapas: profase, metafase, anafase y telofase. En la citocinesis, el citoplasma de la célula se divide en dos para formar dos nuevas células, este proceso de citocinesis generalmente inicia inmediatamente terminada la mitosis.

En G₀, es un estado permanente para algunas células mientras que otras células pueden reiniciar la división en el caso de recibir las señales correctas (Raven *et al.*, 2014; Beltrán y Beltrán, 2009; Reece y Campbell, 2011).

1.8 ABERRACIONES CROMOSÓMICAS.

Las aberraciones cromosómicas son las anomalías que ocurren en el conjunto cromosómico y estas pueden ser numéricas o estructurales. Se habla de aberración cromosómica cuando la estructura o el número de cromosomas es anormal. Estas anomalías pueden detectarse en un cariotipo. Las aberraciones cromosómicas a menudo son responsables de malformaciones.

Las aberraciones de tipo numérico se originan a través del proceso de no disyunción (fallo de los cromosomas apareados o de las cromátidas hermanas), por consiguiente, no se separan del modo adecuado; el resultado puede ser que un miembro de un par no llegue a incluirse en ninguna célula hija (Rodríguez, 2013).

Las aberraciones de tipo estructural son consecuencia de ruptura del cromosoma, seguida de reconstrucción según una combinación anormal, las alteraciones de la estructura cromosómica que se presentan por causa de la ruptura pueden ser estables o inestables (Esparza-García *et al.*, 2017).

1.9 BIOINDICADORES O BIOENSAYOS.

La evaluación de la salud ambiental implica el establecimiento de planes de biomonitoreo que utilizan indicadores y biomarcadores de exposición y efectos dado que los seres humanos influyen sobre los ecosistemas y estos generalmente se ven negativamente afectados por entornos insalubres. La evaluación de la salud ambiental y ecosistemas implica evaluar la condición actual y monitorear los cambios a lo largo del tiempo. Dado que la multitud de especies en un espacio no se pueden monitorear es esencial desarrollar un conjunto de bioindicadores que se puedan evaluar el estado y las tendencias dentro de ese ecosistema (Carignan y Villard, 2001).

Los bioindicadores, conocidos también como indicadores biológicos, son herramientas clave para detectar cambios en problemas ambientales, ya que pueden dar información de la situación del ambiente a través del tiempo, dentro de éstos se encuentran hongos, animales o vegetales (Burger, 2006).

El ajo al igual que otras especies son adecuados para estudios genotóxicos porque la dinámica de crecimiento de las raíces es muy sensible a los contaminantes, las fases mitóticas son muy claras, tienen un número de cromosomas estables al igual que su cariotipo, sus respuestas son claras y rápidas a las sustancias genotóxicas y raras veces ocurren daños cromosómicos espontáneos. En el presente estudio se describen varios daños cromosómicos en las células del meristemo de la raíz del ajo relacionados con la contaminación ambiental en la zona de estudio (Restrepo Manrique *et al.*, 2011).

1.10 EVALUACIÓN GENOTÓXICA.

En los últimos años, ha habido un interés creciente en la mejora y el uso de pruebas biológicas para estudiar los posibles impactos venenosos y genotóxicos de la contaminación en las personas y el ambiente (Leme y Marin-Morales, 2009). Según Fiskesjö (1985 y 1997), los seres vivos tienen la capacidad de expresar los cambios más imperceptibles que funcionan durante un cierto tiempo en un sistema biológico a través de respuestas individuales fisiológicas, etológicas, morfológicas, bioquímicas o como un conjunto. Debido a su capacidad para identificar cambios en la calidad de los efluentes y testificar que la calidad venenosa esté por debajo de los límites permitidos, las pruebas naturales se están convirtiendo en instrumentos fiables para evaluar el impacto antrópico (Martínez *et al.*, 2010).

Allium es un bioensayo que permite determinar la genotoxicidad de las distintas toxinas nocivas (Glinska *et al.*, 2007; Grover y Kaur, 1999), a partir de la percepción del desarrollo y transformaciones cromosómicas de las células meristemáticas de la raíz de la cebolla (*Allium cepa*). Rank y Nielsen (1993 y 1994) señalan que las raíces de plantas superiores, al ser estructuras no fotosintéticas y libres de cloroplastos, muestran respuestas comparativas a las de los tejidos y células de vertebrados. Las raíces de cebolla, desarrolladas en numerosos medios nocivos, han demostrado una amplia serie de cambios citológicos, lo que demuestra su fina sensibilidad para distinguir sustancias posiblemente nocivas tanto para el bienestar humano como para el ambiente (Feretti *et al.*, 2007).

En la presente investigación para determinar la citotoxicidad y genotoxicidad en el agua residual textil se utilizará como bioindicador al ajo *Allium sativum*.

1.11 ÍNDICE MITÓTICO.

El índice mitótico (IM), es el porcentaje de células que se encuentran en cualquiera fase de la mitosis (profase, metafase, anafase o telofase), su contabilización nos va a otorgar información del estado del ciclo celular. Esta medición se realiza generalmente en 1000 células (Elena *et al.*, 2017).

La fórmula para calcular el índice mitótico es:

$$IM = \frac{\#CM}{TC} \times 100$$

En donde:

IM= Índice mitótico.

#CM= Número de células en mitosis.

TC= Total de células contabilizadas.

La fórmula para calcular el índice interfásico:

$$\text{Índice interfásico (II)} = \frac{\text{No. de células en interfase}}{\text{No. total de células}} \times 100$$

Los índices mitóticos e interfásicos proporcionan una cuantificación de la regulación del ciclo celular e información sobre la presencia de sustancias tóxicas que alteran la normal división celular, mostrando un comportamiento similar en la célula animal como en la célula vegetal (Berrocal *et al.*, 2013).

El IM puede incrementarse en procesos que promueven la división celular, como el crecimiento normal o la reparación celular, éste se ve afectado por agentes tóxicos ambientales que ayudan a la proliferación de las células, lo que puede desencadenar procesos carcinogénicos o por el contrario pueden inhibir la división celular (Kusumaningrum *et al.*, 2012) proporcionando información acerca del componente tóxico si es un inhibidor o un potenciador de la división celular. El índice interfásico es el número de células que se encuentran en interfase en relación con el total de células y que no participan en el proceso de mitosis.

Tanto la reducción como el aumento del IM son indicadores importantes en el monitoreo de la contaminación ambiental.

Por lo anterior, en el presente trabajo de investigación, se evaluó el daño citotóxico que ocasiona el ART en células meristemáticas de *Allium sativum* utilizando como agentes tóxicos las sustancias químicas presentes en el agua residual textil.

2 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.

¿Cuál es la calidad fisicoquímica del agua residual textil proveniente de la elaboración de telas de mezclilla, que se descarga al Río Atoyac?

¿Cuáles son los efectos citotóxicos y genotóxicos del agua residual textil en el tejido vegetal de ajo (*Allium sativum*)?

3 HIPÓTESIS.

El agua residual textil contiene agentes tóxicos que alteran el desarrollo normal del ciclo celular, en células meristemáticas del Ajo (*Allium sativum*).

4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La industria textil tiene como principales impactos ambientales el alto consumo del agua para la realización de sus procesos productivos y el agua residual resultante, posee una gran cantidad y variedad de contaminantes que se generan por la presencia de colorantes, surfactantes, sales inorgánicas y una diversidad de compuestos químicos empleados en los diversos procesos de la producción textil. Al mismo tiempo se ha prestado poca o nula atención a la toxicidad que generan los efluentes textiles en la regulación de sus descargas.

Además, el incremento de la población y el alto grado de desarrollo industrial en la zona aumenta la demanda del recurso hídrico, para satisfacer las necesidades de la población, la industria y la agricultura en la población de Villa Alta, Tlaxcala. Esta situación se agudiza si tomamos en cuenta el manejo irracional de los recursos naturales, así como el poco e inadecuado, o nulo manejo de los residuos generados por la industria textil (proceso Denim) que son vertidos directamente al Atoyac sin ningún tipo de tratamiento previo (García–Nieto *et al.*, 2011; Navarro *et al.*, 2004; Espejel y Carrasco, 1999).

Las regulaciones mexicanas y el análisis de la industria han determinado e incorporado los límites máximos permisibles que algunas industrias deben cumplir para evitar el deterioro de la calidad del agua del sistema receptor, así como proteger las comunidades acuáticas, sin embargo, las industrias hacen caso omiso de las NOMs (Navarro y Ramírez Garrido, 2011). Por lo anterior se evaluó el valor de citotoxicidad y genotoxicidad del agua residual

textil que se vierte de manera puntual al Río Atoyac utilizando el bioindicador ambiental *Allium sativum*. Estudios de este tipo a la fecha son limitados en la zona de estudio.

5 JUSTIFICACIÓN.

En México las Normas Oficiales Mexicanas (NOMs) están relacionadas con las descargas de aguas residuales (NOM-001 y NOM-002) y se sustentan en los niveles máximos permisibles (NMP) de ocho indicadores de calidad de agua: demanda química de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno (DQO y DBO) y las concentraciones de seis metales pesados (DOF, NOM-001-1996; NOM-002-1996). La limitante de estas NOMs es que no evalúan el efecto de estas sustancias peligrosas y sus correspondientes impactos.

En los últimos años, los investigadores han prestado cada vez más atención al desarrollo y uso de pruebas biológicas para evaluar la toxicidad y genotoxicidad potencial de la contaminación para los seres humanos y los ecosistemas. La genotoxicidad está relacionada con los efectos directos o indirectos sobre el ADN, como la inducción de mutaciones que pueden desencadenar el proceso carcinogénico. Los cambios genéticos provocados por las aguas residuales textiles juegan un papel fundamental en la identificación de potenciales carcinógenos en las pruebas de genotoxicidad, por lo que es importante el control de las diferentes sustancias vertidas al Río Atoyac en el área de estudio (Villa Alta) y su correspondiente seguimiento ambiental.

Por lo antes expuesto, la presente investigación pretende dar a conocer los parámetros físicos y químicos del agua residual textil que sobrepasan lo establecido por la NOM 001, así como identificar y analizar las posibles aberraciones cromosómicas resultado de la acción de un grupo de agentes tóxicos que son capaces de interactuar con los cromosomas del biomodelo *A. sativum*.

En la región se desconocen los niveles citotóxicos y genotóxicos del agua residual textil, así como los efectos que estarían ocasionando en los organismos vivos pues no se ha sistematizado un método para evaluar la toxicidad del agua. En ese sentido, la presente investigación se orienta a estudiar los niveles de citotoxicidad y genotoxicidad en las células meristemáticas de la raíz de *Allium sativum* en beneficio del ambiente y las comunidades.

6 OBJETIVO GENERAL.

Evaluar la contaminación generada por el agua residual textil vertida al Río Atoyac en Villa Alta, Tlaxcala mediante el bioindicador *Allium sativum*.

6.1 OBJETIVOS PARTICULARES.

- Caracterizar el agua residual textil compuesta (ARTC) vertida al Río Atoyac.
- Analizar: el Índice Mitótico (IM), el Interfásico (II) y el índice de fases (IF) del ARTC en *A. sativum*.
- Identificar el daño citotóxico y genotóxico que ocasiona el ARTC, en células meristemáticas de la raíz de *A. sativum*.

7 MATERIALES Y MÉTODOS.

El desarrollo de la presente investigación se realizó en el periodo comprendido de agosto del 2018 a junio del 2020.

La parte experimental que comprende: la toma de muestras y sus correspondientes análisis fisicoquímicos, así como los bioensayos sobre citotoxicidad y genotoxicidad se llevaron a cabo en el laboratorio de Toxicología de la Reproducción del Departamento de Biología y Toxicología de la Reproducción (DBTR) del Instituto de Ciencias. La metodología de la investigación se describe a continuación (Fig. 1).

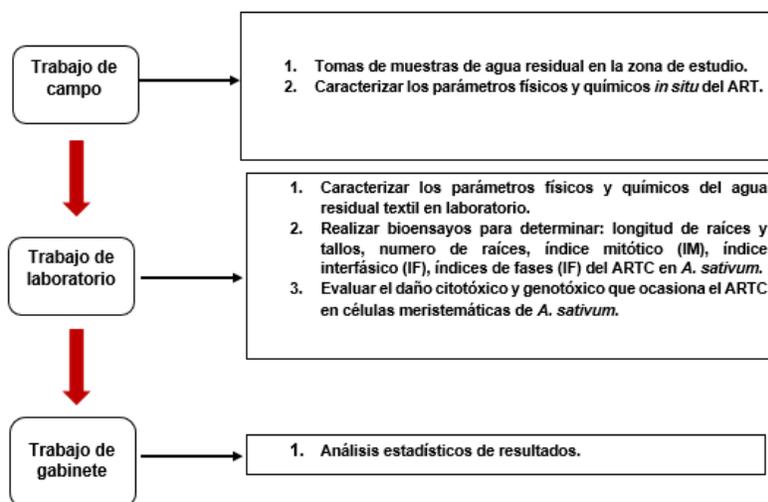


Figura 1. Etapas de la investigación.

7.1 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.

Este estudio se llevó a cabo en el Río Atoyac entre los límites de Tlaxcala y Puebla en la población de Villa Alta, Tlaxcala que pertenece a Tepetitla de Lardizábal, en el municipio de San Martín Texmelucan de La Bastida en Puebla (Fig. 2). Su localización geográfica se

realizó con el apoyo del CIS (Centro Integral de Servicios de CONAGUA), la base de datos de la paraestatal, el software de ubicación satelital Google Earth y GPS. Para la ubicación y descripción física de la zona de estudio, se realizaron exploraciones y visitas de campo, se tomaron fotografías del punto de muestreo y zonas aledañas (Fig. 3). La estación de muestreo se localiza a 2.7 km noreste del zócalo del Municipio de San Martín Texmelucan. A 50 metros del lado oeste pasa la autopista Arco Norte y del lado sur se encuentran campos de cultivo donde principalmente se siembra tomate, avena, alfalfa, cilantro, cebolla, betabel, col y coliflor (INEGI, 2005).

La estación de descarga del agua residual textil (Fig. 3) se ubica en las coordenadas $19^{\circ} 17' 17'' - 98^{\circ} 24' 36''$. El efluente del agua residual textil presenta un color azul intenso, con malos olores fuertes, que comúnmente causan dolor de cabeza y vómitos. Además, en el lugar se observa vapor de agua debido a que la temperatura del agua residual es más elevada que la temperatura del ambiente. Las muestras de agua se tomaron directamente del tubo del drenaje de salida del efluente que antes de ser vertida al río Atoyac.

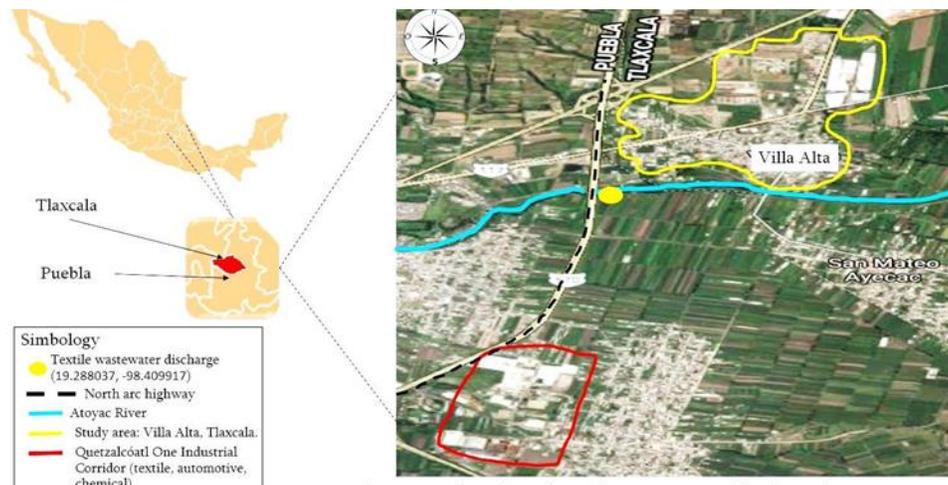


Figura 2. Área de estudio Villa Alta, Tlaxcala. Modificado de Google Maps.

7.2 TRABAJO DE CAMPO.

Las muestras de agua residual textil (ART), se tomaron de la zona de estudio de acuerdo a la NMX-AA-003. Se tomaron directamente del efluente por triplicado a diferentes horas del día. *In situ* se determinó:

- Temperatura con un termómetro de mercurio de tipo varilla.

- pH, Total de sólidos disueltos (TDS), Potencial oxido-reducción (ORP), conductividad eléctrica y salinidad; se midieron de manera simultánea con un multiparamétrico digital portátil HACH HQ30D.

7.3 VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS.

Las muestras de ART colectadas a distintas horas del día, se trasladaron al laboratorio. A cada una de las muestras colectadas se les analizó los parámetros fisicoquímicos y se calculó para cada uno de ellos la media y la DS:

-DQO: se utilizó un kit de prueba Spectroquant para un rango de 25-1500 mg/L. La prueba se basa en el método de la determinación del cromo III y la oxidación del ácido cromo sulfúrico, y contiene una serie de tubos o celdas de reacción, en las cuales se colocan 3 mL de muestra, la muestra se añade cuidadosamente por las paredes del tubo, se tapa y agita. Luego de realizarse este procedimiento con cada muestra, estas se colocan en un termoreactor a 148°C por 2 horas y se dejan enfriar en la gradilla del kit por 10 min. Finalmente, las mediciones se realizaron en un fotómetro Nova 60 Spectroquant Merck, en el cual se introduce el tubo directamente, seleccionando el número de método 138.



Figura 3. Efluente textil (A), toma de muestra de ART (B y C) y medición de análisis físicos y químicos *insitu* (D).

-Turbidez: También se llevó a cabo con el fotómetro Nova 60 Spectroquant. El método consiste en trasvasar un volumen de aproximadamente 10 mL de la muestra, sin ningún tipo de tratamiento ni filtrado, a una celda de medición rectangular de 50 mm de espesor, para luego colocarla en el fotómetro seleccionando el número 177.

-Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5): Se utilizó un incubador OxiTop control OC 100, el cual contiene 12 botellas ámbar de 500 mL, provistas de un sistema de medición manométrica de presión, en cada una de las tapas. El método consiste en la medición de los cambios de presión parcial del oxígeno como consecuencia de su consumo en la oxidación biológica de la materia orgánica, añadiendo previamente (inicio de incubación) un inhibidor del proceso de nitrificación, y absorbiendo del sistema, el CO₂ producido mediante pastillas de KOH. Este método respirométrico proporciona una medida directa del oxígeno consumido por los microorganismos en un recipiente cerrado en condiciones de temperatura y agitación constante (60 rpm). El tiempo de incubación es de 5 días a una temperatura de 20°C. Antes de verter las muestras en las botellas incubadoras, se debe comprobar que el pH de la misma se encuentre entre 6 y 8; y en caso de ser necesario ajustar el pH con una solución de hidróxido de sodio o ácido sulfúrico (Operating manual. NOVA 60 A Spectroquant®, 2019). Luego de añadir las muestras de agua en las respectivas botellas incubadoras, se colocó en cada una de ellas un magneto para agitar la muestra y una gota del inhibidor de la nitrificación. Finalmente, se le colocaron las “tapas-sensores”, se resetearon para dar inicio al ciclo de medición. Se anotaron las medidas registradas diariamente durante 5 días a una temperatura de 20°C (Operating manual. NOVA 60 A Spectroquant®, 2019).

-Fenol: se pipetearon 10 mL de ARTC en una cubeta de reacción, se le añadió 1 microcuchara de gris rasa Ph-1K, 1 microcuchara de verde rasa de Ph-2K dejando que reaccionara 1 minuto y se colocó en el fotómetro Nova 60 Spectroquant para registrar el resultado.

-Dureza total: se pipeteó 1 mL de muestra de ARTC en una cubeta de reacción y posteriormente se le añadió 1 mL de H-1K, dejando reposar 3 minutos para después colocar la cubeta en el fotómetro Nova 60 Spectroquant y se registró el resultado (Operating manual. NOVA 60 A Spectroquant®, 2019).

-Colorante: La determinación del colorante índigo en el ART se llevó a cabo mediante análisis espectrofotométrico UV/VIS (espectrofotómetro Perkin Emler modelo lamda 20). Se

seleccionó el rango máximo de longitud de onda para el colorante azul índigo correspondiente a 660 nm, y se procedió a preparar una solución de concentración de colorante índigo (2500 mg/L) y sus respectivas diluciones para la medición correspondiente.

-Grasas y aceites: se utilizó un embudo Büchner, desecador, equipo de extracción Soxhlet, estufa eléctrica, balanza analítica, equipo de filtración a vacío y se siguió el método de la NMX-AA-005-SCFI-2013 (DOF. 2013, NMX-AA-005-SCFI-2013).

7.4 ANÁLISIS DE METALES PESADOS, METALOIDES, NO METALES Y CIANURO.

Las muestras de ART colectadas a distintas horas del día, se trasladaron al laboratorio. A cada una de las muestras colectadas se cuantificó la cantidad de metal presente en cada muestra y se calculó para cada uno de ellos la media y la DS:

-Cadmio (Cd): se pipetearon 5.0 mL de la muestra de ARTC en una cubeta de reacción, se añadieron 0.20 mL de Cd-1K, se añadió una micro cucharada de verde rasa de Cd-2K y se agitó para mezclar, para su correspondiente medición.

-Cobre (Cu): se pipetearon 5.0 mL de la muestra en una cubeta de reacción, se añadieron 5 gotas de Cu-1K, se cerró la cubeta y se mezcló, se esperaron cinco minutos para la reacción y se procedió a la medición.

-Cromo (Cr): (VI y III) Se pipetearon 10 mL de la muestra de ARTC en una cubeta de reacción, se añadió una gota de Cr-1K, una dosis de Cr-2K con el dosificador azul, se cerró y se calentó durante una hora a 120°C en el termorreactor, después se sacó la cubeta y se dejó enfriar a temperatura ambiente, se le añadieron 6 gotas de Cr- 3K, posteriormente se procedió a la medición.

-Níquel (Ni): Se pipetearon 5.0 mL de la muestra en una cubeta de reacción y se añadieron 2 gotas de Ni-1K, 2 gotas de Ni-2K y se mezcló la muestra, se esperaron dos minutos para la reacción y se procedió a la medición.

-Plomo (Pb): Se añadieron 8 mL de muestra de ARTC a un tubo de ensayo, se añadieron 0.50 mL de Pb-1, 0.50 mL de Pb-2, se seleccionó el método con el autoselector, se introdujo el tubo de ensayo y se registró el dato.

-Aluminio (Al): se pipetearon 6.0 mL de la muestra de ARTC en una cubeta de reacción, se añadió 1 micro cuchara azul rasa de Al-1K, se cerró la cubeta y se agitó para disolver la sustancia sólida, posteriormente se añadieron 0.25 mL de Al-2K, se cerró la cubeta y se

mezcló para esperar cinco minutos de reacción, finalmente se colocó la cubeta en el compartimento para la medición.

-Arsénico (As): se introdujeron 350 mL de la muestra en un matraz Erlenmeyer con esmerilado, se añadieron 5 gotas de As-1 y se mezcló, luego se añadieron 20 mL de As-2 y se mezcló, posteriormente se añadió una cucharada dosificadora verde rasa de As-3 y se disolvió, luego se añadió 1.0 mL de As-4, 5.0 de As-5, 1.0 mL de As-6 y se mezcló, por último se añadieron 3 cucharadas de rojas rasas de As-7, se dejó reposar dos horas, al término de este tiempo se seleccionó el método y se colocó la cubeta en el compartimento para la medición.

-Boro (B): se pipeteó 1.0 mL de b-1K en una cubeta de reacción y se añadieron 4.0 mL de la muestra de ARTC, se cerró y se agitó, posteriormente se esperó una hora para que reaccionara la mezcla, luego de ello se colocó en el compartimento para cubetas para la medición.

-Bromo (Br): se pipetearon 10 mL de la muestra en un tubo de ensayo, se añadió una micro cuchara azul rasa de Br2-1, se agitó y se esperó un minuto para que reaccionaran, posteriormente se colocó el tubo de ensayo en el compartimento de cubetas para la medición.

-Cianuro (CN): Se pipetearon 5.0 mL de la muestra en una cubeta de reacción, se añadió una micro cuchara azul rasa de CN-1K y se agitó, se esperaron diez minutos para la reacción, luego se procedió a la medición.

7.5 COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES.

La determinación de los compuestos orgánicos volátiles se llevó a cabo por cromatografía de gases acoplado a un espectrómetro de masas en productos de extracción de constituyentes tóxicos (PECT) – método de prueba de acuerdo con la NMX-AA-103-SCFI-2006.

7.6 COMPUESTOS ORGÁNICOS NO VOLÁTILES.

La determinación de los compuestos orgánicos no volátiles (CONV), se siguieron los criterios y metodología de la norma mexicana NOM-138-SEMARNAT/SSA1-2012, utilizada para establecer los límites máximos permisibles de hidrocarburos en suelos y lineamientos para el muestreo en la caracterización y especificaciones para la remediación.

7.7 EXPOSICIÓN DE *A. sativum* A LAS DILUCIONES DE ARTC.

Los ajos fueron expuestos a las diluciones de ARTC (*Allium sativum* (2n= 16), en un tratamiento agudo (120h) y crónico (28 días). El ARTC se mezcló con agua potable en las diluciones 0.0 (testigo negativo), 5.0, 10.0, 15.0, 25.0, 50.0 y 100%; cada dilución representó un grupo experimental. Se realizaron tres repeticiones, simultáneamente, a fin de obtener datos estadísticos. Cada tratamiento se formó de un grupo testigo y seis grupos experimentales (Fig. 4).



Figura 4. Exposición del ajo (*A. sativum*) a diferentes diluciones de agua residual textil compuesta (ARTC).

Se seleccionaron 21 dientes de ajo (*Allium sativum*), frescos, del mismo tamaño y apariencia. Se colocaron en un vaso de precipitado de 50 mL debidamente etiquetados asegurándose que la zona radicular del ajo estuviera en contacto con las diluciones. (Fig. 6).

7.8 EVALUACIÓN CITOTÓXICA.

Durante cada uno de los días que duro el tratamiento agudo y crónico, en cada ajo se contabilizó el número de raíces y se midió la longitud del tallo y raíz en cm con ayuda de un Vernier (marca TRUPER) (Tablas 5 y 6)).

Al finalizar los tratamientos agudo y crónico de cada ajo, se seleccionaron 3 raíces por dilución, con ayuda de un bisturí se cortó la punta de la zona meristemática (2 cm) aproximadamente, según el protocolo de Tjio y Levan (1968). Las raíces, se fijaron en ácido acético (3:1) durante 24 horas. Posteriormente, se deshidrataron con HCL 5M y se procedió a la tinción con Aceto Orceína. Las preparaciones fueron colocadas entre porta y cubreobjeto, aplicándoles un “squash” y sellando los bordes con resina. Los cortes histológicos se observaron al microscopio óptico Carl ZEISS con objetivo de 10X para

ubicar los conglomerados de células, con objetivo 40x para realizar la identificación de las fases de las mitosis y los conteos e identificación de aberraciones cromosómicas, con objetivo 100X (inmersión). Para las fotografías se utilizó el microscopio LEICA DM 1000 LED, y la cámara Prog Res C10.

El crecimiento promedio de las raíces y del tallo, así como el número de raíces se utilizaron para determinar el potencial citotóxico del agua residual textil compuesta (ARTC) a diferentes diluciones (0.0, 5, 10, 15, 25, 50, 100%). También se evaluó el índice mitótico (IM), el índice interfásico (II) y los índices entre fases (IF) tanto del tratamiento agudo como del crónico.

En cada dilución de cada tratamiento, se contabilizaron e identificaron las distintas fases del ciclo celular en el que se encontraban 2000 células meristemáticas. Con los valores obtenidos se calculó el índice mitótico y el índice interfásico:

$$\text{Índice mitótico (IM)} = \frac{\text{No. de células en mitosis}}{\text{No. total de células}} \times 100$$

$$\text{Índice interfásico (II)} = \frac{\text{No. de células en interfase}}{\text{No. total de células}} \times 100$$

$$\text{Índice de cada fase (IF)} = \frac{\text{No. de células por fase}}{\text{No. de células en mitosis}} \times 100$$

7.9 EVALUACIÓN GENOTÓXICA

El índice de alteraciones cromosómicas se evaluó observando las alteraciones cromosómicas (anafases multipolares, roturas cromosómicas, C- metafase, adherencias, pérdidas de cromosomas y puentes cromosómicos) en las células meristemáticas de la raíz.

Las imágenes de células con alteraciones cromosómicas en las raíces de *A. sativum* se presentaron en la Figura 15.

Se sabe que las aberraciones cromosómicas son las anomalías en el conjunto de cromosomas, que pueden ser numéricas (variaciones de su número) o estructurales (modificaciones en la forma). Las aberraciones cromosómicas inducidas por el ARTC, se identificaron y analizaron durante cada una de las cuatro fases de la mitosis, en las diferentes diluciones y tratamientos.

8 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Los porcentajes promedio de los IM, II y de fases (IP, IMe, IA, IT) de *A. sativum* hallados en las diferentes diluciones de los tratamientos agudos y crónicos fueron sometidos a la prueba de Anova y Tukey mediante los softwares estadísticos R y Minitab, con una probabilidad de error del 5%.

9 RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

9.1 ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS.

Se presentan los parámetros físico-químicos (Tabla 1) más característicos de la contaminación generada por el agua residual textil en la zona de estudio en Villa Alta Tlaxcala que es vertida, puntualmente, al Río Atoyac sin ningún tratamiento previo (Fig. 5). La textilera de estudio, elabora telas de mezclilla (Proceso Denim) utiliza en la producción gran cantidad de sustancias, los desechos generados en la cadena productiva son vertidos a un tubo de cemento, que vierte los residuos al Río Atoyac (Fig. 5, foto A).



Figura 5. Agua residual textil (ART) proveniente del efluente y vertida al Río Atoyac (A, B y C); ART colectada para su análisis (D).

Hay cinco propiedades físicas básicas en las aguas residuales, que pueden ser percibidas fácilmente por los sentidos: sólidos, turbidez, color, temperatura y olor; estas características son fáciles de detectar al recolectar muestras de ART.

El efluente presenta las siguientes características organolépticas: color azul intenso (Fig. 5), vapor de agua (por la elevada temperatura del efluente) y gran cantidad de espuma blanca, que denota la presencia de tensioactivos (Rozzi *et al.*, 1999; EPA, 1996).

-La temperatura del ART fue de 28.66 ± 0.57 °C y se encuentra dentro del límite máximo permisible (LMP) por las NOMs. Sin embargo, en comparación con la temperatura del ambiente que fue de 21.33 ± 0.57 la diferencia fue de 7.33 °C, este incremento de temperatura es característico de la industria textil, no caracteriza un solo proceso en particular, ya que cuando se aplica cada colorante y reactivos, se requiere temperatura, también en el desengomado, la cantidad de calor que se destina a la materia prima está en dependencia de la sensibilidad de la enzima utilizada, de ahí que el valor final sea un promedio de todos los procesos que se llevan a cabo, particularmente en lavado y secado a continuación (Tinoco *et al.*, 2011).

-El pH del ART fue de 5.72 ± 0.20 , y se encuentra dentro de los LMP de las NOMs. Esta industria emplea sustancias tales como: hidróxido de sodio (NaOH), carbonato de sodio (Na_2CO_3), sulfato de sodio (Na_2SO_4), cloruro de sodio (NaCl), sulfato de amonio ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), bicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) y sulfato de cobre (Cu_2SO_4); sin embargo, en ciertas etapas del proceso se requieren sustancias como el ácido sulfúrico (H_2SO_4) o el ácido acético (CH_3COH) que podrían al final del proceso darle el carácter ácido. Es importante señalar que los valores cercanos al 7.0 indican un equilibrio en los procesos de teñido y lavado (Alwan, 2008).

-El pH obtenido, concuerda con lo reportado por diversos autores respecto de que las mayores eficiencias se obtienen con pH cercados a 3.0 mg/L. Esto se atribuye a los complejos de hierro que se forman en el agua son más estables a pH bajos, mientras que a $\text{pH} > 5$ presentan muy baja solubilidad y se precipita (Miralles-Cuevas *et al.*, 2014).

-Las grasas y aceites presentaron un valor de 19.0 ± 1.0 mg/L, cantidad que superó lo que establece la NOM-001 (tabla). Este tipo de material se genera durante el proceso de lavados en la industria textil y la descarga de este tipo de contaminantes hacia ríos produce afectaciones al ambiente acuático y genera condiciones ambientales desfavorables en el Río Atoyac (Inclán *et al.*, 2015).

-La medición de los sólidos disueltos totales (TDS) del ART fue de 440.33 ± 71.59 mg/L este valor rebasa el LMP de la NOM-001 y representa la cantidad de materia orgánica presente en la muestra, resultado de las impurezas de tipo natural que contiene la fibra: ceras, pectinas, enzimas y aditivos incorporados en los procesos de hilatura que al ser vertidos a los ríos los contamina porque son difícilmente biodegradables y permanecen en el medio mucho tiempo, se depositan lentamente sobre los cursos de agua. Si el depósito es importante sobreviene la asfixia de los microorganismos y la destrucción de la zona de alimentación y reproducción de los peces. Cuando estas materias son de naturaleza orgánica, se descomponen progresivamente agotando el oxígeno y generando gases tóxicos malolientes (Metcalf & Eddy, 2003).

Tabla 1. Caracterización físico química del agua residual textil (ART).

Parámetros	Descarga textil	LMP NOM-001-SEMARNAT-1996	LMP PROY NOM-001-SEMARNAT-2017	LMP *NOM AG-CC-01-2001	LMP **OMS 1996 (IPAN, 2005)
Temperatura (°C)	28.66 ±0.57	40	35	NA	NA
Grasas y aceites (mg/L)	19.0 ±1.0	15	15	10	NA
Sólidos sedimentables (ml/L)	4.23 ±0.30	1	NA	NA	NA
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	226.33 ±9.60	75	NA	250	50
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	240.33 ±2.51	250	150	50	1000
Nitrógeno Total (mg/L)	5.76 ±0.15	15	25	NA	NA
Fósforo Total (mg/L)	7.93 ±0.85	5	15	NA	NA
pH	5.72 ±0.20	NA	6.5 - 8	6 – 9	6.5 – 9.5
Sólidos disueltos totales (TDS) (mg/L)	440.33 ±71.59	40	60	50	NA
Sal (mg/L)	0.026 ±0.005	NA	NA	NA	NA
Oxígeno disuelto (mg/L)	0.11 ±0.01	NA	NA	NA	NA
Potencial Óxido Reducción (ORP) (mV).	189.13 ±51.44	NA	NA	NA	NA
Conductividad (µS/cm)	12.89 ±1.14	NA	NA	NA	1200
Dureza total (mg/L)	168.66 ±18.50	NA	NA	NA	NA
Fenol (mg/L)	2.49 ±0.02	NA	NA	0.5	NA
Turbidez (UNT)	98.66 ±0.57	NA	NA	NA	NA
Colorante índigo (mg/L)	26.3 ±3.41	NA	NA	NA	NA

*NOM AG-CC-01-2001: Norma de calidad del agua y control de descargas AG-CC-01 República Dominicana

**OMS-IPAN 2005: World Health Organization - Institute of Public Analysts of Nigeria.

***NA: NO APLICA

-Los sólidos sedimentables en la muestra de ART presentó la concentración 4.23 ± 0.30 mg/L que excede los LMP de la NOM-001. Este valor se refiere a materiales de cualquier

tamaño que no se mantienen suspendidos o disueltos e incluyen partículas grandes de materiales o moléculas insolubles que representan un riesgo para los cuerpos de agua superficiales, por el aporte de nutrientes que se derivan de la materia orgánica en descomposición o de compuestos químicos de origen antropogénico (Cervantes-Zepeda *et al.*, 2011).

El ART generada por la industria textil en Villa Alta contiene gran carga de materia orgánica biodegradable y poco oxígeno en el medio. Estos valores son importantes porque representa la estimación de la cantidad de oxígeno que requiere una población microbiana heterogénea para oxidar la materia orgánica de una muestra de agua en un periodo de 5 días, cuanto mayor sea la DBO₅, mayor es la cantidad de materia orgánica degradable y por consiguiente se presenta una disminución en la cantidad de oxígeno disuelto en el agua, indispensable para que se mantenga la vida en los ecosistemas acuáticos, tal es el caso de lo que ocurre en el río Atoyac (Pérez *et al.*, 2018-2019; Fabela *et al.*, 2006) (Tabla 1).

