

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Respuesta Morfológica de Plantas de Tomate a la Aplicación de Hidrocarburos
Simulando un Evento de Contaminación.

Por:

MOISÉS ROSAS TAMAYO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Saltillo, Coahuila, México.

Septiembre 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Respuesta Morfológica de Plantas de Tomate a la Aplicación de Hidrocarburos
Simulando un Evento de Contaminación.

Por:

MOISÉS ROSAS TAMAYO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN.

Aprobada por el Comité de Asesoría:

Dr. Adalberto Benavides Mendoza
Asesor Principal

Dra. Susana González Morales
Coasesora

Dra. Francisca Ramírez Godina
Coasesora

Dr. José Antonio González Fuentes
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México.

Septiembre 2019

AGRADECIMIENTOS

A, dios que me permite avanzar en esta etapa más de mi vida con salud y alegría.

A, mi familia por estar conmigo en los momentos más felices de mi vida pero sobre todo por apoyarme en los momentos más difíciles.

A, mi alma mater por esta gran oportunidad que me ha dado para formar parte del gran equipo de profesionistas que colaboran en la alimentación de México y del mundo y también por ser mi hogar durante cuatro cálidos años.

A, mi novia Danny por apoyarme siempre en todas las cosas.

A, mis amigos y amigas por brindarme su respeto, sinceridad, amor y caridad durante mi estancia en nuestra alma mater, tratándonos como hermanos y hermanas.

A, todos los ingenieros, maestros y doctores que se preocuparon por mi formación académica brindándome su conocimiento y consejos.

Al grupo norteño buitres por brindarme un espacio en mi recreación y arte de la música

.

A todas aquellas personas que me hicieron obstáculos durante mi vida porque gracias a ellos aprendí el valor de la perseverancia y humildad.

DEDICATORIA

Esta tesis la dedico con mucho cariño a todas aquellas personas que le dan interés al tema y pueda seguir avanzando con la misma.

También le dedico mi trabajo a mi madre Yolanda por brindarme su amor infinito, así como proporcionarme una gran cantidad de valores y enseñanzas importantes para mi vida y por todo su apoyo incondicional desde que me dio a luz.

A, mi padre Rey José por enseñarme el valor del amor, serenidad y humildad en cada momento de mi vida.

A, mi hermana Itzel por brindarme su amor, confianza y apoyo siempre.

A mis tíos Alejandro y Alejandra que son como mis segundos padres ya que siempre me apoyaron en múltiples situaciones y proyectos de vida. También a Israel y Ángel por su cariño y vivir momentos felices.

A mi abuelita Balbina en compañía de mis tías Dolores y Teresa por ser como mis madres y darme su amor, sabiduría y apoyo.

A mi novia Daniela por brindarme su amor incondicional.

A, mi abuelita Oliva por darme amor y dar el gran ejemplo como madre y padre a la vez.

A mi tío Fernando por sus consejos y lecciones de disciplina y perseverancia, además de demostrarme su apoyo en compañía de mi tía Arely y mis primos Fernando, Yareli y Luis.

A, Leonardo y Daniel por darme consejos a cada paso que voy y darme el amor de hermano, además de preocuparse por mí en conjunto con Yolis, Erika, Heidi, Yolethe y Erika Daniela.

A, mi tío Carmelo por el cariño y felicidad que me transmite en compañía de mi tía Laura y mis primos Paola e Isaí.

A, mi tía Olga por su cariño en compañía de mi tío pablo y Yoali

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	vii
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN.....	2
Objetivo general.....	4
Objetivos específicos.....	4
Hipótesis.....	4
REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
Hidrocarburos	5
Hidrocarburos saturados.....	5
Hidrocarburos insaturados.....	6
Hidrocarburos aromáticos:	6
Hidrocarburos comunes.....	6
Agua congénita asociada a la presencia de hidrocarburos.....	6
Comportamiento de los hidrocarburos en el medio ambiente	7
Hidrocarburos en el suelo	7
Hidrocarburos en el agua	8
Hidrocarburos en el aire	8
Fuentes de contaminación por hidrocarburos.....	9
Estudios de toxicidad en seres vivos.....	10
Estudios de toxicidad en plantas.....	10
Normas mexicanas	10
Cultivo de tomate.....	12
Características botánicas del tomate.....	12
Condiciones agroecológicas del cultivo	12
MATERIALES Y MÉTODOS	14

Ubicación.....	14
Establecimiento del cultivo de tomate (<i>Lycopersicum esculentum</i> L.)	14
Irrigación de las plantas	15
Aplicación de los tratamientos.....	15
Evaluación de variables morfológicas	15
Evaluación de calidad de frutos	15
Diseño experimental	16
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	16
Variables morfológicas.....	16
Longitud de raíz.....	16
Diámetro de tallo	18
Altura de planta.....	21
Biomasa seca	23
Número de frutos.....	25
Variables de calidad de fruto	26
CONCLUSIONES	30
REFERENCIAS.....	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Principales sustancias involucradas en emergencias ambientales reportadas a la PROFEPA (INEEC, 2007)	10
Figura 2 Longitud de raíces evaluadas en plantas de tomate en etapa de floración tratadas con hidrocarburos.....	17
Figura 3. Longitud de raíces evaluadas en plantas de tomate en etapa de fructificación tratadas con hidrocarburos.....	18
Figura 4. Diámetro de tallos evaluados en plantas de tomate en etapa de floración tratadas con hidrocarburos.....	19
Figura 5. Diámetros de tallo evaluados en plantas de tomate en etapa de fructificación tratadas con hidrocarburos.....	20
Figura 6. Altura de plantas de tomate en etapa de floración tratadas con hidrocarburos.....	21
Figura 7. Altura de plantas de tomate en etapa de fructificación tratadas con hidrocarburos.....	22
Figura 8. Biomasa seca en plantas de tomate en etapa de floración tratadas con hidrocarburos.....	23
Figura 9. Biomasa seca en plantas de tomate en etapa de fructificación tratadas con hidrocarburos.....	24
Figura 10. Número de frutos en plantas de tomate en etapa de fructificación tratadas con hidrocarburos.....	25
Figura 11. Sólidos solubles totales evaluados en frutos de plantas de tomate tratadas con hidrocarburos.....	26
Figura 12. pH evaluado en frutos de plantas de tomate tratadas con hidrocarburos.....	27
Figura 13. Conductividad eléctrica evaluada en frutos de plantas de tomate tratadas con hidrocarburos.....	28
Figura 14. Acidez titulable evaluada en frutos de plantas de tomate tratadas con hidrocarburos.....	29

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Límites máximos permisibles para fracciones de hidrocarburos en el suelo	10
Tabla 2. Límites máximos permisibles para hidrocarburos específicos en el suelo	11
Tabla 3. Taxonomía del cultivo (<i>Lycopersicum esculentum</i> L.)	12

RESUMEN

La contaminación del suelo agrícola con hidrocarburos es un tema que ha ido ganando importancia en los últimos años. Los derrames de hidrocarburos, por las sustancias que involucran, pueden poner en peligro la integridad de los ecosistemas, así como la preservación de los recursos naturales, en los lugares donde se producen. En el presente experimento se realizó una simulación de contaminación a plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum*.) donde se aplicaron distintas concentraciones de hidrocarburos de fracción media (HFM) como el diésel e hidrocarburos de fracción ligera (HFL) como la gasolina aplicando, evaluando su respuesta morfológica en la etapa de floración y producción de fruto, así como la calidad del mismo. Los tratamientos consistieron en la aplicación diaria de diésel y gasolina marca PEMEX, en donde se utilizaron las concentraciones de gasolina de 90 y 80 mg L⁻¹ y en el caso de diésel concentraciones de 26 y 28 mg L⁻¹ y una mezcla de ambos hidrocarburos a una concentración de 20 mg L⁻¹ de gasolina y diésel. El diseño experimental fue completamente al azar con 16 repeticiones por tratamiento para cada una de las variables evaluadas. Los resultados indicaron que los hidrocarburos ocasionaron daños en la parte basal del tallo con las concentraciones más altas provocando la muerte de las plantas en un 12.5% con el tratamiento de diésel a 28 mg L⁻¹ y de un 6.25% con la gasolina a 90 mg L⁻¹., Sin embargo, se observó un aumento en el grado de precocidad en las plantas de tomate. En la calidad del fruto de tomate, con la gasolina a una concentración de 80 mg L⁻¹ aumentaron los grados brix, y en el caso de la gasolina 90 mg L⁻¹ y diésel 26 mg L⁻¹ aumentó el pH del fruto, también se encontró que los hidrocarburos disminuyen la conductividad eléctrica y el porcentaje de ácido cítrico en los frutos.

INTRODUCCIÓN

Los hidrocarburos están constituidos únicamente por carbono e hidrógeno y forman la base estructural común de todos los demás compuestos orgánicos. La mayoría se extrae de combustibles fósiles, en particular el petróleo, pero también del gas natural y de la hulla (Flores *et al.*, 2004). Son una fuente importante de generación de energía para las industrias, para los hogares y para el desarrollo de la vida diaria. Pero no son sólo combustibles, sino que a través de procesos más avanzados se separan sus elementos y se logra su aprovechamiento a través de la industria petroquímica (De la Cruz *et al.*, 2007).

El petróleo es un líquido viscoso de color verde, amarillo, marrón o negro, y está constituido por diferentes hidrocarburos, es decir, por compuestos formados por átomos de carbono e hidrógeno en cantidades variables (López, 2002). De la refinación del petróleo se derivan los siguientes subproductos: gas licuado de petróleo (GLP), gasolina, combustible pesado, queroseno para iluminación y calefacción, combustible diésel, materias primas de petroquímicos, aceites lubricantes y ceras, gasóleo de calefacción, aceite combustible para generación de energía eléctrica, combustible marino, calefacción industrial y urbana y asfalto para pavimentación y techado (MathPro, 2011). Como subproducto de la extracción del crudo y gas natural se obtienen aguas congénitas o aguas producidas (Martel-Valles *et al.*, 2014), estas contienen una concentración de sal elevada, además de bicarbonatos, sulfatos, calcio, magnesio y restos orgánicos. El vertido incontrolado genera un enorme impacto sobre el medio ambiente y puede contaminar fuentes de agua dulce si no se evita la emisión sobre el terreno (Condorchem, 2010). La disposición del agua congénita es difícil por los peligros de salificación de los cuerpos receptores como el agua y por la presencia de compuestos tóxicos (Mijaylova *et al.*, 2005).

La norma NMX-AA-012-SCFI-2001, establecida por la Comisión Nacional del Agua en México, indica que los hidrocarburos pueden estar presentes en aguas naturales, subterránea, superficial además de las aguas residuales. En el suelo la

presencia de gasolina, diésel o combustóleo interfiere con la determinación de parámetros como la textura, la materia orgánica, la densidad real y porosidad. (Martínez *et al.*, 2001).

Esta contaminación puede ser ocasionada por fugas en estaciones de servicio, tanques de almacenamiento subterráneo, ductos corroídos o en el transporte terrestre y marítimo (CENAPRED, 2001).

El límite máximo permisible de hidrocarburos para la descarga de agua congénita en cuerpos receptores de agua dulce es de 15 mg L⁻¹ y en aguas costeras y zonas marinas es de 40 mg L⁻¹ (SEMARNAT, 2003b).

En las plantas, los hidrocarburos pueden producir efectos negativos como retraso en la germinación, disminución de la biomasa y del área foliar (Adam y Duncan 2002).

Mendez *et al.*, (2006) demostraron a través de análisis físicos, químicos, biológicos y bacteriológicos que se realizaron en plantas, que las aguas congénitas podían usarse en bajos niveles para regar cultivos. Martel-Valles *et al.*, 2014 comentan que es factible utilizar este tipo de aguas cuando se diluyen con agua de riego regular para ajustar la conductividad eléctrica a 1.5 dS m⁻¹ para la producción de tomate en condiciones de invernadero. El uso de estas aguas también lograría una disminución del consumo de agua de primer uso (Sierra, 2008).

Díaz-López *et al.*, (2016) concluyeron que, dependiendo del tipo de hidrocarburo, su concentración y tiempo de exposición, los hidrocarburos producen cambios en las variables morfológicas, además que pueden favorecer los sólidos solubles totales en el fruto del cultivo de tomate. Martel-Valles *et al.*, (2017) indicaron que el pH en los lixiviados de plantas de tomate disminuye con la aplicación de gasolina a 30 mg L⁻¹ además de que al aplicar 15 y 30 mg L⁻¹ de diésel aumenta la concentración de nutrimentos en la raíz, tallo, hojas y fruto en el cultivo de tomate.

En México no hay una información sobre la concentración exacta en la cual pueden ser encontrados los hidrocarburos como el diésel y la gasolina en las aguas de riego para cultivos para que no se afecte el desarrollo de las plantas, es por esto que el presente trabajo en el cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero pretende estudiar las variables morfológicas del cultivo al aplicar diferentes concentraciones de hidrocarburos.

Objetivo general

Determinar la respuesta morfológica de plantas de tomate frente a diferentes concentraciones de hidrocarburos aplicadas en el sustrato.

Objetivos específicos

1. Evaluar la respuesta relacionada al vigor de plantas de tomate frente a diferentes concentraciones de hidrocarburos aplicadas en el sustrato.
2. Evaluar la respuesta relacionada al rendimiento de plantas de tomate frente a diferentes concentraciones de hidrocarburos aplicadas en el sustrato.
3. Evaluar la respuesta relacionada a la calidad de frutos de plantas de tomate frente a diferentes concentraciones de hidrocarburos aplicadas en el sustrato.

Hipótesis

El agua contaminada con hidrocarburos a concentraciones superiores a la NOM-143-SEMARNAT-2003 puede ser utilizada en el cultivo de plantas de tomate.

REVISIÓN DE LITERATURA

Hidrocarburos

Los hidrocarburos son un grupo de compuestos orgánicos que contienen principalmente carbono e hidrógeno. Son los compuestos orgánicos más simples y pueden ser considerados como las sustancias principales de las que se derivan todos los demás compuestos orgánicos. Pueden encontrarse de forma líquida natural como el petróleo, líquida por condensación como condensados y líquidos del gas natural, gaseoso como el gas natural y sólido en forma de hielo como son los hidratos de metano (SENER, 2015). A temperatura ambiente se presentan en forma de gases, líquidos o sólidos. La diversidad de hidrocarburos es muy amplia y de igual forma lo son sus propiedades físicas y químicas; por esta razón sus aplicaciones son múltiples, se emplean directamente como combustibles, solventes, o materia prima para la síntesis de productos medicinales, agroquímicos, plásticos, drogas industriales, entre otros. Las fuentes principales de los hidrocarburos son el petróleo, el gas natural y el carbón. A partir de comienzos de este siglo, con el desarrollo de la extracción del petróleo y el afianzamiento de la tecnología química, surge la Petroquímica, industria de base que con la producción de hidrocarburos, constituye uno de los pilares de la tecnología actual (Domenech, 1994). Según la NOM-138-SERMANAT/SS-2003 (SEMARNAT, 2003^a), se dividen en: hidrocarburos de fracción ligera (HFL) con moléculas de cadenas lineales con 5-10 átomos de carbono (C5 a C10); hidrocarburos de fracción media (HFM), con cadenas lineales entre 10 y 28 átomos de carbono (C10 a C28); hidrocarburos de fracción pesada (HFP) con cadenas mayores a C18.

Los hidrocarburos de acuerdo a su estructura se clasifican en hidrocarburos saturados, hidrocarburos insaturados, cicloalcanos (de uno o dos anillos) y aromáticos (Toscano, 2017).

Hidrocarburos saturados: también llamados alcanos o parafinas son aquellos compuestos que tienen el máximo de átomos de hidrógeno en su estructura molecular, es decir, todos sus enlaces posibles están saturados con átomos de hidrógeno. Los hidrocarburos lineales solamente presentan enlaces sencillos: C-C ó C-H (Animas *et al.*, 2017).

Hidrocarburos insaturados: pueden ser de dos tipos, alquenos (con dobles enlaces) y alquinos (con triples enlaces). Todos ellos hidrocarburos lineales no cíclicos (Méndez, 2010).

Hidrocarburos aromáticos: son aquellos hidrocarburos que poseen propiedades especiales asociadas con el núcleo o anillo del benceno, en el cual hay seis grupos de carbono-hidrógeno unidos a cada uno de los vértices de un hexágono (Botello, 2005). El petróleo es un líquido viscoso de color verde, amarillo, marrón o negro, y que está constituido por diferentes hidrocarburos, es decir, por compuestos formados por átomos de carbono e hidrógeno en cantidades variables (López, 2002). La teoría supone que el petróleo se originó por la descomposición de los restos de animales y algas microscópicas acumuladas en el fondo de las lagunas y en el curso inferior de los ríos. Esta materia orgánica se cubrió paulatinamente con capas cada vez más gruesas de sedimentos, al abrigo de las cuales, en determinadas condiciones de presión, temperatura y tiempo, se transformó lentamente en hidrocarburos (compuestos formados de carbón e hidrógeno), con pequeñas cantidades de azufre, oxígeno, nitrógeno, y trazas de metales como fierro, cromo, níquel y vanadio, cuya mezcla constituye el petróleo crudo (Chow, 1998).

Hidrocarburos comunes

De la refinación del petróleo se encuentran los siguientes subproductos:

Gas licuado de petróleo (GLP), gasolina, combustible pesado, queroseno (para iluminación y calefacción), combustible diésel, materias primas de petroquímicos, aceites lubricantes y ceras, gasóleo de calefacción, aceite combustible (para generación de energía eléctrica, combustible marino, calefacción industrial y urbana) y asfalto (para pavimentación y techado) (MathPro, 2011). La gasolina es una mezcla compleja manufacturada que no existe naturalmente en el ambiente, está constituida aproximadamente por 70% de compuestos alifáticos saturados y 30% de hidrocarburos aromáticos como el benceno, tolueno e isómeros del xileno conocidos en su conjunto como (BTEX) (Coates *et al.*, 2002). Por otra parte, el diésel es una mezcla de hidrocarburos parafínicos, olefínicos y aromáticos, derivados del procesamiento del petróleo crudo. Este producto se emplea como combustible automotriz. Su contenido máximo de azufre total, es de 15.0 mg/kg (PEMEX, 2019).