-La DQO es la demanda química de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica por medios químicos y convertirla en CO₂ y H₂O. La DBO₅ detecta el material orgánico degradado biológicamente o que es biodegradable, en cambio la DQO busca la oxidación completa de la muestra, de manera que todo el material orgánico, biodegradable y no biodegradable, es químicamente oxidado. En la zona de estudio el valor de la DQO fue de 240.33 ± 2.51 mg/L, al comparar con la NOM-001 que es de 250 mg/L este valor no cumple la norma. Cuanto mayor es la DQO, más contaminada está el agua. Por otro lado, el aumento de los valores de la DQO indica presencia de sustancias provenientes de descargas no municipales que contienen materia orgánica no biodegradable. Los valores reportados para la DQO son de alrededor de 240.33 mg/L y la DBO₅ es de 226.33 mg/L con relaciones de biodegradabilidad (DBO₅/DQO) inferiores a 0.15 mg/L (Cheshmeh y Safari, 2016; Naje *et al.*, 2016; Yurtsever *et al.*, 2016). Por lo tanto, su descarga al río Atoyac, sin el tratamiento adecuado, es un riesgo para la calidad de los recursos hídricos que son cada vez más escasos debido a la creciente población y demanda del agua (Sandoval-Villasana *et al.*, 2009).

-El nitrógeno total en la muestra de ART presentó un valor de 5.76 ± 0.15 mg/L. Al compararlo con la NOM-001 se encuentra de los LMP, aunque la concentración es muy baja, el nitrógeno es un contaminante presente en las aguas residuales textiles que debe ser eliminado por muchas razones: reduce el oxígeno disuelto de las aguas superficiales, es tóxico para el ecosistema acuático, significa un riesgo para la salud pública y junto al

fosforo son responsables del crecimiento desmesurado de organismos fotosintéticos (eutrofización) (USEPA, 2012; World Health Organization, 2011).

-El valor del fósforo total obtenido en el ARTC fue de 7.93 ± 0.85 y representa la suma de compuestos fosforados orgánicos e inorgánicos (fosfatos); su presencia se debe a que el fósforo es uno de los principales constituyentes de los detergentes sintéticos utilizados ampliamente en el lavado de las telas (Tabla). Al comparar el valor obtenido de fosforo de la Norma que es de 15.0 mg/L indica, que la concentración se encuentra dentro de los LMP de la NOM-001.

Los siguientes parámetros fisicoquímicos mostrados en la tabla 2: colorante, oxígeno disuelto, conductividad, salinidad, potencial óxido reducción (ORP), fenol y turbidez, no se encuentran en la NOM-001-SEMARNAT-1996 sin embargo, son característicos del ART.

-Los tintes azoicos son la familia de colorantes más importante de la industria textil (proceso Denim). Estos son compuestos biológicos heterólogos, caracterizados por la presencia de grupos -N = N-azo. En la industria textil, los tintes liberan grandes cantidades de metal. Sin embargo, persisten en el medio ambiente porque no se degradan y los métodos clásicos de eliminación son inútiles porque producen subproductos altamente tóxicos (Dos Santos *et al.*, 2007; C. O'Neill *et al.*, 1999).

En el ART se cuantificó un promedio de 26.3 ± 3.41 mg/L de colorante índigo. Las NOMs no lo contemplan, por tal motivo lo comparamos con la norma de Inglaterra y de acuerdo a esta norma la concentración el colorante excede 25.3 mg/L. los colorantes en la industria textil se consideran contaminantes persistentes debido a su origen y las estructuras complejas que presentan, resisten la exposición solar o el ataque químico, por lo que, en la mayoría de los casos, resultan también resistentes a la degradación microbiana (Dias *et al.*, 2007; Dos Santos *et al.*, 2007; Kuhad *et al.*, 2004). Adicionalmente los colorantes tienen una baja fijación sobre las telas y son recalitrantes a la acción de depuración con dichos tratamientos (Dias *et al.*, 2007) e impide el paso de la luz solar, inhibiendo el proceso de fotosíntesis, reduce el oxígeno disuelto por lo que daña severamente la vida acuática (Martin-González *et al.*, 2012). Se ha demostrado que ciertos colorantes azo pueden ser carcinogénicos y muta génicos, además de que sus productos de degradación pueden resultar más tóxicos y no son biodegradables y en consecuencia son descargados a canales y ríos, permaneciendo en el ambiente (Gavril y Hodson, 2007; Ramsay y Nguyen, 2002; Brown y De Vito, 1993).

-La cantidad de oxígeno disuelto en el ARTC fue de 0.11 ± 0.01 mg/L, este parámetro no se contempla en la NOM-001. A continuación, el OD es una estimación de las materias oxidables presentes en el agua y es función de sus proporciones respectivas, de las posibilidades de oxidación y de la temperatura. El ART se caracteriza por la disminución del OD, la eutrofización, la formación de compuestos recalcitrantes y tóxicos para la célula y la obstaculización del paso de la luz a los cuerpos de agua y su consecuente deterioro estético (Zollinger, 2001; Herbst, 1997). Los valores de OD del efluente, sugieren que esta industria produce una gran cantidad de sustancias orgánicas e inorgánicas que son desechos que demandan gran cantidad de oxígeno.

-La conductividad eléctrica (CE) en el ART fue de 12.89 ± 1.14 μ S/cm, este parámetro no se contempla en la NOM-001. La CE es una medida de la capacidad del agua para conducir corriente eléctrica, y varía dependiendo de la cantidad de TDS, esto debido principalmente a las sales minerales, por lo que se considera una medida indirecta de estos (Corwin y Yemoto, 2017).

-La turbidez se debe a la pérdida de transparencia del agua por las partículas en suspensión. El valor de la turbidez en el ART fue de 98.66 ± 0.57 (UNT). La medición de la turbidez está íntimamente ligada a la cantidad de materia sólida presente en el ARTC y que fue de 440.33 ± 71.59 mg/L, valor que exceden la NOM-001. Entre más sólidos disueltos hay en el medio más alta será la turbidez y menor calidad tendrá el agua. La turbidez afecta a los ecosistemas acuáticos al dispersar la luz solar y reducir la concentración de oxígeno. Afecta la fotosíntesis, la respiración y reproducción, es un valor utilizado ampliamente como indicador de la calidad del agua (Zollinger, 2001).

-El potencial redox (ORP) es una medida de la actividad de los electrones y su valor en el ARTC fue de 189.13 ± 51.44 (mV), este parámetro no se contempla en la NOM-001. El ORP representa la concentración de cloro libre a una temperatura de 28.66 ± 0.57 y un pH de 5.72 ± 0.20 en la muestra de ART. Este parámetro es similar al pH dado que el pH puede medir la actividad de los protones, mientras que el potencial redox puede medir los electrones. La OMS adoptó un valor de 650 mV en 1971 como valor apropiado para desinfectar el agua potable.

-Distintos tipos de fenoles se emplean en varios procesos textiles, generalmente son utilizados en el proceso de teñido y acabados funcionales (Montenegro, 2010). El valor obtenido del fenol en el ART el valor obtenido fue de 2.49 ± 0.02 mg/L. El fenol se utiliza

como auxiliar en el proceso de teñido, para mejorar la adsorción de los tintes en los tejidos. Uno de los mayores problemas de la industria textil está relacionado con los tensioactivos, emulsionantes y dispersantes que contienen fenol. Los tensioactivos se utilizan ampliamente para mejorar la solubilidad y la dispersabilidad de los productos químicos en agua, y para mejorar la penetración de productos químicos y tintes (Jiménez *et al.*, 2010). Los resultados han demostrado que el agua residual resultante se encuentra muy contaminada por la presencia de colorantes, sales inorgánicas y distintos compuestos químicos empleados en el proceso productivo; los cuales se consideran compuestos xenobióticos recalcitrantes a los procesos biodegradadores (Cheshmeh y Safari 2016; Naje *et al.*, 2016; Yurtsever *et al.*, 2016; Buscio *et al.*, 2015; World Bank Group, 2011).

9.2 METALES PESADOS, METALOIDES, NO METALES Y CIANURO EN EL ART.

En el ART están presentes concentraciones significativas de metales pesados tales como: cromo, plomo, níquel, cobre, cadmio, entre otros. Durante el proceso de fabricación de la fibra natural el agua residual textil también puede contener pesticidas y contaminantes microbiológicos como bacterias, hongos y otros patógenos (World Bank Group, 2011). Muchos de los metales que se generan durante el proceso de teñido, uno de los metales más comunes en los colorantes es el cobre, este elemento es conocido por sus efectos negativos en cultivos vegetales y microorganismos lo cual trae como consecuencia una disminución de la fertilidad del suelo. Los metales tienen una baja solubilidad en agua por lo que su concentración depende del pH, ORP, contenido de materia orgánica y cantidad de metal presente (Bae *et al.*, 2006).

El aluminio, el boro y el bromo, son metales que se encuentran en el ART sus concentraciones fueron respectivamente: 0.34 ± 0.0083 mg/L, 1.53 ± 0.049 mg/L, 2.54 ± 0.030 mg/L (Tabla), estos metales no se contemplan en la NOM-001, participan todos ellos en el proceso de teñido y lavado de la tela o como estabilizadores de colorantes en el acabado de los tejidos (Fernández y Herrero, 2000). Altas concentraciones de aluminio pueden inhibir la función respiratoria, acumularse en los peces y también afectar la absorción de nutrientes necesarios para su crecimiento (World Health Organization, 1998).

-En la tabla 2 están los metales pesados identificados en el ART. El níquel, plomo y cadmio presentan concentraciones significativas respectivamente 4.19 ± 0.058 mg/L, 3.3 ± 0.30 mg/L, 0.354 ± 0.005 mg/L, estos valores rebasaron los LMP de la NOM-001. El cobre 2.83

± 0.05 mg/L y cromo 0.77 ± 0.03 mg/L se encuentran dentro de los LMP establecidos por la NOM-001.

-El aluminio es un metal de buena conductividad eléctrica y resistente a la oxidación, nunca se ha encontrado en la naturaleza de forma libre, el aluminio se extrae principalmente de la bauxita. La norma mexicana no considera el uso de este metal, pero su valor excede el MPL de la EPA, que es de 0.8 mg / L. Se cree que este metal no es esencial para las especies acuáticas, pero altas concentraciones de metal pueden regular iones (como la sal), inhibir la función respiratoria, acumularse en los peces y también afectar la absorción de nutrientes necesarios para su crecimiento (WHO, 1998).

El valor del aluminio en el ART fue de 0.34 ± 0.0083 mg/L, su presencia se debe a los procesos de lavado de la tela para eliminar el excedente de colorante mediante el proceso de coagulación-floculación se basa en la adición de agentes floculantes inorgánicos (sales de hierro o aluminio), que forman flóculos con las moléculas de colorante facilitando su eliminación por sedimentación (Mishra, 1993). Este proceso es eficiente, pero genera lodos que deben ser eliminados.

Tabla 2. Cuantificación de metales, metaloide y cianuro en el ART.

Metales pesados y Cianuros (mg/L)	Concentración (mg/L)	Tipo de Elemento	LMP NOM-001-SEMARNAT-1996	LMP PROY-NOM-001-SEMARNAT-2017	LMP *EPA 1986	LMP **GB 8978 - 1996	LMP ***OMS (IPAN, 2005)
Aluminio (Al)	0.34 ± 0.0083	Metal	NA	NA	0.8	NA	0.2
Arsénico (As)	0.059 ± 0.001	Metal	0.1	0.2	0.05	0.5	NA
Boro (B)	1.53 ± 0.049	Metaloide	NA	NA	0.2	NA	NA
Bromo (Br)	2.54 ± 0.030	No metal	NA	NA	0.014-0.2	NA	NA
Cadmio (Cd)	0.354 ± 0.005	Metal	0.1	0.2	0.01	0.1	0.003
Cianuro (CN)	0.13 ± 0.003	anión monovalente	2	1	<2.0	NA	0.07
Cobre (Cu)	2.83 ± 0.05	Metal pesado	4	4	0.2	NA	2.0
Cromo (Cr)	0.77 ± 0.03	Metal pesado	0.5	1	<3.0	1.5	0.05
Níquel (Ni)	4.19 ± 0.58	Metal pesado	2	2	NA	1	0.2
Plomo (Pb)	3.3 ± 0.30	Metal pesado	0.2	0.2	0.0015	1	0.01

*EPA 1986: Environmental Protection Agency, 1986, Maximum contaminant levels. U.S. Code of Federal Regulations.

** NOM GB 8978 -1996: China Water Risk WATER UNIVERSE National Standard of the People's Republic of China Integrated Wastewater Discharge Standard GB 8978 -1996

*** OMS-IPAN 2005: World Health Organization - Institute of Public Analysts of Nigeria.

**** NA: NO APLICA

-El arsénico es un metaloide sólido, que forma compuestos venenosos. El arsénico inorgánico presenta un alto grado de toxicidad causa efectos agudos y crónicos en

individuos, poblaciones y comunidades, provoca letalidad, inhibición del crecimiento, de la fotosíntesis y de la reproducción (Howe *et al.*, 2001). El valor del arsénico en el ART fue de 0.059 ± 0.001 mg/L, este valor rebasa los LMP de la NOM-001 y las normas internacionales GB8978-1996 china wáter Risk water universe, OMS-IPAN 2005 (Tabla 2).

Ningún organismo puede tolerar el arsénico, por lo que el agua debe estar libre de este metal. La exposición prolongada al arsénico a través del consumo de agua y alimentos contaminados puede provocar cáncer y daños en la piel. Así como enfermedades cardiovasculares, neurotoxicidad y diabetes. El arsénico puede causar anomalías cromosómicas, aneuploidía y formación de micronúcleos (Howe *et al.*, 2001).

-El bromo es un metal líquido, volátil, de color rojo intenso, puede emitir vapores tóxicos con un olor muy desagradable, y es de naturaleza muy rica, existe en forma de bromuro en agua y se puede utilizar para preparar ciertos tintes. El bromo presento un valor de 2.54 ± 0.030 mg/L su concentración es muy alta y rebasa los LMP de la EPA 0.014-0.2 mg/L, este metal no está contemplado en la NOM-001. El bromo es usado como un producto intermediario que se usa en la industria textil como agente blanqueador durante el proceso de lavado y para que no se encoja la lana. El bromo causa daños en la salud ambiental y humana altera el ADN lo que puede aumentar las posibilidades de desarrollar algún tipo de cáncer.

-El boro es un elemento metaloide, semiconductor y su concentración en el ART fue de 1.53 ± 0.049 , no se contempla en las NOMs, sin embargo, rebasa los LMP de la EPA que indica valores de 0.2 mg/L. Se emplea en la industria textil en forma de ácido bórico como estabilizador de colorantes y en el acabado de los tejidos (Fernández y Herrero, 2000).

-La concentración de cadmio fue de 0.354 ± 0.005 mg/L cantidad que supera el LMP de la NOM-001 0.2 mg/L y de la EPA 0.01 mg/L. El cadmio se genera durante el proceso de teñido y garantiza un mejor rendimiento como colorante textil para una mejor fijación del colorante en la tela. El cadmio es un elemento tóxico no esencial por todos los organismos para realizar las funciones vitales (Fernández y Olalla, 2000).

-El cianuro es una sustancia química altamente reactiva y tóxica. Las personas expuestas a pequeñas cantidades de cianuro pueden presentar los siguientes síntomas: respiración rápida, agitación, mareo, debilidad, dolor de cabeza, náusea y vómito e incremento del ritmo cardíaco estos síntomas son los mismos que se detectan cuando se tomaron las muestras del ART en la zona de estudio (Wild *et al.*, 1994).

La concentración de cianuro fue de 0.13 ± 0.003 cantidad que no rebasa la NOM-001 1996-PROY-NOM-2017, contempla que el valor del cianuro en aguas residuales debe ser menor a 2 mg/L mientras que para la OMS (2005) sobrepasa los LMP 0.07 mg/L.

-El cobre es uno de los metales más comunes en los colorantes, este elemento es conocido por sus efectos negativos en cultivos vegetales y microorganismos, Su concentración en el ARTC fue de 2.83 ± 0.05 mg/L y se encuentra dentro de los LMP por la NOM-001 que es de 4.0 mg/L, sin embargo, rebasa los límites de la EPA 0.2 mg/L. Es importante señalar que este metal es dañino para la salud humana ya que puede ocasionar daños en los riñones e hígado, así como problemas en el tracto respiratorio (Xue-Song, 2009).

-La presencia de cromo en el colorante es indispensable, porque le otorga un mayor rendimiento a la pigmentación por lo cual, es esencial para su rendimiento como colorante textil (Bae *et al.*, 2005). El contenido de cromo en el ARTC fue de 0.77 ± 0.03 mg/L y se encuentra dentro de los LMP de la NOM-001 y EPA.

-La concentración de níquel en el ART fue de 4.19 ± 0.58 mg/L, supera la cantidad permitida por la NOM-001 que es de 2.0 mg/L. Este metal participa en el proceso de tinción. Es esencial en dosis bajas para el crecimiento de muchas especies (Bhalerao *et al.*, 2015)), sin embargo, en concentraciones elevadas en los ecosistemas terrestres y acuáticos, provoca inhibición en el crecimiento normal de las plantas (Bhalerao *et al.*, 2015) (Tabla 2).

-El plomo se encontró presente en el agua residual textil, con un valor de 3.3 ± 0.30 mg/L y rebasa los LMP de las NOMs y las internacionales. El plomo es conocido como un compuesto que puede alterar el ADN incrementando la síntesis de ADN, ARN y de proteínas y da por resultado una replicación descontrolada de las células. Las aguas residuales que son vertidas a cuerpos de agua contienen cantidades considerables de plomo que afectan el fitoplancton y los organismos acuáticos, además este metal es capaz de bioacumularse en los individuos (Besser *et al.*, 2009; Rodríguez *et al.*, 2006).

Los metales pesados suelen tener una solubilidad muy baja en agua, por lo que la concentración de metales en el agua depende de parámetros como el pH, el potencial redox, el contenido orgánico y el contenido de metales. Para los tintes que contienen metales como componentes moleculares, el contenido de metal es fundamental para su desempeño como tintes textiles (Bae *et al.*, 2005).

9.3 ANÁLISIS DE COMPUESTOS ORGÁNICOS EN EL AGUA RESIDUAL TEXTIL.

9.3.1 COMPUESTOS ORGÁNICOS NO VOLÁTILES.

En la tabla 3 se presentan las concentraciones CONV analizados en las muestras de ART. A continuación podemos observar que los niveles de benceno, tolueno, etilbenceno y xileno, exceden los LMP establecidos por la NOM138 SEMARNAT/SSA1 2012. Son catalogados como compuestos orgánicos que presentan propiedades toxicas, su fácil dispersión en el ambiente y alta solubilidad en agua, presentan altos riesgos de contaminar cuerpos de agua subterránea (Anneser *et al.*, 2008).