Agua congénita asociada a la presencia de hidrocarburos

El agua congénita o de formación, es agua salada que se encuentra dentro de la roca, asociada a la presencia de hidrocarburos. Contiene sales disueltas, como cloruros de calcio y sodio, carbonatos de sodio, cloruros de potasio, sulfatos de calcio o de bario, entre otros; puede incluso contener algunos metales

(SEMARNAT, 2003). Otra definición es dada por PEMEX: agua asociada al hidrocarburo en el yacimiento y que surge durante la extracción del mismo. Contiene sales y puede tener metales. Se considera un subproducto no aprovechable (PEMEX, 2014). Las aguas congénitas o aguas saladas son un subproducto de la extracción de crudo al igual que el gas natural que fluye a través del pozo. Una vez separadas las aguas congénitas del crudo se verifica que estas contienen una concentración de sal entre 10 y 150 g/L (2.2 a 50 libras/barril), además de bicarbonatos, sulfatos, calcio, magnesio y restos orgánicos (Condorchem, 2010).

En el mundo 250 millones de barriles de agua congénita se producen cada día en los campos petroleros, y más del 40% de ésta se descarga en el medio ambiente (Degrémont, 2016).

Comportamiento de los hidrocarburos en el medio ambiente

Actualmente, uno de los problemas ambientales importantes es la contaminación de ecosistemas terrestres por derrames de hidrocarburos, principalmente del petróleo y sus derivados, que ocurren en actividades de explotación y transporte de los mismos (Pardo *et al.*, 2006), ya sea por contacto, absorción, captación, inhalación de vapores y partículas o ingestión directa (Ranjan *et al.*, 2006). La contaminación por hidrocarburos se produce de forma frecuente y los principales orígenes de aparición de hidrocarburos en el suelo y subsuelo son por fuga de depósitos, vertidos accidentales, enterramiento de residuos que contienen hidrocarburos, lavado de aglutinantes de caminos asfaltados y riegos de caminos de tierra con aceites residuales para evitar el polvo (Alonso *et al.*, 2012).

Hidrocarburos en el suelo

Se sabe que las gasolinas y el diésel son contaminantes de suelos y aguas subterráneas (Altamirano *et al.*, 20019). Estudios demuestran que los constituyentes del petróleo pueden inhibir la actividad enzimática del suelo (Alrumman *et al.*, 2015). En el suelo la presencia de gasolina, diésel o combustóleo interfieren en la determinación de parámetros como la textura, materia orgánica, densidad real y porosidad (Martínez *et al.*, 2001).

Una afectación importante son los suelos agrícolas, provocando un perjuicio económico y social debido a la inutilización de estos suelos para la producción de cultivos o ganadería (Infante, 1998). Adams *et al.*, (2008) reportan la afectación que los hidrocarburos generan a la fertilidad a través de mecanismos como la toxicidad directa en los organismos del suelo, reducción en la retención de humedad y/o nutrientes, compactación, cambios en el pH y salinidad. La toxicidad de los hidrocarburos de petróleo, tanto alifático como aromático, es variable, pero en general, aquellos de menor peso molecular son más tóxicos. Serrano *et al.*,

(2013) menciona que el derrame de hidrocarburos en el suelo conduce a un deterioro, pérdida del contenido de materia orgánica, y pérdida de nutrientes minerales del suelo, tales como potasio, sodio, sulfato, fosfato y nitrato, además, el suelo se expone a la lixiviación y erosión.

Hidrocarburos en el agua

La contaminación de las aguas por hidrocarburos en los sistemas de almacenamiento, en las fuentes de abastecimiento subterráneo y superficial, así como en otros cuerpos de agua es un hecho que ocurre con relativa frecuencia. (Prieto, 1999). Los hidrocarburos no solo impactan la capa superficial del suelo; también pueden ser movilizados, o incluso transportados por escorrentía, incrementando aún más el daño ambiental. Dicha contaminación afecta las condiciones fisicoquímicas del agua al presentarse una disminución de oxígeno disuelto debido a la reducción de la transferencia de oxígeno entre la fase atmósfera – agua, al igual que la entrada de luz al medio, lo que inhibe el crecimiento de ciertas especies y disminuye la fijación de nutrientes (Jiménez, 2006). Uno de los efectos adicionales tanto en agua como suelos es que el petróleo consume oxígeno, aumenta la demanda bioquímica del agua y puede generar condiciones anóxicas (Velásquez, 2018).

Las contaminaciones pueden presentarse de 2 formas generales: puntuales y sistemáticas. Las primeras ocurren de manera fortuita en los cuerpos de agua donde generalmente no hay presencia de hidrocarburos. Las segundas son habituales y caracterizan en aquellas aguas que son contaminadas por la actividad antrópica que en ellas se realiza. Por otro lado, las fuentes de la contaminación pueden ser simples o múltiples, y verter al medio uno o varios componentes del petróleo (Prieto, 1999).

Hidrocarburos en el aire

Los compuestos orgánicos volátiles (COV) son hidrocarburos en el estado gaseoso a la temperatura ambiente, o que son muy volátiles a dicha temperatura (Camargo *et al.*, 2010). Existe gran cantidad de estos compuestos y dentro de los más abundantes en el aire se encuentran el metano, tolueno, n-butano, isopentano, etano, benceno, n-pentano, propano y etileno. Tienen un origen tanto natural (COV biogénicos) como antropogénico (Ramon, 2013).

La emisión de los compuestos orgánicos volátiles biogénicos (COVBs) produce diversos efectos en la atmósfera desencadenando diversas reacciones con $\bullet\text{OH}$, $\bullet\text{NO}_3$ y O_3 generando la formación de compuestos oxigenados y ozono troposférico (Corada, 2012).

Las fuentes de emisión de contaminantes atmosféricos de origen antropogénico pueden ser puntuales, generalmente fijas y de gran caudal de emisión, como es el caso de las grandes factorías aisladas de otras instalaciones industriales, o pueden ser zonales, es decir, una mezcla de fuentes fijas y móviles de diferente entidad y agrupadas en el espacio, donde vienen a coincidir también con la población que sufre los efectos de la contaminación (Sanz, 1991).

BTEX es el nombre del grupo de compuestos orgánicos volátiles conformado por benceno, tolueno, etilbenceno, p-xileno, m-xileno y o-xileno que pertenecen a la familia de los hidrocarburos aromáticos y que se caracterizan por encontrarse en forma de vapor a temperatura ambiente, por ser insolubles en agua, pero muy solubles en otras sustancias, propiedad que hace que sean muy usados en la industria, en especial el tolueno y xileno (Lacasaña *et al.*, 2008), estos compuestos pueden ingresar en la atmósfera por diferentes fuentes de emisión, como fuentes naturales o artificiales, pero son las fuentes artificiales las que más contribuyen a su concentración, ya que estos compuestos aromáticos son adicionados a la gasolina para aumentar su octanaje y son generados por la combustión de dicho combustible, además de que se encuentran de manera natural en el petróleo y sus derivados, haciendo que la mayoría de los procesos de combustión tanto ligados a la industria como al tráfico rodado sean la fuente más importante de emisión (Lacasaña *et al.*, 2008; UNAL- AMVA, 2012).

Fuentes de contaminación por hidrocarburos

Como consecuencia de varios siglos de actividad minera en México y posteriormente, debido a la industria de la química básica, petroquímica y de refinación del petróleo, se han producido cantidades muy grandes, pero muy difíciles de cuantificar de residuos peligrosos. Aunado a lo anterior, la intensa actividad de otras industrias, junto con accidentes durante el almacenamiento, transporte o trasvase de sustancias (fugas, derrames, incendios) y la disposición clandestina e incontrolada de residuos, contribuyen en gran medida a la contaminación de suelos (SEMARNAT, 2002).

Entre las causas que han generado este deterioro ambiental por la contaminación de cuerpos de agua y suelos a lo largo de todo el país, se encuentran las siguientes: (i) manejo inadecuado y abandono de materiales y residuos peligrosos; (ii) mantenimiento inadecuado o falta de éste en instalaciones petroleras; (iii) explosiones en instalaciones de alto riesgo; (iv) fugas en líneas de conducción; (v) derrames de hidrocarburos (Figura1) (CENAPRED, 2001; INEEC, 2007).

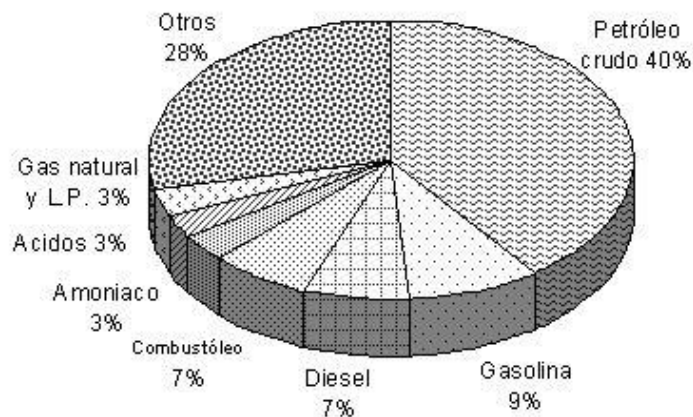


Figura 1 Principales sustancias involucradas en emergencias ambientales reportadas a la PROFEPA (INEEC, 2007)

Estudios de toxicidad en seres vivos

Dentro del grupo de contaminantes que afectan la biota se encuentran el petróleo y sus derivados, que constituyen una de las fuentes de introducción de hidrocarburos al ambiente, al ser componentes del mismo y contener la fracción más tóxica, la cual agrupa a los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) (Nair *et al.*, 2008). Estos pueden afectar significativamente a los ecosistemas, influenciando a las comunidades marinas planctónicas y bentónicas, así como organismos superiores como peces y mamíferos (Pane *et al.*, 2005); son reconocidos como potenciales carcinógenos, mutágenos y teratógenos para los seres vivos (Boscolo *et al.*, 2007), por lo que amenazan la salud humana, ya sea directa o indirectamente a través de la cadena alimentaria (Dixon *et al.*, 2002).