-El valor del benceno fue de 35 mg/kg, que rebaso los LMP en la NOM138 SEMARNAT/SSA1 2012. Chen *et al.*, (2008) sugieren que el benceno es ligeramente mutagénico, causante de roturas cromosómicas y tiene la capacidad de interferir en la correcta distribución de los cromosomas al momento de la división celular. Investigaciones realizadas por Rank y Nielsen (1994) demostraron que produce alteraciones cromosómicas en las células meristemáticas de *Allium cepa* y coinciden con lo observado por Green (1978) en trabajadores expuestos a bajos niveles de benceno. Estos resultados coinciden con el efecto que produce el ART en ajo (*Allium sativum*) en este trabajo.

-El tolueno está catalogado como neurotóxico y teratogénico, es capaz de causar neumonitis, arritmias y taquicardia Tormoehlen *et al.*, 2014. El LMP que establece la NOM138 SEMARNAT/SSA1 2012 es de 100 mg/kg.

-La concentración del etilbenceno sobrepaso los LMP de la NOM138 SEMARNAT/SSA1 2012 al respecto Henderson *et al.*, (2007), demostraron que el etilbenceno no representa riesgo genotóxico en los organismos, no es capaz de inducir conversión génica, ni intercambios de cromátidas hermanas, sin embargo, una exposición prolongada a este compuesto tiene efectos nocivos en las vías respiratorias y los riñones (ATSDR, 2014).

-El xileno, presentó valores de 103 mg/kg y rebaso lo establecido por la NOM138 SEMARNAT/SSA1 2012, la inhalación de este compuesto de manera constante es capaz de producir efectos nocivos en el sistema nervioso, hígado y riñones (ATSDR, 2007). Mazzeo *et al.*, (2011) demostraron que una mezcla del benceno, tolueno, etilbenceno y xileno es capaz de actuar en sinergia e inducir aberraciones cromosómicas en las células meristemáticas de *A. cepa*, resultados similares se observaron en el presente estudio (Fig. 15).

-El análisis del benzo (a) pireno, fue de 13 mg/kg y excede la norma NOM138 SEMARNAT/SSA1 2012. Cabaravdic (2010) demostró que este induce aberraciones cromosómicas en *A. cepa* y tiene efecto adverso en la proliferación celular al disminuir su índice mitótico (Tabla 10). Cuando hay una mezcla compleja de hidrocarburos resultado del monitoreo de gantes químicos ambientales como es el caso de la presente investigación (tablas 1, 2, 3 y 5), pueden presentarse cambios estructurales en los cromosomas y en las cromátidas, llamadas aberraciones cromosómicas (AC) (rupturas de cromosomas, cromosomas pegajosos) entre otros (Rehma *et al.*, 2008). En la presente investigación se encontró una situación similar, presencia de metales pesados, cianuros e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) en el ART, que son capaces de inducir alteraciones cromosómicas y alteraciones en el ciclo celular.

-Los valores obtenidos para el dibenzo (a, h) antraceno (20 mg/kg), benzo (a)-antraceno (19 mg/kg), benzo (a)-fluoranteno (13 mg/kg), benzo (k) fluoranteno (98 mg/kg) e indeno (1,2,3-cd)-pireno (15 mg/kg) rebasaron lo permitido por la NOM138 SEMARNAT/SSA1 2012 (Ver tabla 4). Odutayo *et al.*, (2016), evaluaron los efectos del agua residual de una fábrica de dulces y estudió los efectos en *A. cepa* y *Zea mays* y encontrando efectos negativos en el crecimiento de la raíz en ambas plantas. Estos resultados coinciden con los obtenidos en la presente investigación donde el agua residual textil inhibió el ciclo celular de *A. sativum*. Todos los compuestos orgánicos no volátiles, sobrepasaron los LMP de la NOM138 SEMARNAT/SSA1 2012.

Tabla 3. Determinación de compuestos orgánicos no volátiles en el ART.

Compuesto Orgánico	Zona descarga (mg/kg)	LMP NOM138 SEMARNAT/SSA1 2012 (mg/kg)*
Benceno	35	15
Tolueno	150	100
Etilbenceno	27	25
Xileno (suma de isómeros)	103	100
Benzo (a) pireno	13	10
Dibenzo (a, h) antraceno	20	10
Benzo (a) antraceno	19	10
Benzo (a) fluoranteno	13	10
Benzo (k) fluoranteno	98	80
Indeno (1,2,3-cd) pireno	15	10

*Análisis realizados según la NOM138 SEMARNAT/SSA1 2012 de hidrocarburos en suelos.

9.4 COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES EN EL AGUA RESIDUAL TEXTIL.

Está bien establecido que la contaminación reduce la calidad de vida en varios aspectos. La mayoría de las aguas residuales industriales pueden caracterizarse como mezclas extremadamente complejas que contienen numerosos compuestos inorgánicos y orgánicos. Por consiguiente, la complejidad hace que sea casi imposible llevar a cabo una evaluación de riesgos basada en análisis químicos únicamente.

En la tabla 4 se presentan el listado de compuestos orgánicos volátiles identificados en el ART.

-El cloruro de vinilo presentó una concentración de 0.41 µg/L y rebasó lo permitido por NMX-AA-103SCFI-2006 que es de 0.04 µg/L. Wang *et al.*, 2011, realizaron un estudio en trabajadores expuestos al cloruro de vinilo (VCM), e identificó daño cromosómico en linfocitos de sangre periférica. Maltoni *et al.*, (1981), demostraron la carcinogénesis en ratas expuestas a inhalación en concentraciones de 2.6 hasta 7.6687 mg/m³.

-Para el diclorobenceno su concentración fue de 0.33 µg/L y sobrepasó la norma que es de 0.04 µg/L. Es utilizado en la industria como un intermediario en la síntesis de colorantes y desengrasantes. Para conocer la mutagenicidad de este compuesto, Andersen *et al.*, (1972) realizaron experimentos en cepas de *Salmonella* como sistema de evaluación para detectar mutágenos que causan sustituciones de bases, deleciones o adiciones, pero no detectan mutaciones que causen transformaciones del ADN o alteraciones genéticas y demostraron nula mutagenicidad del compuesto.

-El compuesto 1, 2 dicloroetano obtuvo un resultado de 0.30 µg/L, este valor rebasa los LMP por la NOM que es de 0.02 µg/L. Algunos autores como Nestmann *et al.*, (1980) y Stolzenberg y Hine, (1980), demostraron que una exposición a este compuesto por periodos prolongados a una cantidad promedio de 3 mg es capaz de causar mutaciones en *Salmonella*.

-El 1, 1 dicloroetileno tuvo un resultado de 0.23 µg/L y rebasa los LMP de la NOM que indica 0.03 µg/L. El 1, 1 dicloroetileno no causa daño a las células, sin embargo, en dosis orales en ratas superiores a los 100 mg/kg, es capaz de causar toxicidad al hígado (Jenkins *et al.*, 1972).

-El compuesto hexaclorobutadieno obtuvo de resultado 0.13 µg/L y rebasa los LMP de la NOM que indica 0.010 µg/L. Este compuesto es persistente, se bioacumula y es tóxico

para los organismos acuáticos y aves siempre y cuando se encuentre en contacto prolongado a dosis de 0.2mg/kg (UNEP, 2012).

Tabla 4. Determinación de compuestos orgánicos volátiles en el ART.

Compuesto Orgánico	Concentración LPC (µg/L)	LMP NMX-AA-103SCFI-2006* LPC (µg/L)
Benceno	0.58	0.03
Clorobenceno	0.37	0.03
Cloroformo	0.98	0.04
Cloruro de vinilo	0.41	0.04
1,4 diclorobenceno	0.33	0.04
1,2 dicloroetano	0.30	0.02
1,1 dicloroetileno	0.23	0.03
Hexaclorobenceno	NS	NS
Hexaclorobutadieno	0.13	0.010
Metil etil cetona	NS	NS
Piridina	NS	NS
Tetracloroetileno	0.13	0.05
Tetracloruro de carbono	0.73	0.02
Tricloroetileno	0.70	0.02

***Análisis realizados según la NMX-AA-103SCFI-2006 residuos-determinación de compuestos orgánicos volátiles por cromatografía de gases acoplado a un espectrofotómetro de masas en productos de extracción de constituyentes tóxicos (PECT) método prueba.**

-El tetracloroetileno presentó un resultado de 0.13 µg/L y su valor rebaso la NOM que es de 0.05 µg/L. Este compuesto tiene efectos en el humano tales como mareos, anomalías hepáticas y renales, sea inhalado o ingerido, sin embargo, la ATSDR (2014) menciona que hay pocos estudios que demuestren que el tetracloroetileno sea carcinogénico. En la impresión se utilizan altas concentraciones de compuestos orgánicos volátiles (COV) mismas que podemos observar en la tabla 4.

Los componentes del agua residual generada en esta etapa están constituidos por pigmentos (partículas insolubles) o bien colorantes, resinas y antiespumantes que se utilizan para darle solidez al color y solventes que se emplean únicamente en los pigmentos. El peligro de los contaminantes radica en el hecho de que pueden ser mutagénicos o tóxicos y provocan varias afecciones humanas como cáncer, enfermedades cardiovasculares y envejecimiento prematuro (Grover y Kaur, 1999) este tipo de estudios son muy limitados.

Los compuestos orgánicos volátiles que se presentan son sustancias peligrosas ampliamente conocidas que participan en varios procesos de acabado y secado en el sector textil y conducen a la formación de emisiones de compuestos orgánicos volátiles. Las

sustancias volátiles para la industria textil incluyen: disolventes de pintura, adhesivos sin base acuosa, removedores de pintura, y pintura en aerosol. Algunos de los compuestos químicos serán retenidos por la fibra, y luego se evaporarán en el aire en forma de compuestos orgánicos volátiles. Cabe señalar que: aldehídos (formaldehído, acetaldehído), ácido acético, amoníaco y sus derivados., metil naftaleno, hexano, estireno, clorobenceno, clorometilbenceno, p-diclorobenceno, o-diclorobenceno, triclorobenceno, acetato de etilo, percloroetileno, metil toluensulfonato, acrilato, butirato, diisocianato de metilo, acrilato, bifenilo, clorofluorocarbono, son carcinogénicos (Huff & Infante, 2011; Robertson & Ludewig, 2011; Morales, 1997; Murata *et al.*, 1997).

9.5 CITOTOXICIDAD Y GENOTOXICIDAD AGUDA Y CRÓNICA DE *A. sativum* EN ARTC.

En las tablas 5 y 6, detallan los valores de los tratamientos agudo y crónico de la longitud de la raíz y tallo y del número de raíces cada 24 horas y 7 días respectivamente. El análisis de los resultados de las medias y su desviación estándar en tratamiento agudo y crónico se presenta en las tablas 7 y 8.

Tabla 7. Medias \pm DS de la longitud de raíz y tallo y número de raíces de *A. sativum* en tratamiento agudo.

D %	M \pm DS** No. raíces	Prueba Tukey*	M \pm DS** Long. raíz (cm)	Prueba Tukey*	M \pm DS** Long. Tallo (cm)	Prueba Tukey*
T	11.0 \pm 1.0	D	3.63 \pm 0.15	A	5.80 \pm 0.10	A
5	21.0 \pm 1.0	B	3.33 \pm 0.49	A	2.60 \pm 0.36	B
10	24.66 \pm 1.52	A	3.33 \pm 0.05	A	2.60 \pm 0.10	B
15	9.33 \pm 0.57	D	1.60 \pm 0.10	B	1.06 \pm 0.05	D
25	5.66 \pm 1.15	E	1.60 \pm 0.0	B	1.56 \pm 0.05	C
50	16.33 \pm 0.57	C	1.83 \pm 0.05	B	0.23 \pm 0.05	E

*Prueba de Tukey ≤ 0.05 , diluciones que no comparten la misma letra son significativamente diferentes.

** Medias y desviación estándar (DS) de longitud de raíz y tallo y numero de raíces de *A. sativum*.

Tabla 8. Medias \pm DS de la longitud de raíz y tallo y número de raíces de *A. sativum* en tratamiento crónico.

D %	M \pm DS** No. raíces	Prueba Tukey*	M \pm DS** Long. Raíces (cm)	Prueba Tukey*	M \pm DS** Long. Tallo (cm)	Prueba Tukey*
T	18.0 \pm 3.60	A	19.83 \pm 1.72	A	33.33 \pm 6.11	A
5	24.0 \pm 4.0	A	11.66 \pm 3.11	AB	14.93 \pm 14.95	AB
10	32.66 \pm 7.57	A	12.76 \pm 3.13	AB	8.0 \pm 7.63	B
15	17.0 \pm 9.53	A	12.50 \pm 5.89	AB	4.3 \pm 5.19	B
25	10.33 \pm 12.34	A	7.90 \pm 7.61	AB	3.40 \pm 5.04	B
50	14.66 \pm 13.65	A	4.66 \pm 2.10	B	0.66 \pm 1.15	B

*Prueba de Tukey ≤ 0.05 , diluciones que no comparten la misma letra son significativamente diferentes.

** Medias y desviación estándar (DS) de longitud de raíz y tallo y numero de raíces de *A. sativum*.

Tabla 5. Numero de raíces, su longitud y la del tallo de *A. sativum* expuestas al ARTC, en tratamiento agudo.

Con %	No. de raíces en 120 horas de exposición					Longitud de raíces en 120 horas de exposición (cm)					Longitud del tallo en 120 horas de exposición (cm)				
	24	48	72	96	120	24	48	72	96	120	24	48	72	96	120
T	4.33 ±0.57	8.33 ±0.57	9.66 ±0.57	10.33 ±0.57	11.0 ±1.0	0.66 ±0.11	0.73 ±0.15	1.33 ±0.15	2.23 ±0.05	3.63 ±0.15	0.76± 0.05	0.86 ±0.05	1.83 ±0.05	3.50 ±0.10	5.80 ±0.10
5	9.33 ±0.57	16.66 ±1.52	22.0 ±2.0	22.66 ±2.08	21.0 ±1.0	1.36 ±0.25	1.46 ±0.32	2.13 ±0.30	3.03 ±0.25	3.33 ±0.49	0	0.36 ±0.05	1.26 ±0.11	1.80 ±0.36	2.60 ±0.36
10	7.66 ±2.08	10.66 ±1.15	15.0 ±1.73	22.0 ±2.0	24.66 ±1.52	0.63 ±0.05	1.00 ±0.0	1.40 ±0.10	1.80 ±0.10	3.33 ±0.05	0	0.30 ±0.0	1.06 ±0.05	2.40 ±0.26	2.60 ±0.10
15	2.66 ±0.57	5.33 ±0.57	6.33 ±0.57	8.33 ±0.57	9.33 ±0.57	0.20 ±0.0	0.30 ±0.0	0.43 ±0.05	0.83 ±0.11	1.60 ±0.10	0	0	0.20 ±0.0	0.70 ±0.17	1.06 ±0.05
25	3.0 ±0.0	4.66 ±0.57	5.33 ±0.57	6.33 ±0.57	5.66 ±1.15	0.20 ±0.0	0.36 ±0.05	0.70 ±0.0	0.60 ±0.10	1.60 ±0.0	0	0.30 ±0.0	0.56 ±0.05	1.0 ±0.0	1.56 ±0.05
50	8 ±6.92	13.33 ±1.15	16 ±1.73	17.0 ±0.0	16.33 ±0.57	0.80 ±0.17	1.10 ±0.17	1.60 ±0.34	1.86 ±0.05	1.83 ±0.05	0	0	0	0.26 ±0.05	0.23 ±0.05
100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 6. Numero de raíces, su longitud y la del tallo de *A. sativum* expuestas al ARTC, en tratamiento crónico.

Con %	No. de raíces en 28 días de exposición.				Longitud de raíces en 28 días de exposición (cm)				Longitud del tallo en 28 días de exposición (cm)			
	7	14	21	28	7	14	21	28	7	14	21	28
T	14.33 ±4.50	14.33 ±3.78	17 ±4.0	18 ±3.60	13.53 ±2.04	15.56 ±1.36	17.70 ±0.36	19.83 ±1.72	24.43 ±11.17	26.66 ±10.06	30.33 ± 7.50	33.33 ±6.11
5	17.33 ±4.16	20.66 ±4.61	23.33 ±4.16	24.0 ±4.0	7.0 ±3.5	8.36 ±3.36	10.90 ±3.19	11.66 ±3.11	7.50 ±5.71	9.73 ±7.89	13.46 ±13	14.93 ±14.95
10	26.66 ±6.50	29 ±6.55	32.0 ±7.2	32.66 ±7.57	7.16 ±1.79	9.33 ±2.04	11.93 ±2.54	12.76 ±3.13	3.06 ±1.78	5.16 ±4.62	6.76 ±6.20	8.0 ±7.63
15	12.33 ±8.38	14.66 ±8.9	16.0 ±9.53	17.0 ±9.53	8.66 ±1.35	9.96 ±2.55	11.43 ±4.33	12.50 ±5.89	2.70 ±3.15	3.10 ±3.65	3.86 ±4.62	4.3 ±5.19
25	9.0 ±11.53	9.66 ±11.93	10.33 ±12.34	10.33 ±12.34	5.16 ±4.64	6.20 ±5.84	7.53 ±7.35	7.90 ±7.61	2.60 ±2.19	2.46 ±3.44	3.06 ±4.47	3.40 ±5.04
50	13.33 ±12.58	17.0 ±17.52	14.0 ±12.76	14.66 ±13.65	4.03 ±1.89	4.43 ±2.05	4.63 ±2.05	4.66 ±2.10	0.66 ±1.15	0.66 ±1.15	0.66 ±1.15	0.66 ±1.15
100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Los valores promedio \pm DS, del número de raíces su longitud y la longitud del tallo, se midió cada 24 horas, durante 120 horas (tratamiento agudo), mientras que en tratamiento crónico (28 días) fue cada 7 días en las diluciones de ARTC (5, 10, 15, 25, 50 y 100%) (Tablas 5, 6, 7, 8, 9 y figuras 6, 7, 8, 9)

En los tratamientos agudo y crónico el promedio de raíces de *A. sativum* a las 120 horas y 28 días en las diluciones (5,10, y 50%) se incrementó (21.0 ± 1.0 , 24.66 ± 1.52 y 16.33 ± 0.57) y (24.0 ± 4.0 , 32.66 ± 7.57 , 17.0 ± 9.53 , 10.33 ± 12.34 , 14.66 ± 13.65) respectivamente y fueron mayores que el grupo testigo (11.0 ± 1.0) y (18 ± 3.60). y sus diferencias son significativas en tratamiento agudo, no así, en crónico.

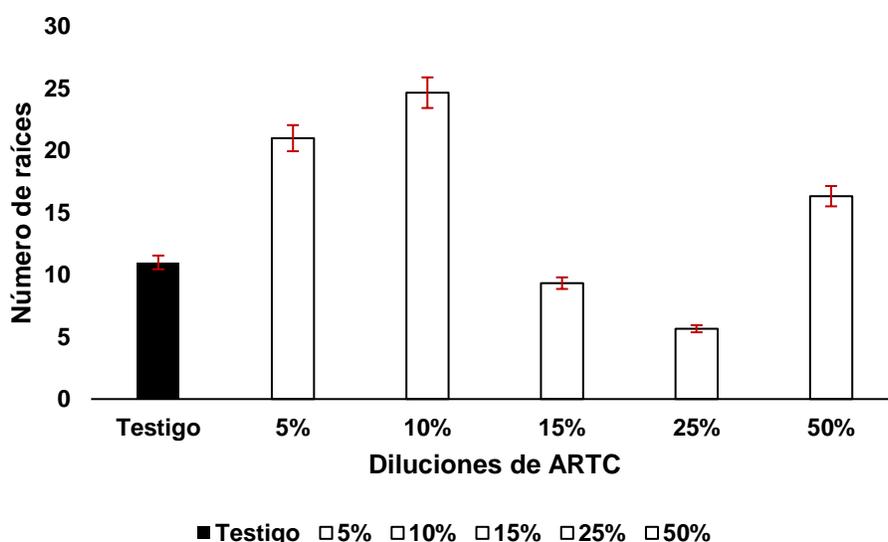


Figura 6. Efecto de la exposición de *A. sativum* a diferentes diluciones de ARTC sobre el número de raíces en tratamiento agudo.

En las diluciones (15 y 25%) fueron menor (9.33 ± 0.57 , 5.66 ± 1.15) y (17.0 ± 9.53 y 10.33 ± 12.34) respectivamente en relación al grupo testigo. En la dilución del 100% no hay raíces lo que se observó, fueron brotes y estos aparecieron a las 48 horas de iniciado el experimento, y sus diferencias son significativas en tratamiento agudo, no así, en crónico.

El crecimiento de las raíces y el tallo en el tratamiento agudo en todas las diluciones (5, 10,15, 25 y 50%) fueron menores respectivamente (3.33 ± 0.49 , 3.33 ± 0.05 , 1.60 ± 0.10 , 1.83 ± 0.05) y (2.60 ± 0.36 , 2.60 ± 0.10 , 1.06 ± 0.05 , 1.56 ± 0.05 , 0.23 ± 0.05) que sus correspondientes grupos testigo (3.63 ± 0.15 y 5.80 ± 0.10) y las diferencias fueron significativas.

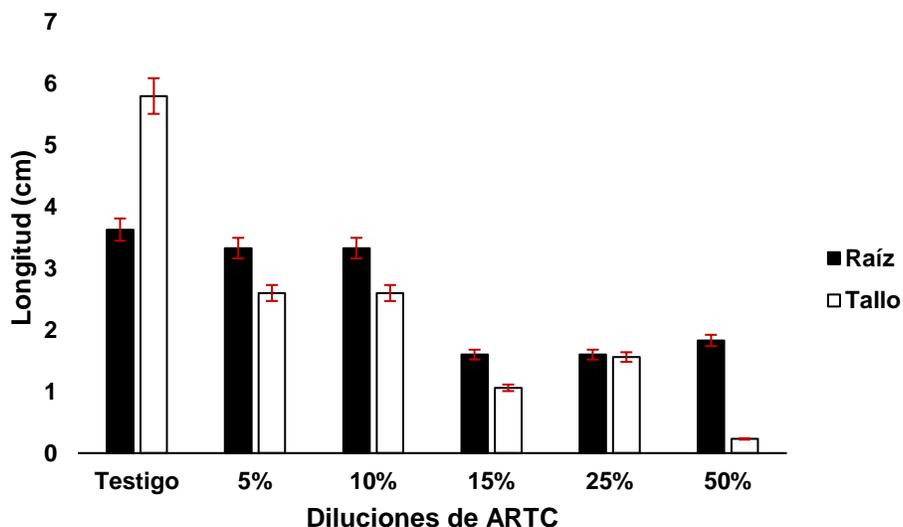


Figura 7. Efecto de la exposición de *A. sativum* a diferentes diluciones de ARTC sobre la longitud de la raíz y tallo en tratamiento agudo.

En el tratamiento crónico hubo la misma tendencia que el agudo en todas las diluciones (5, 10, 15, 25 y 50%) fueron menores respectivamente (11.66 ± 3.11 , 12.76 ± 3.13 , 12.50 ± 5.89 , 7.90 ± 7.61 y 4.66 ± 2.10) y (14.93 ± 14.95 , 8.0 ± 7.63 , 4.3 ± 5.19 , 3.40 ± 5.04 y 0.66 ± 1.15) que sus correspondientes grupos testigo (19.83 ± 1.72 y 33.33 ± 6.11) y las diferencias fueron significativas.

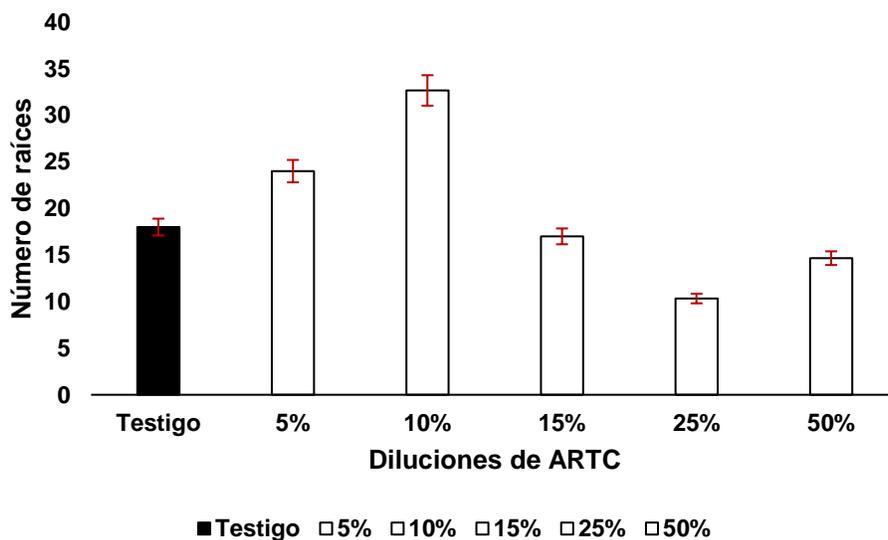


Figura 8. Efecto de la exposición de *A. sativum* a diferentes diluciones de ARTC sobre el número de raíces en tratamiento crónico.

El tratamiento crónico tuvo la misma tendencia que el agudo en todas las diluciones (5, 10, 15, 25, 50%) fueron menores respectivamente (11.66 ± 3.11 , 12.76 ± 3.13 , 12.50 ± 5.89 , 7.90 ± 7.61 , 4.66 ± 2.10) (14.93 ± 14.95 , 8.0 ± 7.63 , 4.3 ± 5.19 , 3.40 ± 5.04 , 0.66 ± 1.15) que sus correspondientes grupo testigo (4.66 ± 2.10 y 33.33 ± 6.11) y las diferencias fueron significativas.

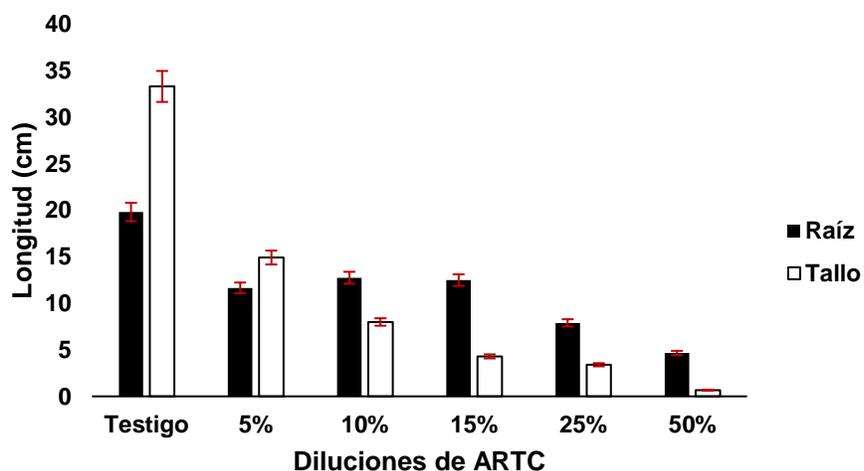


Figura 9. Efecto de la exposición de *A. sativum* a diferentes diluciones de ARTC sobre la longitud de la raíz y tallo al finalizar el tratamiento crónico.

Los resultados de la evaluación citotóxica y genotóxica de los efluentes industriales textiles, en los tratamientos agudos y crónicos son indicativos de una relación línea entre los parámetros macroscópicos y microscópicos en todas las diluciones analizadas. Hubo una disminución, dependiente de la dilución del ARTC, en el crecimiento de las raíces y tallo y número de raíces con la inhibición de su crecimiento.

En las figuras 10 y 11, se presenta de manera visual las diferencias en el crecimiento del tallo y raíz y número de raíces de *A. sativum*, entre las diluciones (5, 10, 15, 25, 50 y 100%) en los tratamientos agudo y crónico.

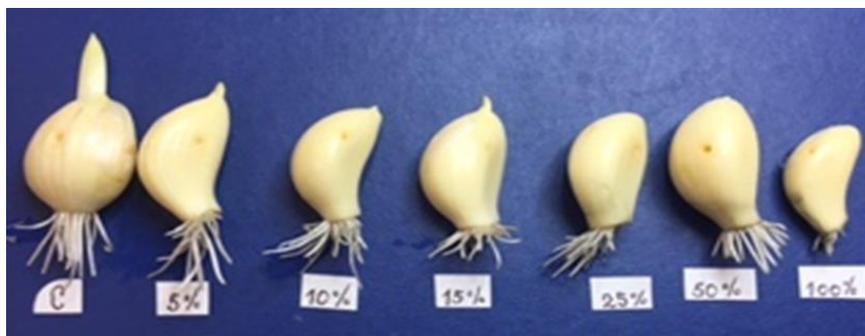


Figura 10. Longitud de raíz, tallo y número de raíces del ajo (*Allium sativum*) del grupo testigo y experimentales a 120 horas.



Figura 11. Longitud de raíz y tallo *A. sativum* del grupo testigo y experimentales a 28 días.

En las tablas 9 y 10, se resume el porcentaje promedio del índice interfásico (II) y mitótico (IM) en tratamiento agudo y crónico en las diluciones (5, 10, 15, 25, 50%) en comparación al testigo.

El índice mitótico (IM), indica el número total de células en mitosis, es utilizado para evaluar la citotoxicidad de diversos agentes contaminantes en el ambiente (Beltrán y Beltrán, 2016; Alimba *et al.*, 2013; Cabaravdic, 2010).

Tabla 9. Porcentajes promedio del (IM), (II) de *A. sativum* en tratamiento agudo.

D	Células en interfase	Células en mitosis				Índices			
		Profase	Metafase	Anafase	Telofase	II (%)	Prueba Tukey*	IM (%)	Prueba Tukey*
Testigo	469.33 ±17.00	1465.66 ±6.02	26.0 ±1.73	26.0 ±5.56	13.0 ±5.56	23.47 ±0.85	C	76.53 ±0.85	A
5%	962.33 ±16.44	954.0 ±8.0	25.0 ±2.0	38.66 ±7.09	20.0 ±3.60	48.12 ±0.82	A	51.88 ±0.82	C
10%	547.66 ±70.61	1361.66 ±65.62	31.66 ±2.51	24.0 ±1.0	35.0 ±3.0	27.38 ±3.53	C	72.62 ±3.53	A
15%	910.33 ±32.65	1057.33 ±36.01	11.66 ±3.51	15.0 ±1.0	5.66 ±1.15	45.52 ±1.63	A	54.48 ±1.63	C
25%	942.33 ±23.18	1041.00 ±29.0	4.66 ±2.51	5.33 ±1.52	6.66 ±4.16	47.12 ±1.15	A	52.88 ±1.15	C
50%	778.66 ±52.78	1162.0 ±38.62	15.33 ±1.52	39.0 ±13.89	5.0 ±3.60	38.93 ±2.64	B	61.07 ±2.64	B

Los índices se determinaron al contar 2000 células de *Allium sativum* en cada dilución.

*Prueba de Tukey ≤ 0.05 , diluciones que no comparten la misma letra son significativamente diferentes.

En ambos tratamientos la tendencia de los índices II e IM es similar (Tablas 10, 11 y Fig. 12). En el II el porcentaje del número de células en interfase se incrementó (48.12 ± 0.82 , 27.38 ± 3.53 , 45.52 ± 1.63 , 47.12 ± 1.15 , 38.93 ± 2.64 y 100 ± 0.00) mientras que, el IM disminuyó (51.88 ± 0.82 , 72.62 ± 3.53 , 54.48 ± 1.63 , 52.88 ± 1.15 , 61.07 ± 2.64 y 0.00) en comparación con sus correspondientes grupos testigo (23.47 ± 0.85 y 76.53 ± 0.85).

Por lo anterior podemos inferir que en *Allium sativum* el índice II e IM determinado en ambos tratamientos, el grupo testigo fueron respectivamente (23.47 ± 0.85 y 22.78 ± 1.20) y (76.53 ± 0.85 y 77.22 ± 1.20) y responde al comportamiento de meristemas, que cuando proliferan, siguen una cinética en equilibrio dinámico con el ambiente, la que puede evaluarse a través de una serie de indicadores tales como la población de células en división celular, el índice mitótico y la frecuencia de células en los diferentes estados de la mitosis, entre otros (Rojas *et al.*, 1993).

Tabla 10. Porcentajes promedio de los (IM), (II) de *A. sativum* en tratamiento crónico.

D	Células en interfase	Células en mitosis				II (%)	Índices		Prueba Tukey*
		Profase	Metafase	Anafase	Telofase		IM (%)		
Testigo	455.7 ± 24.0	1425.0 ± 41.6	32.33 ± 8.38	52.0 ± 25.7	35.0 ± 15.10	22.78 ± 1.20	D	77.22 ± 1.20	A
5%	1123.7 ± 26.5	792.7 ± 34.7	25.0 ± 2.0	38.67 ± 7.09	20.0 ± 3.61	56.18 ± 1.32	C	43.82 ± 1.32	B
10%	1347 ± 18.1	572.67 ± 14.01	23.67 ± 11.93	25.67 ± 2.08	31.0 ± 4.58	67.35 ± 0.90	B	32.65 ± 0.90	C
15%	1391.7 ± 29.6	567.0 ± 23.4	11.0 ± 4.58	18.0 ± 5.29	12.33 ± 11.02	69.58 ± 1.47	B	30.42 ± 1.47	C
25%	1485 ± 7.21	479.0 ± 26.2	13.33 ± 12.74	16.0 ± 18.2	6.67 ± 4.16	74.25 ± 0.36	A	25.75 ± 0.36	D
50%	1378.3 ± 27.0	556.67 ± 11.24	20.33 ± 8.50	37.0 ± 12.77	7.67 ± 3.21	68.92 ± 1.35	B	31.08 ± 1.35	C

Los índices se determinaron al contar 2000 células de *Allium sativum* en cada dilución.

*Prueba de Tukey ≤ 0.05 , diluciones que no comparten la misma letra son significativamente diferentes.

En el presente trabajo se demuestra que al comparar los valores de la proliferación celular en los meristemas radiculares de *A. sativum* del testigo, con el índice mitótico, en las diferentes diluciones de ARTC, tienden a disminuir y es evidente en las diluciones 15, 25 y 50% de ambos tratamientos y son significativamente diferentes (Tablas 9 y 10). Por el contrario, hubo un aumento en los valores de inhibición mitótica con el aumento de la dilución y fue significativo en ambos tratamientos.

Adicionalmente, el valor del IM del testigo en ambos tratamientos fue ($76.53 \pm 0.85\%$ y $77.22 \pm 1.20\%$) indica que, por cada 100 células, 77 ingresan a división. Por tanto, valores inferiores indican citotoxicidad de las aguas pues afecta el número de células que ingresan a división; valores superiores señalan un efecto contrario de inducción de la reproducción celular, llevando a una proliferación descontrolada (Lodish *et al.*, 2012).

El ARTC genera el IM más reducido de todo el trabajo con $51.88 \pm 0.82\%$ y $25.75 \pm 0.36\%$. Si comparamos estos valores con el IM testigo, vemos que el ARTC impide, en tratamiento agudo, el 26% y en crónico 51% el ingreso de células a división, lo cual demuestra una alta citotoxicidad de la reducción del IM se debe a que el ARTC contiene metales pesados, arsénico, cianuro, compuestos orgánicos volátiles y no volátiles y altos valores de DBO₅, DQO superiores a los valores permisibles por las normas mexicanas (NOM138 SEMARNAT/SSA1, NMX-AA-103SCFI-2006, NOM-001-SEMARNAT y proy-NOM-001-SEMARNAT-2017) y las internacionales (EPA,1986, AG-CC-01-2001, OMS-IPAN 2005) hecho que se observa en la coloración azul.

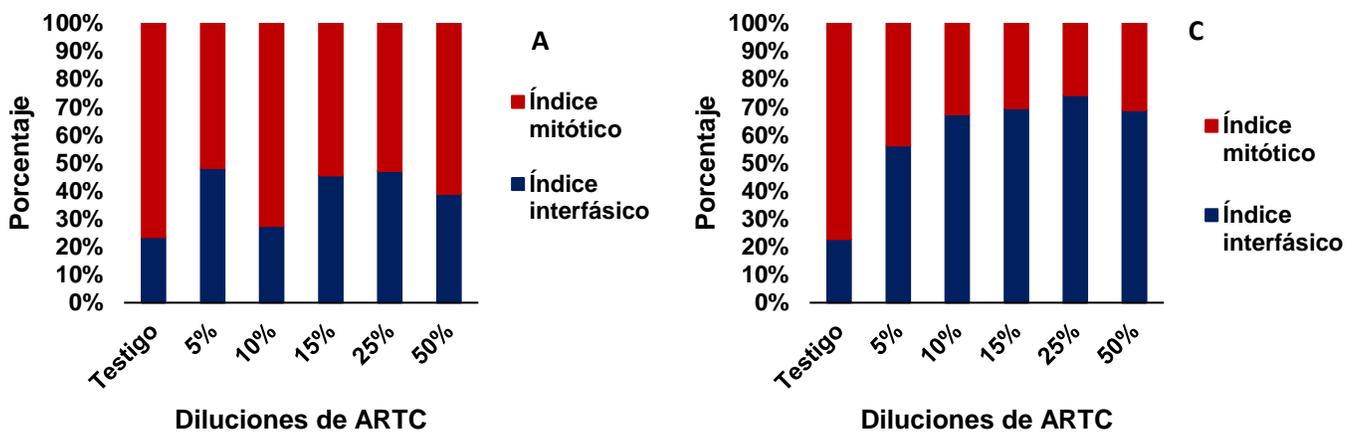


Figura 12. Porcentaje de los II e IM en *A. sativum* en tratamiento agudo (A) y crónico (C).