Estudios de toxicidad en plantas

Los hidrocarburos pueden producir efectos negativos como retraso en la germinación, disminución de la biomasa y del área foliar (Adam y Duncan 2002). Así como también afecta el brote de meristemos, disminución de la elongación radicular y la fotosíntesis (Pérez *et al.*, 2002, Gafari-Rahbar *et al.*, 2012, Sangeetha *et al.*, 2014). Serrano *et al.*, (2013), reportan que la contaminación por hidrocarburos de petróleo también ejerce efectos adversos sobre las plantas indirectamente, generando minerales tóxicos en el suelo disponible para ser absorbidos, además, la presencia de estos contaminantes ha dado lugar a la pérdida de la fertilidad del suelo, bajos rendimiento de cosechas y posibles consecuencias perjudiciales para los seres humanos y el ecosistema entero.

FRACCION DE HIDROCARBUROS	Uso de suelo predominante ¹ (mg/kg base seca)			Normas mexicanas norma
	Agrícola ²	Residencial ³	Industrial	
Ligera	200	200	500	10
Media	1,200	1,200	5,000	
Pesada	3,000	3,000	6,000	

mexicana NOM-138-SEMARNAT/SS-2003 se promulgó con el objetivo de establecer los límites máximos permisibles de hidrocarburos en los suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación. Esta Norma Oficial Mexicana es de observancia obligatoria en todo el territorio nacional para quienes resulten responsables de la contaminación con hidrocarburos en suelos (Tabla 1 y 2).

Tabla 1. Límites máximos permisibles para fracciones de hidrocarburos en el suelo.

Hidrocarburos específicos	Uso de suelo predominante ¹ (mg/kg base seca)		
	Agrícola ²	Residencial ₃	Industrial
Benceno	6	6	15
Tolueno	40	40	100
Etilbenceno	10	10	25
Xilenos (suma de isómeros)	40	40	100
Benzo[a]pireno ⁴	2	2	10
Dibenzo[a,h]antraceno ⁴	2	2	10
Benzo[a]antraceno ⁴	2	2	10
Benzo[b]fluoranteno ⁴	2	2	10
Benzo[k]fluoranteno ⁴	8	8	80
Indeno (1,2,3-cd)pireno ⁴	2	2	10

Tabla 2. Límites máximos permisibles para hidrocarburos específicos en el suelo.

Fuente: SEMARNAT (2003)

La norma NOM-143-SEMARNAT-2003 establece que el límite máximo permisible de hidrocarburos para la descarga de agua congénita en cuerpos receptores de agua dulce es de 15mg L⁻¹ y en aguas costeras y zonas marinas es de 40 mg L⁻¹ (SEMARNAT, 2003b).

Cultivo de tomate

El tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) es considerado como una de las hortalizas de mayor importancia en muchos países del mundo, por el sinnúmero de subproductos que se obtiene de él y las divisas que aporta; es por ello que ha originado la incorporación de vastas extensiones de tierra al cultivo del tomate, y la necesidad de utilizar las tierras hasta ahora consideradas marginales para el cultivo, debido a las condiciones climáticas adversas (Santiago, 1998.).

Características botánicas del tomate

El tomate pertenece a la familia *Solanaceae*. Es una planta dicotiledónea (Cestoni *et al.*, 2006) y herbácea perenne, que se cultiva en forma anual para el consumo de sus frutos (Bährle, 2015).

Tabla 3. Taxonomía del cultivo (*Lycopersicum esculentum* L.)

Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Subclase	<i>Asteridae</i>
Orden	<i>Solanales</i>
Familia	<i>Solanaceae</i>
Género	<i>Solanum</i>
Especie	<i>Lycopersicum</i>

Fuente: Bährle 2015.

Condiciones agroecológicas del cultivo

Temperatura

La temperatura óptima de desarrollo del cultivo oscila entre 20°C y 30°C durante el día y entre 10°C y 17°C durante la noche. Temperaturas superiores a los 30°C reducen la fructificación y la fecundación de los óvulos, afectan el desarrollo de los frutos y disminuyen el crecimiento y la biomasa de la planta. Las plantas de tomate se desarrollan mejor con temperaturas de entre 18°C y 24°C (Díaz, 2007).

Humedad relativa

La humedad relativa (HR) óptima que se ubica entre 60% y 80%, favorece el desarrollo normal de la polinización y garantiza una buena producción. El exceso o déficit de HR produce desórdenes fisiológicos y favorece la presencia de enfermedades. Una humedad relativa superior al 80% favorece la permanencia de enfermedades aéreas, el agrietamiento del fruto y dificulta la fecundación, ya que el polen se humedece y hay aborto floral. Una alta humedad relativa y una baja iluminación reducen la viabilidad del polen y pueden limitar la evapotranspiración, disminuir la absorción del agua y los nutrientes, generar déficit de elementos como el calcio e inducir desórdenes fisiológicos. Una humedad relativa menor al 60% dificulta la polinización (Infoagro Systems S.L., 2016).

Luminosidad

Cuando la luminosidad es reducida, ello puede afectar en forma negativa los procesos de floración, fecundación y desarrollo vegetativo de la planta. Durante los periodos críticos del desarrollo vegetativo de la planta la interrelación entre la temperatura diurna, nocturna y la luminosidad es fundamental (Infoagro Systems S.L., 2016). Por tal motivo se recomienda no cultivar tomate en sitios que permanecen nublados, ya que los rendimientos disminuyen considerablemente (INTA, 2014).

Altitud

En el ámbito mundial las zonas donde más se ha adaptado esta especie son las de clima templado, ubicadas entre 1000 y 2000 msnm en ambientes protegidos (Vallejo, 1999). En la actualidad se encuentran cultivares adaptados a rangos de altitudes más amplios.

Toxicidad

El cultivo de tomate no es muy exigente en términos de suelo, excepto en lo que respecta al drenaje; no obstante, se obtienen mejores resultados en suelos profundos (de 1 m o más de profundidad), de texturas medias, permeables y sin impedimentos físicos en su perfil (Infoagro Systems S.L, 2016). El tomate tolera la acidez y crece adecuadamente en pH de 5 a 6.8. Es medianamente tolerante a la salinidad,

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

El experimento se realizó en el invernadero de alta tecnología perteneciente al Departamento de Forestal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México correspondiente a las coordenadas geográficas 25° 22' latitud norte, 101°00' longitud oeste y con una altitud de 1760 msnm.

Establecimiento del cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum* L.)

El periodo en que se llevó a cabo el cultivo fue el 7 de agosto al 29 de noviembre del 2017; la siembra de las semillas de tomate saladette (*Lycopersicum esculentum* L.) con naturaleza híbrida f1: 74-156 (Rijk Zwaan Zaadteelt en Zaadhandel B.V.) de crecimiento indeterminado se sembraron en charolas de poliestireno; 31 días después se trasplantaron en contenedores o macetas de polietileno rígido color negro con un volumen de 16 L, utilizando como medio de sustrato turba acida y perlita (1:1 v/v). Antes de comenzar con la aplicación de los tratamientos, la planta se mantuvo nutrida con solución Steiner durante 14 días al 25% (Steiner 1961).

Irrigación de las plantas

Para el riego de las plantas se implementó un sistema por goteo utilizando estacas de alto flujo tres veces por día durante cinco minutos en un horario de (9:00, 14:00 y 18:00 hrs). En los primeros dos riegos se aplicó solo solución nutritiva Steiner, la cual se fue incrementando en concentración de acuerdo a cada etapa fenológica (25, 50, 75 y 100 %). El volumen de agua aplicado en cada riego fue de 500 mL y el pH se controló con la adición de H₂SO₄.

Aplicación de los tratamientos

Los tratamientos consistieron en la aplicación diaria de diésel como hidrocarburo de fracción media (HFM) y gasolina como hidrocarburo de fracción ligera (HFL) marca PEMEX, en donde se utilizaron las concentraciones de gasolina a 90 mg L⁻¹ y 80 mg L⁻¹, y de diésel a una concentración de 26 mg L⁻¹ y 28 mg L⁻¹ y una mezcla de una concentración de 20 mg L⁻¹ de gasolina y diésel, los tratamientos anteriores se aplicaron con una jeringa con capacidad de 1 mL. Las concentraciones se establecieron en base a resultados obtenidos por López-Días (2016). Cabe destacar que las normas oficiales mexicanas NOM-138-SEMARNAT/SS-2003 y NOM-001-ECOL-1996 (SEMARNAT 1996, 2003^a) establecen un límite de 15 mg L⁻¹. La concentración se calculó para un volumen de 500 mL, y dicho volumen se mantuvo durante todo el ciclo, los mL calculados para cada caso fueron aplicados diariamente a cada planta durante el tercer riego. El manejo del cultivo consistió en la realización de labores culturales como poda y tutorado recomendadas para tomate bajo invernadero.

Evaluación de variables morfológicas

En la evaluación de las variables morfológicas se realizaron 2 muestreos, uno en la etapa de floración (30 DDT) y otro en fructificación (115 DDT), se seleccionaron cinco plantas al azar por tratamiento; en ellas se midió la altura medida desde la base del tallo a la parte apical con un flexómetro, el diámetro de tallo con un vernier y el peso seco de la biomasa. Para esta última variable la planta fue secada en una estufa a 60°C por 72 horas. En el segundo muestreo (115 DDT), además de las variables antes mencionadas, también se contabilizó el número de frutos, en el cual se hizo una sumatoria de los frutos de cada racimo (se tomó en cuenta hasta el cuarto racimo) en 5 plantas de cada tratamiento elegidas al azar.