El efluente residual textil tiene los efectos más inhibitorios y mitodepresivos en las diluciones 25, 50 y 100%. El hecho de que en la dilución al 100% no hubo crecimiento radicular, indica que el efluente inhibió el ciclo celular, en el resto se observó crecimiento de raíces y tallo, con disminución del IM y los valores indican que las muestras de ARTC eran tóxicas comparativamente (Tablas 5 y 6). La reducción de la actividad mitótica podría deberse a la inhibición de ADN o al bloqueo de la fase G₂ del ciclo celular, evitando que la célula entre al proceso de división celular, en la mitosis (Sudhakar *et al.*, 2001).

Los índices de fase de la mitosis, en ambos tratamientos, disminuyeron en comparación a sus correspondientes testigos (Tablas 11,12 y fig.). Como es de esperarse, se observó una drástica disminución de los índices: metafásicos, anafásicos y telofásicos, llegando los valores a $(1.26 \pm 0.09, 3.19 \pm 1.03$ y $0.41 \pm 0.28)$ y $(3.27 \pm 1.21, 5.95 \pm 1.94, 1.24 \pm 0.47)$ respectivamente, en la dilución 50%. Estas reducciones probablemente se explican por el

efecto del ARTC citostático que demora o detiene el crecimiento de las células durante el ciclo mitótico.

Tabla 11. Porcentajes de los índices de fases (IP=índice profásico; IMe=índice metafásico; IA=índice anafásico; IT= índice telofásico) de *A. sativum* en tratamiento agudo.

Grupos	Índices (%)							
	IP (%)	Prueba Tukey *	IMe (%)	Prueba Tukey*	IA (%)	Prueba Tukey *	IT (%)	Prueba Tukey*
Testigo	95.75 ±0.77	A	1.7 ±0.10	A B	1.7 ±0.35	AB	0.85 ±0.35	BC
5%	91.94 ±1.00	E	2.41 ±0.18	B	3.73 ±0.62	A	1.92 ±0.32	B
10%	93.76 ±0.08	B	2.18 ±0.08	A	1.65 ±0.10	ABC	2.41 ±0.11	A
15%	97.03 ±0.45	D	1.07 ±0.35	C	1.38 ±0.13	BC	0.52 ±0.09	C
25%	98.42 ±0.65	D E	0.45 ±0.24	D	0.5 ±0.14	C	0.63 ±0.40	C
50%	95.14 ±1.21	C	1.26 ±0.09	C	3.19 ±1.03	A	0.41 ±0.28	C

*Prueba de Tukey ≤ 0.05 , diluciones que no comparten la misma letra son significativamente diferentes.

La mayor reducción de la actividad mitótica fue en el IT, que es muy alto (0.41 ± 0.28 y 1.24 ± 0.47 en comparación al testigo (0.85 ± 0.35 y 2.27 ± 0.96) y son significativas las diferencias (tabla 12). Estos resultados coinciden con los autores que han reportado que diversas plantas medicinales presentan disminución del índice mitótico (Pastori *et al.*, 2013; Oyedare *et al.*, 2009); aumento en el índice interfásico y una disminución en las fases del proceso celular (Beltrán y Beltrán, 2016).

Tabla 12. Porcentajes de los índices de fases (IP=índice profásico; IMe=índice metafásico; IA=índice anafásico; IT= índice telofásico) de *A. sativum* en tratamiento crónico.

Grupos	Índices (%)							
	IP (%)	Prueba Tukey*	IMe (%)	Prueba Tukey*	IA (%)	Prueba Tukey*	IT (%)	Prueba Tukey*
Testigo	92.27 ±3.02	A	2.09 ±0.51	A	3.37 ±1.62	A	2.27 ±0.96	A
5%	90.45 ±1.54	B	2.85 ±0.31	A	4.41 ±0.87	A	2.29 ±0.47	AB
10%	87.7 ±2.06	C	3.62 ±1.78	A	3.93 ±0.42	A	4.75 ±0.64	A
15%	93.21 ±1.71	C	1.81 ±0.83	A	2.96 ±0.76	A	2.02 ±1.70	AB
25%	93.01 ±5.18	D	2.59 ±2.46	A	3.11 ±3.53	A	1.29 ±0.81	B
50%	89.54 ±3.03	C	3.27 ±1.21	A	5.95 ±1.94	A	1.24 ±0.47	B

*Prueba de Tukey ≤ 0.05 , diluciones que no comparten la misma letra son significativamente diferentes.

La disminución del índice mitótico y el aumento de la inhibición mitótica en *A. sativum* en diluciones crecientes de aguas residuales textiles, refleja la citotoxicidad del efluente. La disminución del índice mitótico por debajo del 22% en comparación con el testigo puede

causar efectos letales en el organismo según (Antonsiewicz, 1990) y nuestros resultados representaron una disminución del 16.84%, lo cual evidencia una vez más, el impacto de la citotoxicidad del ARTC en el ciclo celular.

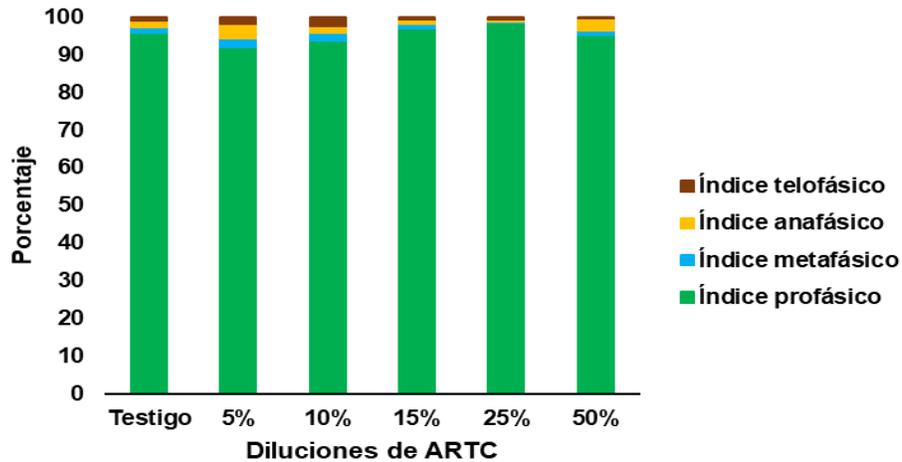


Figura 13. Porcentaje del índice de las fases mitóticas en tratamiento agudo en *A. sativum*.

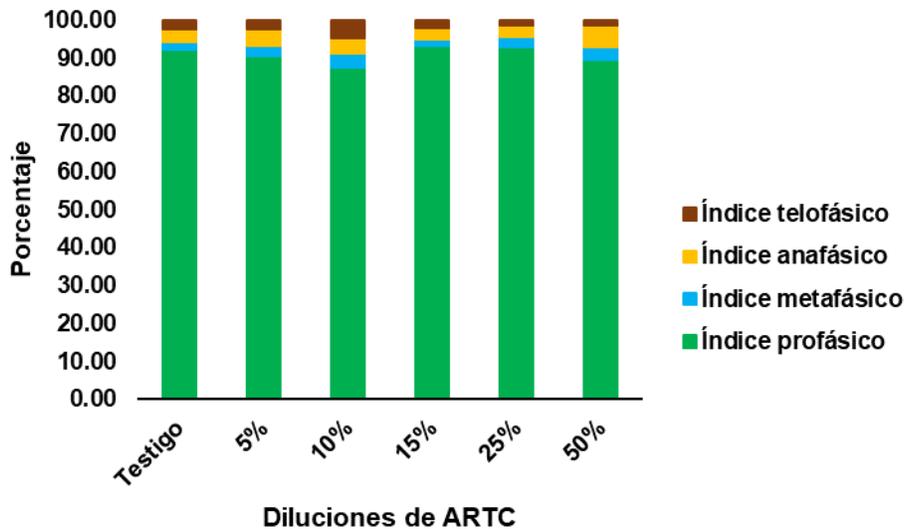


Figura 14. Porcentaje del índice de las fases mitóticas en tratamiento crónico en *A. sativum*.

La genotoxicidad inducida por el ARTC presente en los tratamientos agudo y crónico aberraciones cromosómicas (AC) clastogénicas y aneugénicas (Fig. 15). Las clastogénicas indican que la sustancia en estudio ha roto el ADN o ha evitado una normal replicación o

reparación del mismo y las aneugénicas señalan que la sustancia ha modificado la segregación de los cromosomas (Chaffey, 2003; Restrepo *et al.*, 2000).

El análisis de las divisiones mitóticas de la punta de la raíz de *A. sativum* reveló AC. Las aberraciones más frecuentes fueron: puentes de anafase, cromosomas pegajosos y cromosomas rotos en metafase (Fig. 15) que indican eventos mutagénicos en la célula (Mishra, 1993).

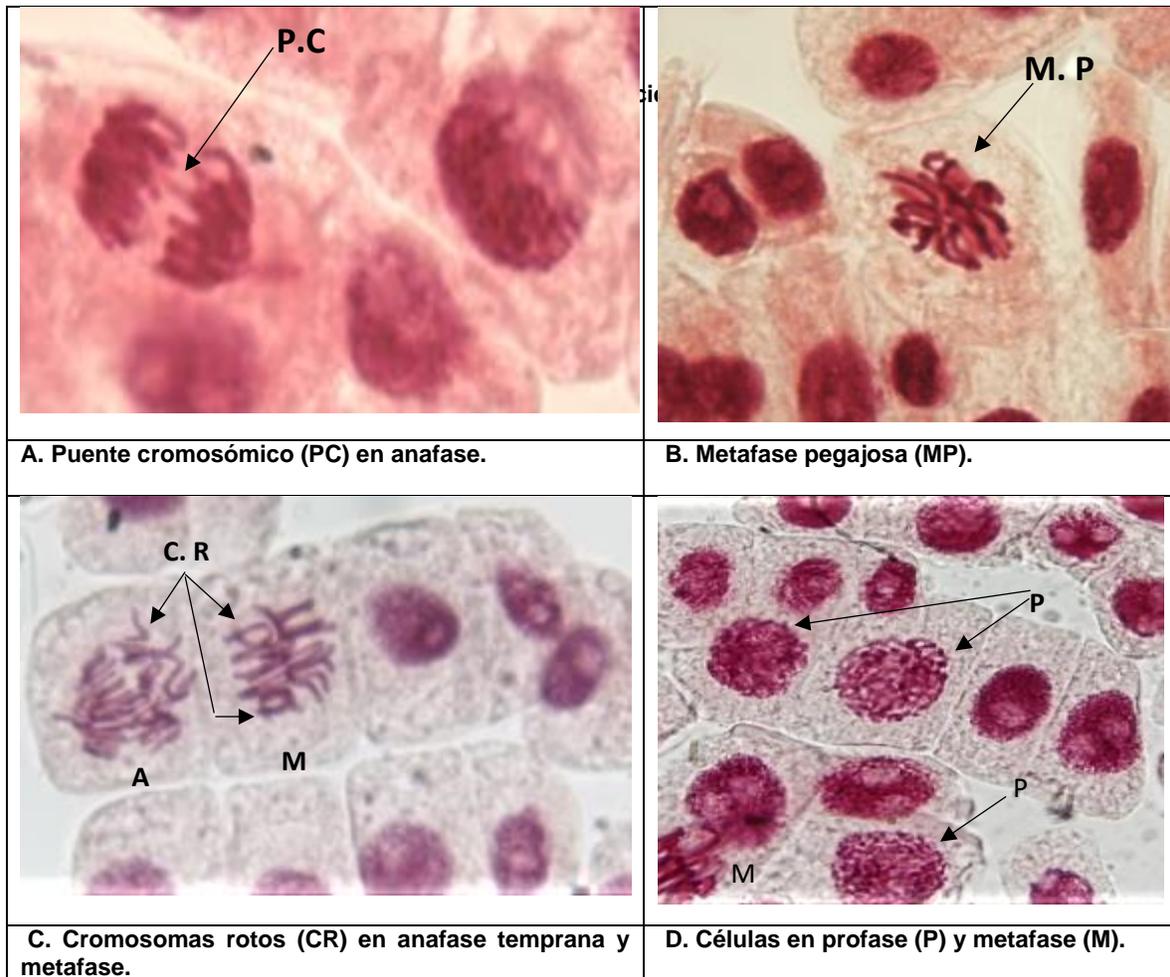


Figura 15. Aberraciones cromosómicas inducidas por el ARTC en *A. sativum*.

Las diluciones más bajas 5, 10 y 15% no presentaron AC y en 25% fueron escasas, la mayor incidencia fue en 50%, en ambos tratamientos y fueron más evidentes en el tratamiento crónico por tal motivo se puede inferir que el ARTC presentó efecto genotóxico en altas diluciones. Resultados similares obtuvieron Oyeyemi y Bakare (2013) y Sabini *et al.*, (2011) en algunas plantas que indujeron citotoxicidad y no se asocia a efectos

mutagénicos, lo cual es similar a lo observado en este estudio ya que las concentraciones bajas indujeron citotoxicidad, pero no presentaron efectos mutagénicos.

En *A. sativum*, la presencia de AC se encuentra, la mayoría de las veces, asociado a la inhibición del crecimiento radicular y del tallo. Los cromosomas pegajosos en las etapas de metafase fueron abundantes en la prueba de *Allium*, lo que indica que los efluentes contienen sustancias que son muy tóxicas, la pegajosidad se considera una aberración de tipo cromatídico (Badr, 1986). Darlington y Mc-Leich (1951) propusieron que la pegajosidad podría deberse a la degradación o despolimerización del ADN cromosómico.

Además, muchos investigadores informaron que sus ocurrencias durante el estudio podrían deberse a un enlace entre cromosomas (Khallef *et al.*, 2013). Los puentes de anafase provocan mutaciones cromosómicas estructurales pueden ocurrir durante la translocación del intercambio desigual de cromátidas, debido a la presencia de cromosomas disentéricos o debido a la rotura y fusión de cromosomas y cromátidas (El-Ghamery *et al.*, 2000). Los resultados del análisis físico químico corroboran esta afirmación.

En un estudio sobre la evaluación de la citogenotoxicidad de dos efluentes industriales utilizando el ensayo *Allium* (Samuel *et al.*, 2010), los autores sugirieron que la prueba de crecimiento de la raíz de cebolla debería integrarse en el programa de toxicidad del efluente antes de permitir su vertido al medio acuático. Los resultados de este estudio también han demostrado que la citotoxicidad en el ensayo cromosómico de *A. sativum* sobre el ARTC es una herramienta confiable para monitorear los efectos citotóxicos y genotóxicos por lo que antes de ser vertida al ambiente se debería de cumplir con lo establecido en las NOMs. El efluente textil rebasó los estándares de descarga establecido por los organismos reguladores: NOM-001-SEMARNAT-1996, PROY-NOM-001-SEMARNAT-2017, EPA 1986, GB 8978 Y OMS (IPAN) (2005).

Los valores detectados en el ART están fuera del rango de los estándares estipulados, lo que indica la falta de tratamiento de aguas residuales textiles antes de la descarga.

10 CONCLUSIONES.

1. La caracterización fisicoquímica del agua residual textil evidenció la presencia de colorante, elevadas cantidades de DQO, turbidez, metaloides, metales, compuestos orgánicos volátiles y no volátiles que sobrepasaron los LMP de las NOMs, OMS y EPA y son los responsables de las alteraciones del ADN y que en su mayoría son carcinogénicos.

2. Los resultados de los tratamientos agudo (120h) y crónico (28 días), demostraron la citotoxicidad en todas las diluciones del agua residual textil, en *A. sativum*, inhibiendo el crecimiento de la raíz y del tallo.
3. El índice mitótico (IM), Interfásico (II) y el índice de fases de *A. sativum* expuesta al ARTC, demostró el alto grado de genotoxicidad del efluente textil.
4. Los resultados encontrados sugieren que las sustancias químicas que forman el ARTC tienen acciones aneugénicas y clastogénicas que actúan a nivel de estructuras celulares y moleculares, e impiden llevar a cabo, el normal desarrollo de la división celular.
5. El efluente de la industria textil, estudiado en la presente investigación, representa un serio problema ambiental para la biota del Río Atoyac y la salud pública de las poblaciones de Villa Alta, en Tepetitla de Lardizábal, Tlaxcala.

11 RECOMENDACIÓN.

Es importante que sea tomado en cuenta, dentro de la normatividad mexicana, el análisis de genotoxicidad en el agua residual industrial, así como, incorporar algún valor límite que deba ser cumplido por las industrias, a fin de evitar el deterioro en la calidad del agua de los cuerpos receptores, con el objetivo de proteger las comunidades de los sistemas acuáticos y en la mayoría de los casos tratar de recuperar la calidad del recurso hídrico.

12 REFERENCIAS.

1. Alimba, C. G., Ogunkanmi, A. L., & Ogunmola, F. J. (2013). Cytotoxic and genotoxic assessment of textile effluent using *Allium* assay. *Current Topics in Toxicology*. 9. 65-74.
2. Alwan, D. G. M. (2008). PH-Control Problems of Wastewater Treatment Plants. *Al-Khwarizmi Engineering Journal*. 4(2). 37-45.
3. Andersen, K.J., Leighty, E.G., & Takahashi, M.T. (1972). Evaluation of herbicides for possible mutagenic properties. *J. Agric. Food Chem.* 20:649-656. Doi: 10.1021/Jf60181a046.
4. Anjaneyulu, Y., Sreedhara-Chary N. & Suman-Raj S. (2005). Decolourization of industrial effluents available methods and emerging technologies – A review. *Rev. Environ. Sci. Technol.* 4, 245– 273. Doi. Org/10.1007/S11157-005-1246-Z.
5. Anneser, B., Einsiedl, F., Meckenstock, R. U., Richters, L., Wisotzky, F., & Griebler, C. (2008). High-resolution monitoring of biogeochemical gradients in a tar oil-contaminated aquifer. *Applied Geochemistry*, 23(6), 1715–1730. Doi: 10.1016/j.apgeochem.2008.02.003.
6. Antosiewicz, D. (1990). Analysis of the cell cycle in the root meristem of *Allium cepa* under the influence of ledakrin. *Folia Histochemica et Cytobiologica*. 28(1-2):79-95.

7. Arocena, R. (2016). Principios y métodos de limnología: Ejemplos de Uruguay (2a ed. corregida, aumentada y actualizada). DIRAC.
8. ATSDR. (2014). Medical management guidelines for tetrachloroethylene. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Division of Toxicology and Human Health Sciences. Disponible en: <https://www.atsdr.cdc.gov/mmg/mmg.asp?id=261&tid=48> (Consultado el 15 septiembre 2019).
9. ATSDR. (2007). Toxicological profile for Xylene. Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.
10. Badr, A. (1986). Effects of the s-Triazine Herbicide Turbutryn on Mitosis, Chromosomes and Nucleic Acids in Root Tips of *Vicia faba*. Cytologia. 51. 571-577. Doi: 10.1508/cytologia.51.571.
11. Bae S.J., Freeman S.H. & Kim D.S. (2006). Influences of new azo dyes to the aquatic ecosystem. Fiber Polymer. 7, 30-35. Doi:Org/10.1007/BF02933599.
12. Beltrán, R. A., & Beltrán, P. M. (2016). Regulation of the cell cycle (CC) of *Vicia faba* L by the alcoholic extract of *Annona cherimola* Mill “cherimoya”. Scientia Agropecuaria, 7, 245–251. Doi: <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.03.12>.
13. Berrocal, A. M., Blas, R. H., Flores, J., & Siles, M. A. (2013). Evaluación del potencial mutagénico de biocidas (vertimec y pentacloro) sobre cebolla. Revista Colombiana de Biotecnología, 15 (1). 17-27.
14. Besser, L., Chorin, E., Sekler, I., Silverman, W. F., Atkin, S., Russell, J. T., & Hershinkel, M. (2009). Synaptically released zinc triggers metabotropic signaling via a zinc-sensing receptor in the hippocampus. The J. Neuroscience 29(9), 2890–2901. Doi: <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5093-08.2009>.
15. Bhalerao, S. A., Sharma, A. S., & Poojari, A. C. (2015). Toxicity of Nickel in Plants. International Journal of Pure & Applied Bioscience. 3. 345-355.
16. Bhatia, R., & Jain, D. (2016). Water quality assessment of lake water: a review. Sustainable Water Resources Management, 2(2), 161–173. Doi:10.1007/s40899-015-0014-7.
17. Brown, M. A., & De Vito, S. C. (1993). Predicting azo dye toxicity. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 23(3), 249–324. Doi: 10.1080/10643389309388453.
18. Burger, J. (2006). Bioindicators: Types, Development, and Use in Ecological Assessment and Research. Environmental Bioindicators, 1(1), 22–39. Doi: <https://doi.org/10.1080/15555270590966483>.
19. Butler, J. M. (2005). Forensic DNA Typing: Biology, Technology, and Genetics of STR Markers. Elsevier Science. <https://books.google.com.mx/books?id=gwDyBq2xLjIC>.
20. C O'Neill, C., Hawkes, F. R., Hawkes, D. L., Lourenço, N. D., Pinheiro, H. M., & Delée, W. (1999). Colour in textile effluents - sources, measurement, discharge consents and simulation: a review. J. Chem. Technol. Biotechnol. 74 (11), 1009–1018. Doi: 10.1002/(sici)1097-4660(199911)74:11<1009::aid-jctb153>3.0.co;2-n.

21. Cabaravdic, M. (2010). Induction of chromosome aberrations in the *Allium cepa* Test System caused by the exposure of cells to benzo (a) pyrene. *Medicinski Arhiv*. 64. 215-8. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/49766807_Induction_of_Chromosome_Aberrations_in_the_Allium_cepa_Test_System_Caused_by_the_Exposure_of_Cells_to_benzoapyrene (Consultado el 25 septiembre 2019).
22. Carignan, V. & Villard, M. A. (2002). Selecting indicator species to monitor ecological integrity: a review. *Environmental Monitoring and Assessment*. 78, 45-61.
23. Chaffey, N. (2003). Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K. and Walter, P. *Molecular biology of the cell*. 4th edn. *Annals of Botany*, 91(3), 401–401. Doi: <https://doi.org/10.1093/aob/mcg023>.
24. Chen, Y., Potratz, J. P., Tijerina, P., Del Campo, M., Lambowitz, A. M., & Russell, R. (2008). DEAD- box proteins can completely separate an RNA duplex using a single ATP. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(51), 20203–20208. Doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.0811075106>.
25. Cheshmeh Soltani, R., & Safari, M. (2016). Periodate-assisted pulsed sonocatalysis of real textile wastewater in the presence of MgO nanoparticles: Response surface methodological optimization. *Ultrasonics Sonochemistry*, 32, 181–190. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.03.011>.
26. CNA. (2016). Normas Oficiales Mexicanas (NOM). Vigentes del Sector Hídrico. <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/normas-oficiales-mexicanas-nom-83264>.
27. CNA. (2001). Compendio básico del Agua en México. Edición 2001. México. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/259365/_2001_CBA2001.pdf
28. CNA. (2002). Red Nacional De Monitoreo De La Calidad Del Agua. Disponible En: [Http://Goo.Gl/R29b](http://Goo.Gl/R29b).
29. CNA. (2003). Compendio Básico Del Agua En México. Años 2001 Y 2002. México. 2001 Y 2002. Disponible en: http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/eam_2003.pdf
30. CNA. (2004). Estadísticas del agua en México. Edición 2004. México. Disponible en: http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/eam_marzo2004.pdf
31. CNA. (2011). Estadísticas del agua en México, edición 2011. México, D. F. Subdirección General de Programación, 2011. 181 pp.
32. CNA. (2012). Atlas del agua en México 2012. Comisión Nacional del Agua. México, Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGP-36-12.pdf>
33. CNA. (2014). Estadísticas del Agua en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F. Edición 2014 Pág. 239. www.conagua.gob.mx CONAGUA. 2015.

34. CNA. (2017). Estadísticas Del Agua En México. Edición 2017 México. Comisión Nacional del Agua. Disponible en:
http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2017.pdf
35. Corwin, D. L., & Yemoto, K. (2020). Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. *Soil Science Society of America Journal*, 84(5), 1442-1461.
<https://doi.org/10.1002/saj2.20154>
36. Crespi, M., & Huertas, J. A. (1987). Industria Textil: ¿Depuración Biológica o Físicoquímica? *Boletín Intexter*. Pp. 16.
37. Darlington, C.D. & McLeich, L. (1951) Action of maleic hydrazide on the cell, *Nature (London)*, 167, 407-408.
38. Diario Oficial de la Federación (DOF). (1996). Límites Máximos Permisibles de Contaminantes en Las Descargas de Aguas Residuales en Aguas y Bienes Nacionales; NOM-001-SEMARNAT-1996. Ciudad de México, México. Available online:
<http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/3290/1/nom-001-semarnat-1996.pdf>
(Consultado 15 de enero 2020).
39. Diario Oficial de la Federación (DOF). (1996). Límites Máximos Permisibles de Contaminantes en Las Descargas de Aguas Residuales en Aguas y Bienes Nacionales; NOM-002-SEMARNAT-1996. Ciudad de México, México. Available online:
<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGAA-15-13.pdf>
(Consultado 15 de enero 2020).
40. Diario Oficial de la Federación (DOF). (2013). NMX-AA-005-SCFI-2013 ANÁLISIS DE AGUA – MEDICIÓN DE GRASAS Y ACEITES RECUPERABLES EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS – MÉTODO DE PRUEBA (CANCELA A LA NMX-AA-005-SCFI-2000). Ciudad de México. Available online:
<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166764/nmx-aa-005-scfi-2013.pdf>
(Consultado el 20 de enero 2020).
41. Dias, A. A., Sampaio, A., & Bezerra, R. M. (2007). Environmental Applications of Fungal and Plant Systems: Decolourisation of Textile Wastewater and Related Dyes. En S. N. Singh & R. D. Tripathi (Eds.), *Environmental Bioremediation Technologies* (pp. 445–463). Springer Berlin Heidelberg. Doi: https://doi.org/10.1007/978-3-540-34793-4_19.
42. Dos-Santos A., Cervantes F. & Van-Lier J. (2007). Review Paper on Current Technologies for Decolourisation of Textile Wastewaters: Perspectives for Anaerobic Biotechnology. *Bioresour. Technol.*, 98, 2369-2385. Doi: 10.1016/J.Biortech.2006.11.013.
43. Edel Navarro, R, & Ramírez Garrido, Ma. del Socorro J. (2006). Construyendo el significado del cuidado ambiental: un estudio de caso en educación secundaria. *REICE. Revista Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación*, 4(1),52-70. [fecha de Consulta 28 de noviembre de 2019]. ISSN: Disponible en:
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=551/55140106>.
44. Elena, S., Perniola, O. S., Moscheński, S. M., & Pantuso, F. (2017). El índice mitótico como parámetro estimador de la tolerancia a bajas temperaturas durante la germinación de *Zea mays*. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 116 (2).
45. El-Ghamery, A. A., El-Nahas, A. I., & Mansour, M. M. (2000). The Action of Atrazine Herbicide as an Inhibitor of Cell Division on Chromosomes and Nucleic Acids Content in

- Root Meristems of *Allium cepa* and *Vicia faba*. CYTOLOGIA, 65(3), 277–287. Doi: 10.1508/cytologia.65.277.
46. EPA. (1996). EPA Manual: Best Management Practices for Pollution Prevention in the Textile Industry. U.S. E.P.A. Washington, D.C. Disponible en: https://cfpub.epa.gov/si/si_public_record_Report.cfm?Lab=NRMRL&dirEntryID=124656 (Consultado el 15 noviembre 2018).
 47. EPA. (2018). Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories. United States Environmental Protection Agency, (March), 2–6. Disponible en: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-03/documents/dwtable2018.pdf> (Consultado el 19 enero 2019).
 48. Esparza-García, E., Cárdenas-Conejo, A., Huicochea-Montiel, J.C. & Aráujo-Solís, M.A. (2017). Chromosomes, chromosomal abnormalities and diagnostic issues. Revista Mexicana de Pediatría. 84. 30-39.
 49. Espejel Rodríguez, A. & Carrasco Rivas, G. (1999). El deterioro ambiental en Tlaxcala y las políticas de desarrollo estatal 1988-1999, en Gaceta Ecológica, INE-SEMARNAT. No. 52, 2000.
 50. Estrada Rivera, A. (2018). Evaluación toxicológica del agua residual textil (proceso denim) vertida al río Atoyac. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP). Instituto de Ciencias (ICUAP). Posgrado en Ciencias Ambientales. Tesis Grado Maestría. Disponible en: <https://repositorioinstitucional.buap.mx/bitstream/handle/20.500.12371/7620/445418T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
 51. Fabela, P.S., Balandra, M.A., & Uruguay, A.I. (2006). Caracterización de fuentes puntuales de contaminación en el río Atoyac, México. XXX Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.
 52. Fasullo, M. (2019). Genotoxic Assays for Measuring P450 Activation of Chemical Mutagens [Online First], IntechOpen, Doi: 10.5772/intechopen.90356. Available from: <https://www.intechopen.com/online-first/genotoxic-assays-for-measuring-p450-activation-of-chemical-mutagens>.
 53. Feretti, D., Zerbini, I, Zani, C., Ceretti, E., Moretti, M & Monarca, S. (2007). *Allium Cepa* Chromosome Aberration and Micronucleus Tests Applied to Study Genotoxicity of Extracts From Pesticide-Treated Vegetables And Grapes Food Addit. Contam., 24, Pp. 561-572. Doi: 10.1080/02652030601113602.
 54. Fernández, L.G. & Olalla, H.Y. (2000). Toxicity and Bioaccumulation of Lead and Cadmium in Marine Protozoan Communities. Ecotoxicology and Environmental Safety, 47, 266-276. Doi: <http://dx.doi.org/10.1006/eesa.2000.1944>.
 55. Fernández-Leborans, G. & Herrero, Y. (2000). Toxicity and Bioaccumulation of Lead and Cadmium in Marine Protozoan Communities. Ecotoxicology and environmental safety. 47. 266-76. Doi: 10.1006/eesa.2000.1944.
 56. Fiskesjö, G. (1985). The Allium test as a standard in environmental monitoring. Hereditas, 102(1), 99–112. <https://doi.org/10.1111/j.1601-5223.1985.tb00471.x>

57. Fiskesjö, G. (1997). *Allium* test for screening chemicals: Evaluation of cytologic parameters. En W. Wang, J. Gorsuch & J. Hughes (Eds.), *Plants for Environmental Studies* (Pp. 308- 333). CRC Lewis Publishers. Doi: [Org/10.1201/9781420048711.Ch11](https://doi.org/10.1201/9781420048711.Ch11).
58. Fu, Y., & Viraraghavan, T. (2001). Fungal decolorization of dye wastewaters: a review. *Bioresource technology*, 79(3), 251–262. Doi: [https://doi.org/10.1016/s0960-8524\(01\)00028-1](https://doi.org/10.1016/s0960-8524(01)00028-1).
59. García-Nieto E., Carrizales-Yañez L., Juárez Santacruz L., García-Gallegos E., Hernández Acosta E., Briones- Corona E. & Vázquez Cuecuecha O. G. (2011). Plomo y arsénico en la subcuenca del Alto Atoyac en Tlaxcala, México. *Rev. Chapingo Ser. Cie.* 1, 7-17.
60. Gavril M. & Hodson P.V., (2007). Investigation of the Toxicity of the Products of Decoloration of Amaranth by *Trametes versicolor*. *J. Environ. Qual.*, 36, 1591–1598.
61. Glińska, S., Bartczak, M., Oleksiak, S., Wolska, A., Gabara, B., Posmyk, M., & Janas, K. (2007). Effects of anthocyanin-rich extract from red cabbage leaves on meristematic cells of *Allium cepa* L. roots treated with heavy metals. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 68(3), 343–350. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2007.02.004>.
62. Gobierno del Estado de Tlaxcala. (2003), *Anuario estadístico de Tlaxcala, México*, pp. 387-413.
63. Green, J.D, Leong, B.K, & Laskin, S. (1978) Inhaled benzene fetotoxicity in rats. *Toxicol Appl Pharmacol* 46: 9–18.
64. Grippa, G. de A., Nati, N., & Matsumoto, S. T. (2012). Evaluation of Water Samples from a River by Cytologic Analysis in *Allium cepa*. *Cytologia*, 77(1), 3–9. Doi: <https://doi.org/10.1508/cytologia.77.3>.
65. Grover, I & Kaur, S. (1999). Genotoxicity of wastewater samples from sewage and industrial effluent detected by the *Allium* root anaphase aberration and micronucleus assays. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, 426(2), 183–188. Doi: [10.1016/s0027-5107\(99\)00065-2](https://doi.org/10.1016/s0027-5107(99)00065-2).
66. Handal-Silva, A, Pérez Castresana, G, Morán Perales, José L. & García Suastegui, Wendy. (2017). Historia hídrica de la contaminación del Alto Balsas. *Ciencias Naturales y Exactas*.1- 9.
67. Herbst, W. & Hunger, K. (1997). *Industrial Organic Pigments: Production, Properties, Applications*. 2th edition. New York: John Wiley & Sons, Inc.
68. Howe, P., Hughes, M., Kenyon, E., Lewis, D. R., Moore, M., Ng, J. & Becking, G. (2001). Environmental Health Criteria 224 Arsenic. And Arsenic. Disponible en: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42366/WHO_EHC_224.pdf;jsessionid=DEC75B68E6515CCEDDE595597B15EE22?sequence=1 (Consultado el 18 febrero 2019).
69. Huff, J., & Infante, P. F. (2011). Styrene exposure and risk of cancer. *Mutagenesis*, 26(5), 583–584. Doi: <https://doi.org/10.1093/mutage/ger033>.
70. Inclán, B., Alberto, L., Chávez, S., Javier, J., Dávila, I., Luis, J., Ortiz, T., & Cecilia, A. (2015). Evaluación Toxicológica Del Río Atoyac, Pue., Y Su Relación Con Los Parámetros Fisicoquímicos. 2° Congreso Nacional AMICA, 8532, 7.