Evaluación de calidad de frutos

Para la evaluación de la calidad de frutos, se determinó la conductividad eléctrica (CE), los sólidos solubles totales (SST), pH, acidez titulable. La colecta de los frutos se realizó a los 85 y 90 (DDT). Se eligieron los frutos del segundo racimo de cinco plantas por tratamiento en la etapa 6 (rojo claro) de la maduración de acuerdo a la escala visual USDA (1999).

Para la evaluación de las variables mencionadas anteriormente se realizó una maceración de los frutos hasta formar una pulpa, se tomó una pequeña cantidad y se colocó en el sensor de los electrodos para tomar la lectura. El pH y la CE fueron medidos con la ayuda de los electrodos portátiles (marca HORIBA modelo LAQUA twien). Los SST expresados en °Brix fueron medidos con un refractómetro (marca Atago modelo Pal 1) colocando la muestra en el sensor y dirigiéndolo hacia la luz para observar las medias en la escala del instrumento.

La acidez titulable (AT) se determinó mediante la técnica colorimétrica de acuerdo con la metodología AOAC (1990) utilizando 10 mL de pulpa del fruto macerado, posteriormente se agregaron tres gotas de fenolftaleína (1%) y se tituló con NaOH (0.1 N). Los datos se expresaron en porcentaje de ácido cítrico.

Diseño experimental

El diseño experimental fue completamente al azar con 5 repeticiones por tratamiento para cada una de las variables evaluadas. El análisis de varianza y comparación de medias por el método de Fisher ($P \leq 0.05$), se realizaron mediante el uso del Software InfoStat(2018).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variables morfológicas

Los hidrocarburos ocasionaron daños en la parte basal del tallo con las concentraciones más altas provocando la muerte de un 12.5% con el tratamiento de diésel a 28 mg L^{-1} y con la gasolina a 90 mg L^{-1} fue de un 6.25 % en los primeros días de la aplicación. Esto se debe a que la toxicidad depende de la especie y la concentración del hidrocarburo (Sharonova y Breus, 2012).

Longitud de raíz

En cuanto a la longitud de raíz evaluada en etapa de floración se puede observar una ligera diferencia con respecto al testigo, siendo los tratamientos de gasolina 90 mg L^{-1} con un incremento de 85.45%, diésel 26 mg L^{-1} aumentando el 83.55% y diésel 28 mg L^{-1} con un aumento del 87.85%, Esto se debe a que ciertos hidrocarburos o sus metabolitos en bajas concentraciones funcionan como auxinas naturales (Bossert y Bartha, 1985; Salanitro *et al.*, 1997), además de que

los hidrocarburos dependiendo de su concentración y tiempo de exposición pueden estimular al crecimiento de especies vegetales (Martínez y López, 2001), también existió una disminución del 17% por parte del tratamiento G 80 con un con respecto al testigo (Figura 2).

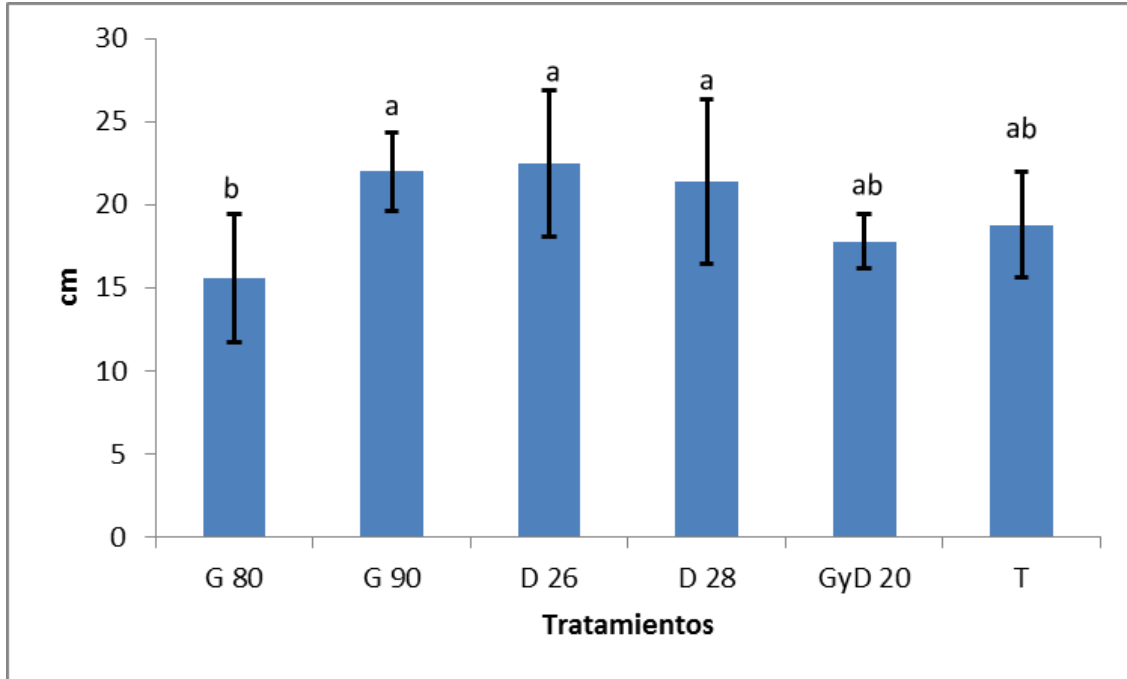


Figura 2 Longitud de raíces evaluadas en plantas de tomate en etapa de floración tratadas con hidrocarburos. Letras diferentes en las columnas indican efectos significativos de acuerdo con Fisher ($\alpha \leq 0.05$). Las barras representan el error estándar de la media.

Respecto a la longitud de raíz en etapa de fructificación, los tratamientos presentaron diferencias estadísticas, donde el tratamiento de gasolina a 90mg L^{-1} mostró una disminución del 50% en la longitud de raíz comparado con el testigo. Esto se debe a que dependiendo de su estructura química y concentración, los hidrocarburos afectan la morfología de las plantas (Smith *et al.*, 2006), observándose una disminución en el crecimiento de la raíz (Quiñones *et al.*, 2003). Los mismos autores también afirman que concentraciones altas de hidrocarburos impiden la absorción de agua y nutrientes debido a la formación de una capa hidrofóbica sobre las raíces mientras que en concentraciones bajas permitieron un mejor crecimiento y desarrollo, con base en emergencia, altura de planta, longitud de raíz y pesos secos en plantas de maíz. El resto de los tratamientos no mostraron diferencias significativas con el testigo (Figura 3).

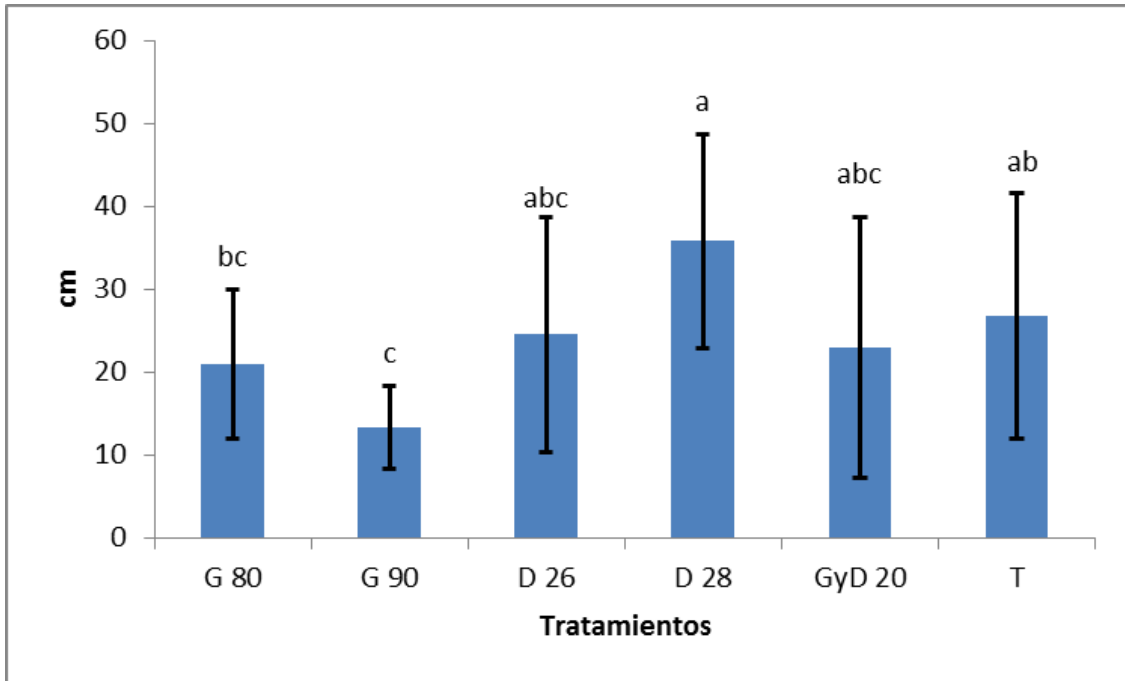


Figura 3. Longitud de raíces evaluadas en plantas de tomate en etapa de fructificación tratadas con hidrocarburos. Letras diferentes en las columnas indican efectos significativos de acuerdo con Fisher ($\alpha \leq 0.05$). Las barras representan el error estándar de la media.

Diámetro de tallo

En el diámetro de tallo en etapa de floración, los tratamientos presentaron diferencias estadísticas, donde el tratamiento de diésel a 26 mg L^{-1} obtuvo un incremento del 84% comparado con el testigo, mientras que los demás tratamientos no fueron estadísticamente diferentes al testigo (Figura 4).

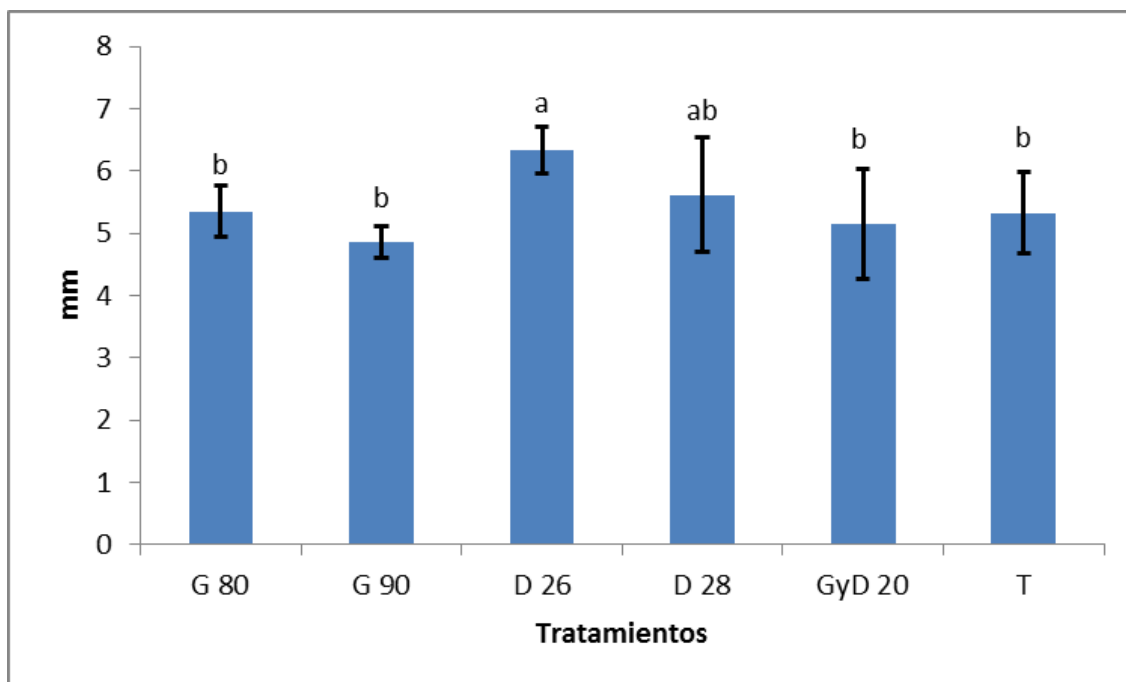


Figura 4. Diámetro de tallos evaluados en plantas de tomate en etapa de floración tratadas con hidrocarburos. Letras diferentes en las columnas indican efectos significativos de acuerdo con Fisher ($\alpha \leq 0.05$). Las barras representan el error estándar de la media.

En cuanto al diámetro de tallo en la etapa de fructificación, los tratamientos presentaron diferencias estadísticas, donde el tratamiento de gasolina a 90 mg L⁻¹ obtuvo un incremento del 72.94% y el tratamiento gasolina 80 mg L⁻¹ incrementó 75.55% comparado con el testigo, Esto se debe a que como cualquier agente estresante si se aplica hidrocarburos en proporciones inferiores a su límite tóxico

favorecen el crecimiento y desarrollo de las plantas (Pessaraki, 2011), mientras que los demás tratamientos no fueron estadísticamente diferentes al testigo (Figura 5).

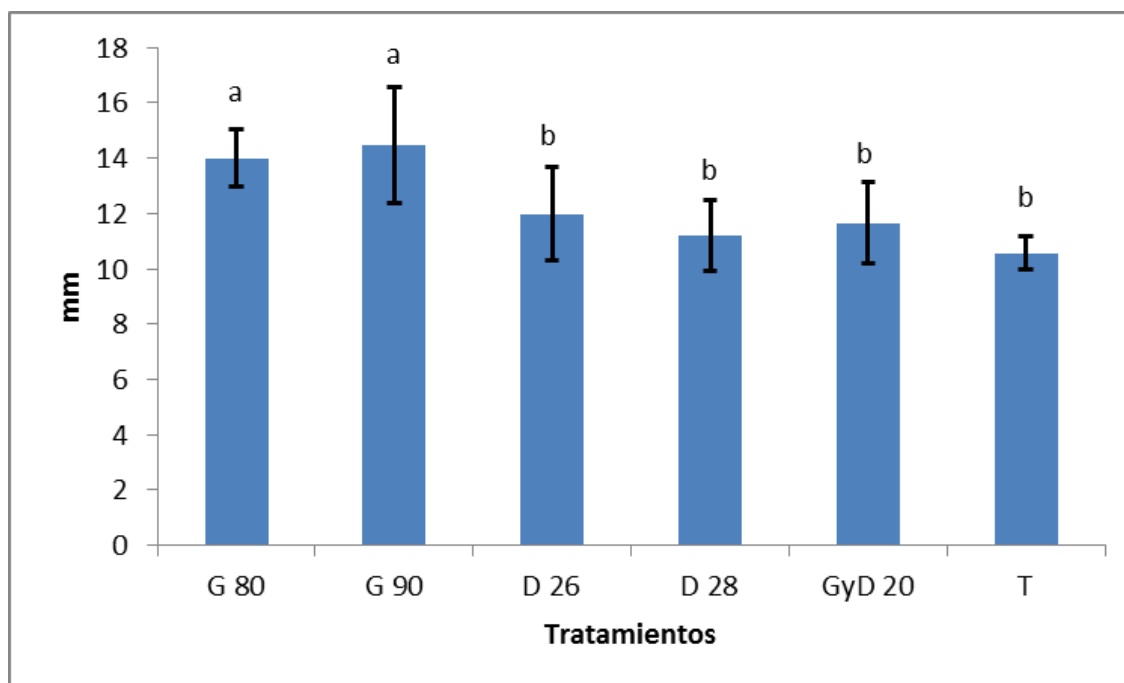


Figura 5. Diámetros de tallo evaluados en plantas de tomate en etapa de fructificación tratadas con hidrocarburos. Letras diferentes en las columnas indican efectos significativos de acuerdo con Fisher ($\alpha \leq 0.05$). Las barras representan el error estándar de la media.

Altura de planta

En la altura de planta en la etapa de floración, los tratamientos no presentaron diferencias estadísticas, sin embargo el tratamiento gasolina y diésel ambos a una concentración de 20 mg L^{-1} mostró un ligero incremento de 95.72% con respecto al testigo, esto se debe a que la contaminación del suelo con hidrocarburos a niveles bajos ayudaron a estimular en lugar de inhibir el crecimiento de las plantas en las primeras etapas de su desarrollo cuando existía un alto contenido de materia orgánica ya que ayudó a regular la concentración de HAP en la fase acuosa del suelo (Maliszewska-Kordybach y Smreczak 2000), mientras que los demás tratamientos no fueron estadísticamente diferentes al testigo (Figura 6).

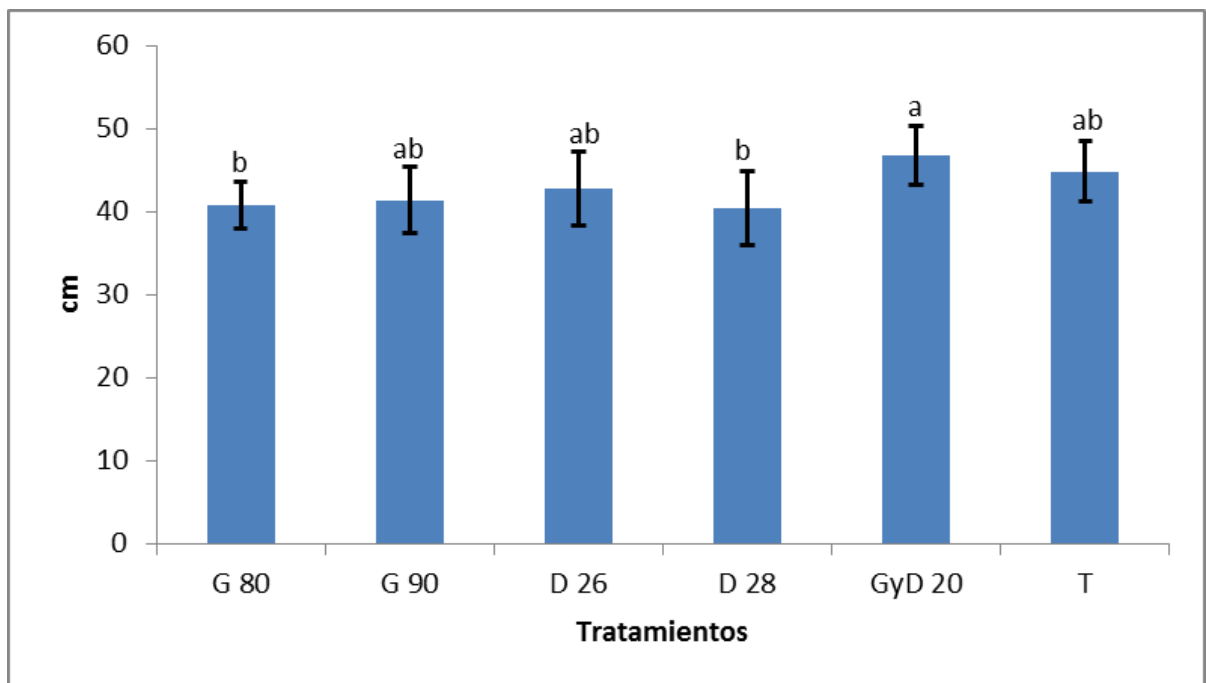


Figura 6. Altura de plantas de tomate en etapa de floración tratadas con hidrocarburos. Letras diferentes en las columnas indican efectos significativos de acuerdo con Fisher ($\alpha \leq 0.05$). Las barras representan el error estándar de la media.