71. INEGI. (2005). México - II Censo de Población y Vivienda 2005. MEX-INEGI.40.201.01-IICPyV-2005. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/rnm/index.php/catalog/140/related_materials?idPro
72. INEGI. (2011). La Industria Textil Y Del Vestido En México. Disponible en: Http://Internet.Contenidos.Inegi.Org.Mx/Contenidos/Productos/Prod_Serv/Contenidos/Espanol/Bvin_egi/Productos/Historicos/1334/702825128531/702825128531_1.Pdf.
73. Jáuregui-Medina, C., Ramírez-Hernández, S., Espinosa-Rodríguez, M. A., Tovar-Rodarte, R., Quintero-Hernández, B., & Rodríguez-Castañeda, I. (2007). Impacto De La Descarga De Aguas Residuales En La Calidad Del Río Mololoa (Nayarit, México) Y Propuestas De Solución. *Revista Latinoamericana De Recursos Naturales*, 3(1), 65–73. Disponible en: <https://www.itson.mx/publicaciones/rlrn/Documents/v3-n1-8-impacto-de-la-descarga-de-aguas-residuales.pdf> (Consultado el 23 marzo 2019).
74. Jenkins, L. J., Trabelus, M. J., & Murphy, S. D. (1972). Biochemical effects of 1,1-dichloroethylene in rats: Comparison with carbon tetrachloride and 1,2-dichloroethylene. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 23(3). Doi: 501–510. Doi:10.1016/0041-008x(72)90052-x.
75. Khallef, M., Liman, R., Konuk, M., Çiğerci, İ. H., Benouareth, D., Tabet, M., & Abda, A. (2013). Genotoxicity of drinking water disinfection by-products (bromoform and chloroform) by using both *Allium* anaphase-telophase and comet tests. *Cytotechnology*, 67(2), 207–213. Doi: 10.1007/s10616-013-9675-y.
76. Kuhad R.C., Sood N., Tripathi K.K., Singh A. & Ward O.P. (2004). Developments in Microbial Methods for the Treatment of Dye Effluents. *Adv. Appl. Microbiol.*, 56, 185-213. Doi: 10.1016/S0065-2164(04)56006-9.
77. Kusumaningrum, H. P., Lunggani, A. T., & Nurhakim, M. A. (2012). Chromosomes and Mitotic Cell Division Phase In Onion Roots After 24 Hours Acetoorcein Soaking Time. *Bioma: Berkala Ilmiah Biologi*, 14(2), 46. Doi: <https://doi.org/10.14710/bioma.14.2.46-48>.
78. Leme, D. M., & Marin-Morales, M. A. (2009). *Allium cepa* test in environmental monitoring: A review on its application. *Mutation Research/Reviews in Mutation Research*, 682(1), 71–81. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2009.06.002>.
79. Lewin, B. (1994). *Genes Five*. Oxford University Press. <https://books.google.com.mx/books?id=5RVFAQAIAAJ>.
80. Li, M., Zhang, H., Wang, J., & Pan, Y. (2012). A new essential protein discovery method based on the integration of protein-protein interaction and gene expression data. *BMC Systems Biology*, 6(1), 15. Doi: 10.1186/1752-0509-6-15.
81. Lotito, A. M., Fratino, U., Mancini, A., Bergna, G., & Di Iaconi, C. (2012). Effective aerobic granular sludge treatment of a real dyeing textile wastewater. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 69, 62–68. Doi: 10.1016/j.ibiod.2012.01.004.
82. Maltoni, C., Lefemine, G., Ciliberti, A., Cotti, G., & Carretti, D. (1981). Carcinogenicity bioassays of vinyl chloride monomer: a model of risk assessment on an experimental basis. *Environmental health perspectives*, 41, 3–29. Doi: <https://doi.org/10.1289/ehp.81413>

83. Martínez, A. J. G., Mariano, M. H., & Galindo, E. (2010). Evaluación Regional Del Impacto Antropogénico Sobre Aire, Agua Y Suelo. Caso: Huasteca Hidalguense, México. 23.
84. Mazzeo, D. E. C., Levy, C. E., de Angelis, D. de F., & Marin-Morales, M. A. (2010). BTEX biodegradation by bacteria from effluents of petroleum refinery. *Science of the Total Environment*, 408(20), 4334–4340. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2010.07.004.
85. Merck, KGaA. (2019). Operating manual. NOVA 60 a Spectroquant®. SUPELCO Analytical products. Available online: https://www.merckmillipore.com/INTERSHOP/web/WFS/Merck-BR-Site/pt_BR/-/BRL/ShowDocument-File?ProductSKU=MDA_CHEM-114895&DocumentId=200904.258.ProNet&DocumentType=PI&Language=ES&Country=NF&Origin=PDP (Consultado el 30 de enero 2020).
86. Miralles-Cuevas, S., Oller, I., Pérez, J. A. S., & Malato, S. (2014). Application of solar photo-Fenton at circumneutral pH to nanofiltration concentrates for removal of pharmaceuticals in MWTP effluents. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(2), 846–855. Doi:10.1007/s11356-014-2871-2.
87. Mishra, K. (1993). Cytotoxic Effects of Distillery Waste on *Allium Cepa* L. *Bulletin Environmental Toxicology*, 50:199-204. DOI: 10.1007/BF00191722.
88. Molins-Legua C, Meseguer-Lloret S, Moliner-Martinez Y and Campíns-Falco P. (2006). A Guide for Selecting The Most Appropriate Method For Ammonium Determination In Water Analysis. *Trends Anal. Chem.*, 25(3), 282. Doi:10.1016/J.Trac.2005.12.002.
89. Montenegro Puga, J.P. (2010). Evaluación de la disminución de concentración de fenol en agua sintética por medio de dos consorcios bacterianos nativos, aerobia y anaerobio facultativo, a nivel de laboratorio, para su aplicación futura en la biorremediación de efluentes textiles. (Tesis de Licenciatura). Escuela Politécnica del Ejercito. Departamento de ciencias de la vida Ingeniería en Biotecnología. Sangolquí.
90. Morales Vargas, R. A. (1997). Sustancias químicas cancerígenas en el sector industrial de Costa Rica: el uso de registros como herramienta de salud pública. *Revista Costarricense de Salud Pública*, 6(11), 11-19. Retrieved November 29, 2020, from http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-14291997000200003&lng=en&tling=es.
91. Murata, Y., Denda, A., Maruyama, H., Nakae, D., Tsutsumi, M., Tsujiuchi, T., & Konishi, Y. (1997). Chronic Toxicity and Carcinogenicity Studies of 2-Methylnaphthalene in B6C3F1Mice☆. *Fundamental and Applied Toxicology*, 36(1), 90–93. Doi:10.1006/faat.1996.2283.
92. Naje, A. S., Chelliapan, S., Zakaria, Z., & Abbas, S. A. (2016). Electrocoagulation using a rotated anode: A novel reactor design for textile wastewater treatment. *Journal of Environmental Management*, 176, 34–44. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.03.034>.
93. Navarro González, I., Flores Valverde, E. & Valladares, R. (2004). “Evaluación ambiental y epidemiológica para identificar factores de riesgo a la salud por contaminación del Río Atoyac, México”. Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 29; San Juan, 22-27 8. UAM, Instituto de Ingeniería UNAM. México.

94. Nestmann, E. R., Lee, E. G.-H., Matula, T. I., Douglas, G. R., & Mueller, J. C. (1980). Mutagenicity of constituents identified in pulp and paper mill effluents using the Salmonella/mammalian-microsome assay. *Mutation Research/Genetic Toxicology*, 79(3), 203–212. Doi:10.1016/0165-1218(80)90067-1.
95. Odutayo, F. O, Oyetade O. B, Esan, E. B & Adaramola, Banji. (2016). Effects Of Industrial Effluent On The Environment Using *Allium Cepa* And *Zea Mays* As Bioindicators. *International Journal of Environment and Pollution Research*. 4. 28-39.
96. Oliver J. H, Hyunook K. & Pen-Chi C. (2000). Decolorization of Wastewater, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 30:4, 449-505, Doi: 10.1080/10643380091184237.
97. Oyedare, B. M., Bakare, A. A., & Akinboro, A. (2009). Genotoxicity assessment of water extracts of *Ocimum gratissimum*, *Morinda lucida* and *Citrus medica* using the *Allium cepa* assay. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*. 8 (2). 97-103.
98. Oyeyemi, I. T., & Bakare, A. A. (2013). Genotoxic and anti-genotoxic effect of aqueous extracts of *Spondias mombin L.*, *Nymphaea lotus L.* and *Luffa cylindrical L.* On *Allium cepa* root tip cells. *Caryologia*, 66(4), 360–367. Doi:10.1080/00087114.2013.857829.
99. Panswad, T., Iamsamer, K., & Anotai, J. (2001). Decolorization of azo-reactive dye by polyphosphate- and glycogen-accumulating organisms in an anaerobic–aerobic sequencing batch reactor. *Bioresource Technology*, 76(2), 151–159. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(00\)00073-0](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00073-0).
100. Pastori, T., Flores, F. C., Boligon, A. A., Athayde, M. L., da Silva, C. de B., do Canto-Dorow, T. S., & Tedesco, S. B. (2013). Genotoxic effects of *Campomanesia xanthocarpa* extracts on *Allium cepa* vegetal system. *Pharmaceutical Biology*, 51(10), 1249–1255. Doi:10.3109/13880209.2013.786097.
101. Pérez Castresana, G., Roldán, E. C., García Suastegui, W. A., Morán Perales, J. L., Cruz Montalvo, A., & Silva, A. H. (2019). Evaluation of Health Risks due to Heavy Metals in a Rural Population Exposed to Atoyac River Pollution in Puebla, Mexico. *Water*, 11(2), 277. Doi: 10.3390/w11020277.
102. Pérez Castresana, G., Tamariz Flores, V., López Reyes, L., Hernández Aldana, F., Castelán Vega, R., Morán Perales, J. & Handal Silva, A. (2018). Atoyac River Pollution in the Metropolitan Area of Puebla, México. *Water*, 10(3), 267. Doi: 10.3390/w10030267.
103. Ramsay J. & Nguyen T. (2002). Decoloration of textile dyes by *Trametes versicolor* and its effect on dye toxicity. *Biotechnol. Lett.*, 24, 1757–1761.
104. Rank, J. & Nielsen, M. H. (1993). A Modified *Allium* Test as A Tool In The Screening Of The Genotoxicity Of Complex Mixtures. *Hereditas*, 118, 49-53. Doi: Org/10.1111/J.1601-5223. 1993. T01- 3-00049.X.
105. Rank, J. & Nielsen, M.H. (1994). Evaluation of the *Allium* Anaphase-Telophase Test In Relation To Genotoxicity Screening of Industrial Wastewater. *Mutation Research*, 312, 17-24. Doi: 10.1016/0165-1161(94)90004-3.

106. Raven, P. H., Johnson, G. B., Mason, K. A., Losos, J. B. & Singer, S. R. (2014). How cells divide (¿Cómo se dividen las células?). En *Biology* (10a ed., AP Ed.). Nueva York, NY: McGraw-Hill, 201.
107. Reece, J. B., & Campbell, N. A. (2011). *Campbell biology*. Boston: Benjamin Cummings / Pearson.
108. Rehman, A., Bhatti, H. & Athar, H. (2008). Textile Effluents Affected Seed Germination and Early Growth of Some Winter Vegetable Crops: A Case Study. *Water, Air, and Soil Pollution*. 198, 155-163. Doi: 10.1007/S11270-008-9834-5.
109. Repetto Jiménez M, Repetto Kuhn G. (2009). *Toxicología Fundamental*. 4ta. Ed. Madrid: Editorial Díaz De Santos; P.13.
110. Restrepo Manrique, R., Ortiz Villamizar, M. C., & Reyes Quesada, D. (2011). Pruebas de ecotoxicidad para establecer el potencial genotóxico del hipoclorito de sodio, mediante bulbos de cebolla *Allium cepa L* y semillas de lechuga *Lactuca sativa L* como bioindicadores. *ITECKNE*, 8(1). Doi: <https://doi.org/10.15332/iteckne.v8i1.256>.
111. Restrepo, H. G., Sicard, D., & Torres, M. M. (2000). DNA damage and repair in cells of lead exposed people. *American Journal of Industrial Medicine*, 38(3), 330–334. Doi: [https://doi.org/10.1002/1097-0274\(200009\)38:3<330::aid-ajim13>3.0.co;2-z](https://doi.org/10.1002/1097-0274(200009)38:3<330::aid-ajim13>3.0.co;2-z).
112. Rico, D., Martín-González, A., Díaz, S., de Lucas, P., & Gutiérrez, J.C. (2009). Heavy metals generate reactive oxygen species in terrestrial and aquatic ciliated protozoa. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 149(1), 90–96. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2008.07.016>.
113. Robertson, L. W., & Ludewig, G. (2011). Polychlorinated Biphenyl (PCB) carcinogenicity with special emphasis on airborne PCBs. *Gefahrstoffe, Reinhaltung der Luft = Air quality control*, 71 (1-2), 25-32.
114. Rodríguez Tapia, L. & Morales Novelo, J. A. (2011). Contaminación E Internalización De Costos En La Industria Textil. *Revista Internacional de Ciencias Sociales y Humanidades, SOCIOTAM*, XXI (1),143-169. [fecha de Consulta 27 de noviembre de 2020]. ISSN: 1405-3543. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=654/65421407008>
115. Rodríguez, J. M. A. (2013). Aberraciones cromosómicas en un hospital pediátrico de tercer nivel. Anillos de los cromosomas 13 y 18. *Revista Iberoamericana de las Ciencias de la Salud: RICS*, ISSN-e 2395-8057. 2 (3). 1-20.
116. Rodríguez-Castro, V.A. (2006). Insectos acuáticos como indicadores biológicos. En "Bioindicadores de contaminación en sistemas acuáticos (insectos acuáticos)". Universidad Autónoma de Nuevo León, México. 96 pp.
117. Rojas, E., Herrera, L. A., Sordo, M., Ginsebatt, M. E., Montero, R., Rodríguez, R., & Ostrosky-Wegman, P. (1993). Mitotic index and cell proliferation kinetics for identification of antineoplastic activity. *Anti-Cancer Drugs*, 4(6), 637-640. Doi: 10.1097/00001813-199312000-00005.
118. Rozzi, A., Malpei, F., Bonomo, L. & Bianchi, R. (1999). Textile Wastewater Reuse in Northern Italy (Como). *Water Science & Technology*. 39 (5): 121-128. Doi: [Org/10.1016/S0273-1223\(99\)00093-1](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(99)00093-1).

119. Sabini, M. C., Cariddi, L. N., Escobar, F. M., Bachetti, R. A., Sutil, S. B., Contigiani, M. S., Zanon, S. M., & Sabini, L. I. (2011). Evaluation of Cytogenotoxic Effects of Cold Aqueous Extract from *Achyrocline Satureioides* by *Allium cepa* L test. *Natural product communications*, 6 (7), 995-998.
120. Samuel, O. B., Osuala, F. I., & Odeigah, P. G. C. (2010). Cytogenotoxicity evaluation of two industrial effluents using *Allium cepa* assay. *African Journal of Environmental Science and Technology*. 4. 21-27.
121. Sandoval Villasana, A. M., Pulido-Flores, G, Monks., S, Gordillo Martínez, A. J. & Villegas Villareal, E. C. (2009). Evaluación fisicoquímica, microbiológica y toxicológica de la degradación ambiental del río Atoyac, México. *Interciencia*, 34(12), 880-887. Recuperado en 28 de noviembre de 2020, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442009001200009&lng=es&tlng=es.
122. SEMARNAT. (2015). Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde. Edición 2015. SEMARNAT. México. 2016. Disponible: https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Informe15_completo.pdf
123. Smart, C. y Hodgson, E. (2008) *Molecular and biochemical toxicology*. 4ª ed. editorial Willey, New Jersey pp. 901.
124. Stolz, A. (2001). Basic and applied aspects in the microbial degradation of azo dyes. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 56(1-2), 69-80. Doi: <https://doi.org/10.1007/s002530100686>
125. Stolzenberg, S.J. & Hine C.H. (1980). Mutagenicity of 2- And 3-Carbon Halogenated Compounds in the Salmonella/Mammalian-Microsome Test. *Environ. Mutagenesis* 2, 59-66. Doi: 10.1002/Em.2860020109.
126. Sudhakar, C., Lakshmi, A., & Giridarakumar, S. (2001). Changes in the antioxidant enzyme efficacy in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) under NaCl salinity. *Plant Science*, 161(3), 613-619. Doi:10.1016/s0168-9452(01)00450-2.
127. Tinoco Gómez, O. R., Medina Escudero, A. M., & Zapata Gamarra, H. (2014). Tratamiento de efluentes textiles con luz ultravioleta solar. *Industrial Data*, 14(2), 009. Doi: <https://doi.org/10.15381/idata.v14i2.6217>.
128. Tormoehlen, L., Tekulve, K., & Nanagas, K. (2014). Hydrocarbon toxicity: A review. *Clinical Toxicology (Philadelphia, Pa.)*. 52. 479-489. Doi: 10.3109/15563650.2014.923904.
129. Torres, J. M. (2001). Artículo Mezclilla Deslavada. 5. Disponible en: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lil/trujillo_p_mj/capitulo1.pdf (Consultado el 12 de marzo 2020).
130. UNEP. (2012). Convenio De Estocolmo Sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes Comité De Examen De Los Contaminantes. Naciones Unidas.
131. United States Environmental Protection Agency (USEPA). (2012) National Recommended Water Quality Criteria. EPA.

132. Valencia Denicia, E. & Ramírez Castillo, M. L. (2009). La industria de la leche y la contaminación del agua. *Elementos: Ciencia y cultura* ISSN (Versión impresa): 0187-9073. *Elementos*, núm. 73 Pp. 27-30.
133. Vallejo, J. 2016. Talleres de mezclilla y transformaciones socio-ambientales en un municipio rural. El caso de Tepetitla de Lardizabal, Tlaxcala. *Revista Sociedad y Ambiente*, número 11, ECOSUR. Pp. 68-91. Doi: <https://doi.org/10.31840/sya.v0i11.1675>.
134. Villasana, A. M. S., Pulido-Flores, G., & Monks, S. (2009). Evaluación Físicoquímica, Microbiológica Y Toxicológica De La Degradación Ambiental Del Río Atoyac, México. *Interciencia*. 34. 880-887.
135. Wang, W., Qiu, Y. L., Jiao, J., Liu, J., Ji, F., Miao, W. B., Zhu, Y., & Xia, Z. L. (2011). Genotoxicity in Vinyl Chloride-Exposed Workers and Its Implication for Occupational Exposure Limit. *American Journal of Industrial Medicine*, 54(10), 800–810. Doi: [Org/10.1002/Ajim.20990](https://doi.org/10.1002/Ajim.20990).
136. Watson, J. D. (2018). *ADN. El secreto de la vida*. Penguin Random House Grupo Editorial España. <https://books.google.com.mx/books?id=nshQDwAAQBAJ>.
137. Weisburger J.H., (2002). Comments on the history and importance of aromatic and heterocyclic amines in public health. *Mutat. Res.*, 506–507, 9–20.
138. Wild, S. R., Rudd, T. & Neller, A. (1994). Fate and effects of cyanide during wastewater treatment processes. *Science of the Total Environment*, 156(2), 93–107.
139. World Bank Group. (2011). *Pollution Prevention and Abatement: Textiles Industry*. Draft Technical Background Document. Washington, D.C.: Environment Department.
140. World Health Organization. (2011). *Nitrate and Nitrite in Drinking Water*. Background Document for Development of WHO Guidelines for Drinking-Water Quality. Geneva, Switzerland: WHO Press.
141. Xue-Song, W. (2009). Equilibrium and Kinetic Analysis for Cu⁺² and Ni⁺² adsorption onto Na- Mordenite. *Open Environ Pollut Toxicol J*; 1: 107–111. Doi: [10.2174/18763979009010100107](https://doi.org/10.2174/18763979009010100107).
142. Yurtsever A., Cınar Ö. & Sahinkaya E. (2016). Treatment of textile wastewater using sequential sulfate- reducing anaerobic and sul de-oxidizing aerobic membrane bioreactors. *J. Membr. Sci.* 511, 228- 237. Doi: [10.1016/j.memsci.2016.03.044](https://doi.org/10.1016/j.memsci.2016.03.044).
143. Zapata, A. G. (2001). La regulación del ciclo celular: modelos experimentales sencillos que resultan en premios Nobel. *Anales de la Real Academia de Farmacia*, 67(4), 507–519. Doi: [Org/10.1016/J. Jsc.2007.01.007](https://doi.org/10.1016/J. Jsc.2007.01.007).
144. Zollinger, H. (2003). *Color Chemistry: Syntheses, Properties, and Applications of Organic Dyes and Pigments*. Wiley. <https://books.google.com.mx/books?id=0Ynge4E5rqYC>.