En la altura de planta en etapa de fructificación existieron diferencias significativas, siendo el tratamiento gasolina y diésel 20 mg L⁻¹ el que incrementó un 87.92%, esto se debe que en condiciones de estrés las plantas incrementan su actividad liberando una mayor cantidad de H⁺ por la raíz (Neumann y Römheld 2007), además de que existió un ligero decremento de 8.58% por parte del tratamiento gasolina 80 mg L⁻¹ con respecto al testigo, esto también se pudo deber a que los lixiviados de los hidrocarburos del petróleo, reducen el metabolismo y desarrollo fisiológico de las plantas tras un derrame, al inhibir la madurez fisiológica de las raíces y propiciar la reducción en la biomasa foliar (Blankenship y Larson 1978, Sadunishvili et al., 2009, Hawrot-Paw y Bąkowska 2014).

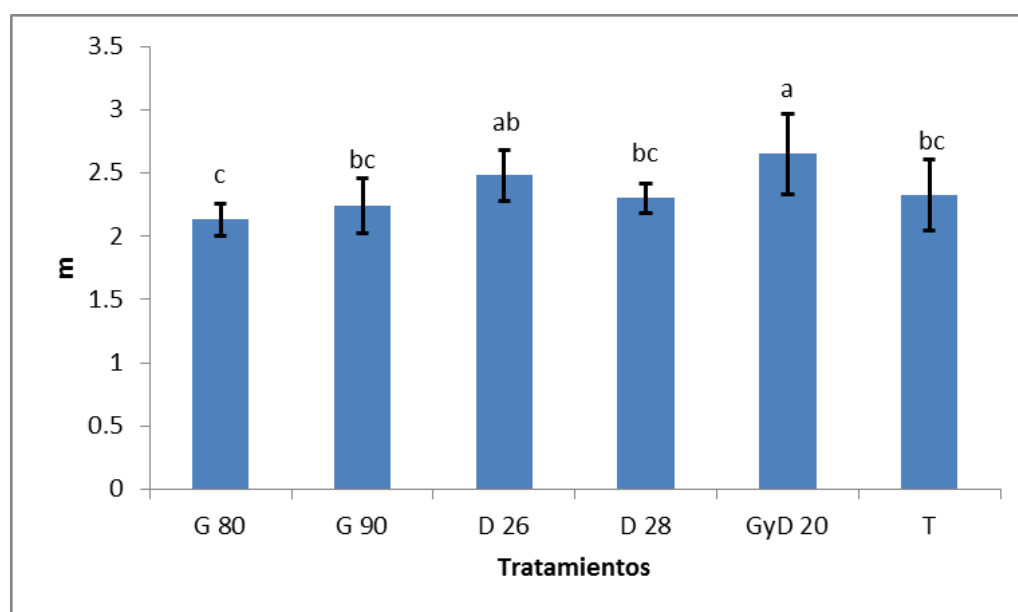


Figura 7. Altura de plantas de tomate en etapa de fructificación tratadas con hidrocarburos. Letras diferentes en las columnas indican efectos significativos de acuerdo con Fisher ($\alpha \leq 0.05$). Las barras representan el error estándar de la media.

Biomasa seca

En cuanto a la biomasa seca en la etapa de floración, se presentaron diferencias estadísticas, donde los tratamientos gasolina 80 mg L⁻¹, diésel 28 mg L⁻¹ ambos disminuyeron 25.1% y también gasolina y diésel 20 mg L⁻¹ sufrieron una disminución del y 20.76% respectivamente comparados con el testigo, En otros estudios donde el suelo estaba contaminado con Hidrocarburos Totales del Petróleo (HTP), disminuyeron la altura y longitud radicular de las plántulas, lo que condujeron a una menor acumulación de biomasa en *Leucaena leucocephala* y *Crotalaria incana* (Vázquez–Luna *et al.*, 2010), mientras que en los demás tratamientos no fueron estadísticamente diferentes al testigo (Figura 8).

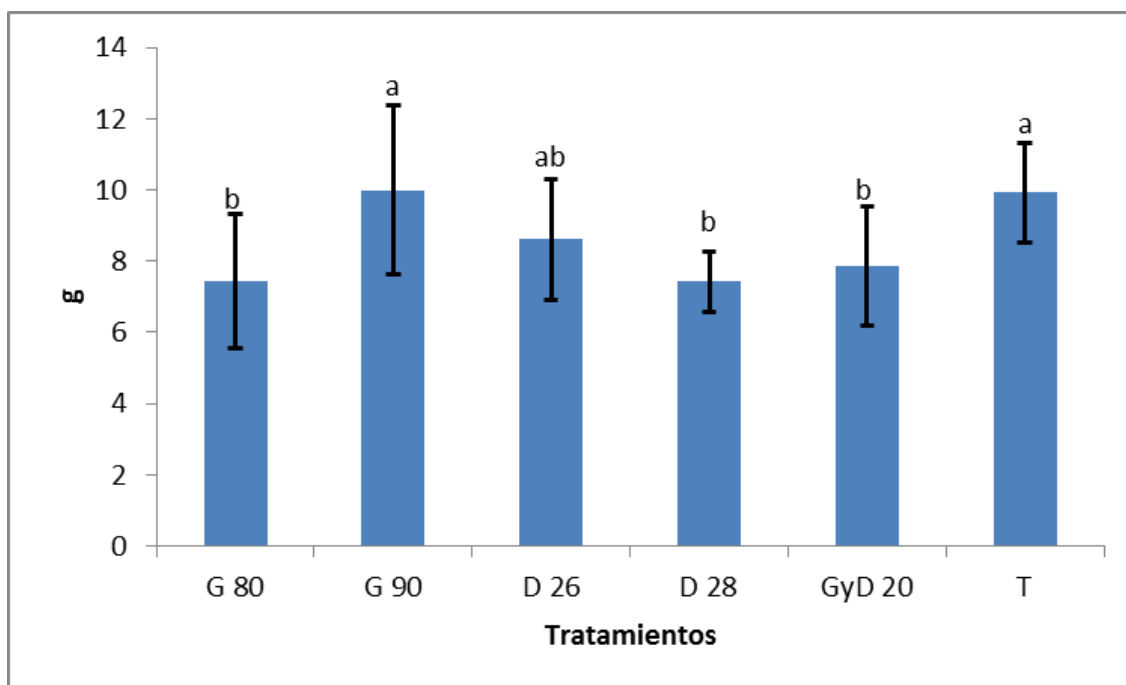


Figura 8. Biomasa seca en plantas de tomate en etapa de floración tratadas con hidrocarburos. Letras diferentes en las columnas indican efectos significativos de acuerdo con Fisher ($\alpha \leq 0.05$). Las barras representan el error estándar de la media.

El peso seco en la etapa de fructificación, los tratamientos presentaron diferencias estadísticas, donde el tratamiento de gasolina y diésel a 20 mg L⁻¹ presentó un incremento del 70.23% comparado con el testigo, esto coincide con resultados de (Redondo-Gómez *et al.*, 2014), que reporta que el diésel favorece la asimilación de nutrientes y no afecta el estado nutricional en concentraciones ideales. más sin embargo Martel-Valles *et al.*, (2013) encontraron que las aguas congénitas con HFM disminuyen la biomasa de la planta. Pero tal vez la combinación de ambos influyó en dicha variable mientras que los demás tratamientos no fueron estadísticamente diferentes al testigo (Figura 9).

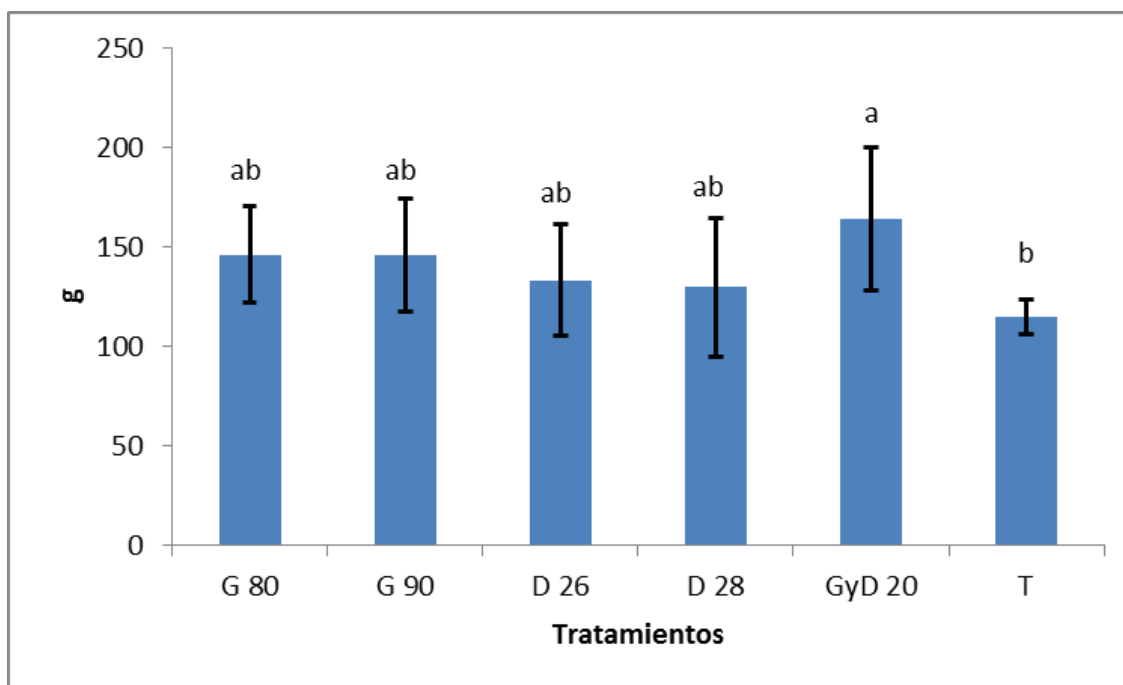


Figura 9. Biomasa seca en plantas de tomate en etapa de fructificación tratadas con hidrocarburos. Letras diferentes en las columnas indican efectos significativos de acuerdo con Fisher ($\alpha \leq 0.05$). Las barras representan el error estándar de la media.

Número de frutos

En cuanto al número de frutos se vio reducido significativamente en la mayoría de los tratamientos excepto en el tratamiento de gasolina a 80 mg L^{-1} el cual fue estadísticamente igual al testigo. El tratamiento que más redujo el número de frutos fue la gasolina y diésel a 20 mg L^{-1} seguido del diésel a 28 mg L^{-1} , gasolina a 90 mg L^{-1} y el diésel a 26 mg L^{-1} . Con una disminución de 20.8%, 16.6%, 16.6% y 12.5% respectivamente comparados con el testigo ya que la presencia de estos contaminantes, ha dado lugar a la pérdida de la fertilidad del suelo, bajos rendimiento de cosechas (Serrano *et al.*, 2013). Dichos hidrocarburos pueden producir efectos negativos como disminución de la biomasa y del área foliar (Adam y Duncan, 2002), mientras que en el tratamiento donde se aplicó gasolina 80 mg L^{-1} las plantas no mostraron cambios notables en la variable morfológica por efecto del riego con hidrocarburos, se debe a que la toxicidad depende de la especie y la concentración del hidrocarburo (Sharonova y Breus, 2012). (Figura 10).

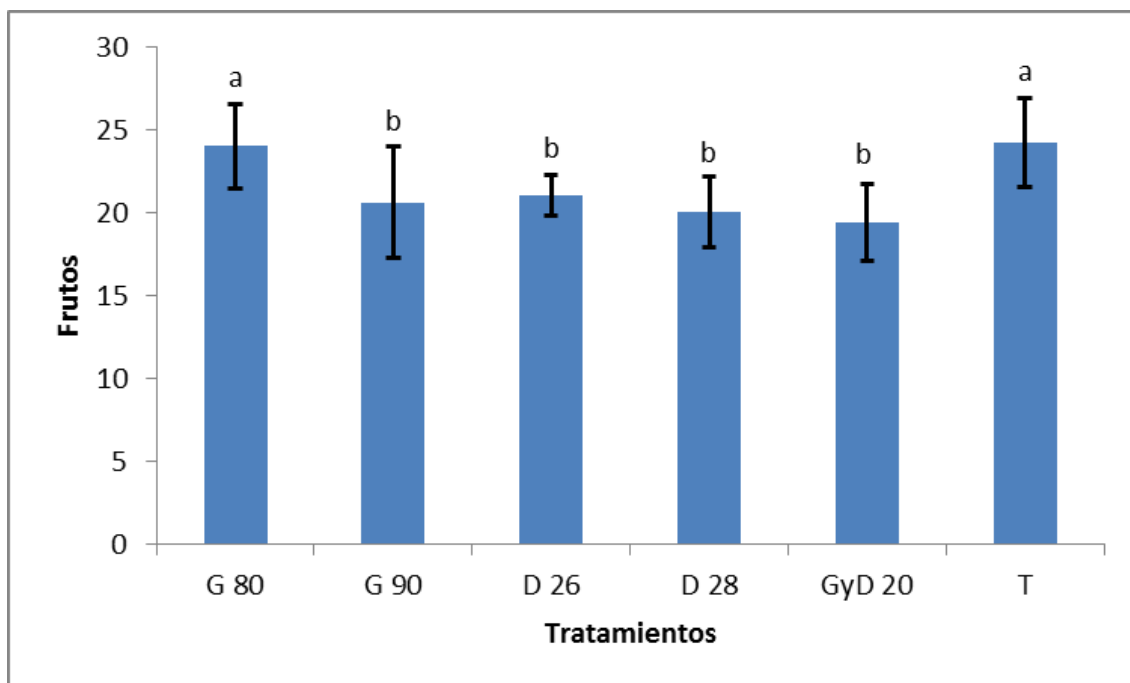


Figura 10. Número de frutos en plantas de tomate en etapa de fructificación tratadas con hidrocarburos. Letras diferentes en las columnas indican efectos significativos de acuerdo con Fisher ($\alpha \leq 0.05$). Las barras representan el error estándar de la media.

Variables de calidad de fruto

En cuanto a los SST, los tratamientos presentaron diferencias estadísticas, donde el tratamiento de gasolina a 80 mg L⁻¹ presentó un incremento del 89.65% con respecto al testigo, mientras que los demás tratamientos no fueron estadísticamente diferentes al testigo al respecto (Casierra-Posada y Poveda., 2005), reportan la disminución de la producción de azúcares en plantas expuestas a hidrocarburos (Figura 11).

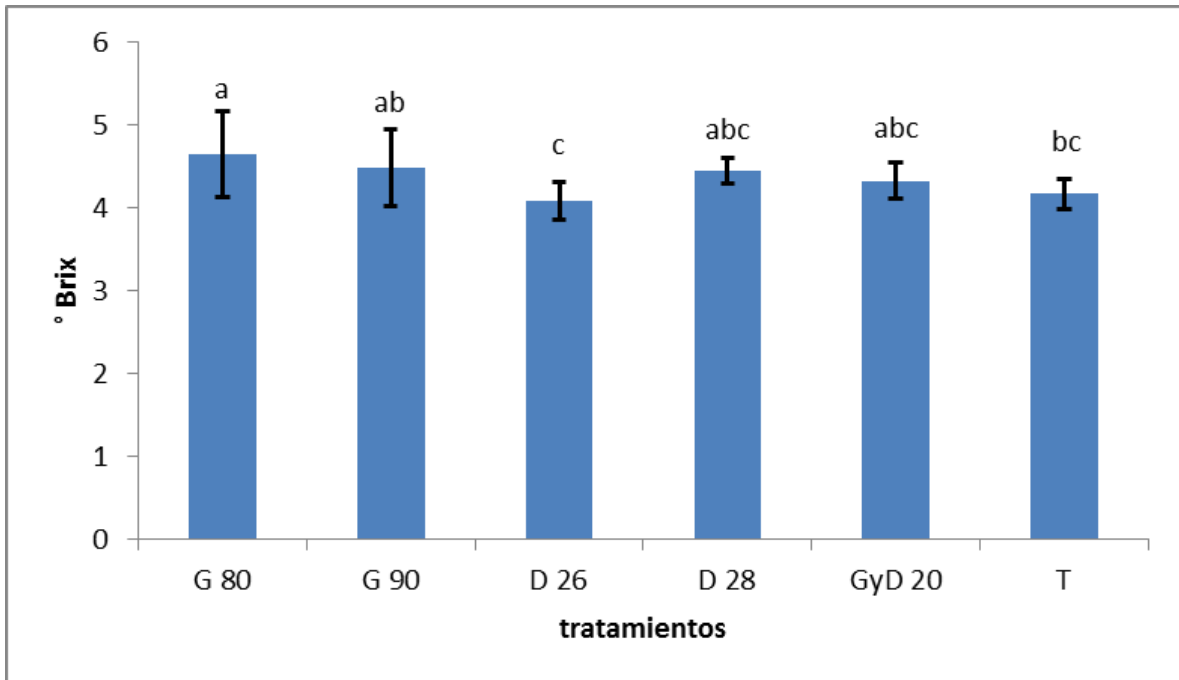


Figura 11. Solidos solubles totales evaluados en frutos de plantas de tomate tratadas con hidrocarburos. Letras diferentes en las columnas indican efectos significativos de acuerdo con Fisher ($\alpha \leq 0.05$). Las barras representan el error estándar de la media.

En cuanto al pH de los frutos, los tratamientos gasolina 90 mg L⁻¹ y diésel 26 mg L⁻¹ presentaron un ligero incremento de 97.27% y 98.09% con respecto al testigo, sin embargo resultados obtenidos por (Díaz- López ,2016), no se encontraron diferencias significativas con aplicaciones de diésel 20 mg L⁻¹, 25 mg L⁻¹ y gasolina a una concentración de 40 mg L⁻¹, 50 mg L⁻¹ y 60 mg L⁻¹. Sin embargo, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos comparados con el testigo (Figura 12).

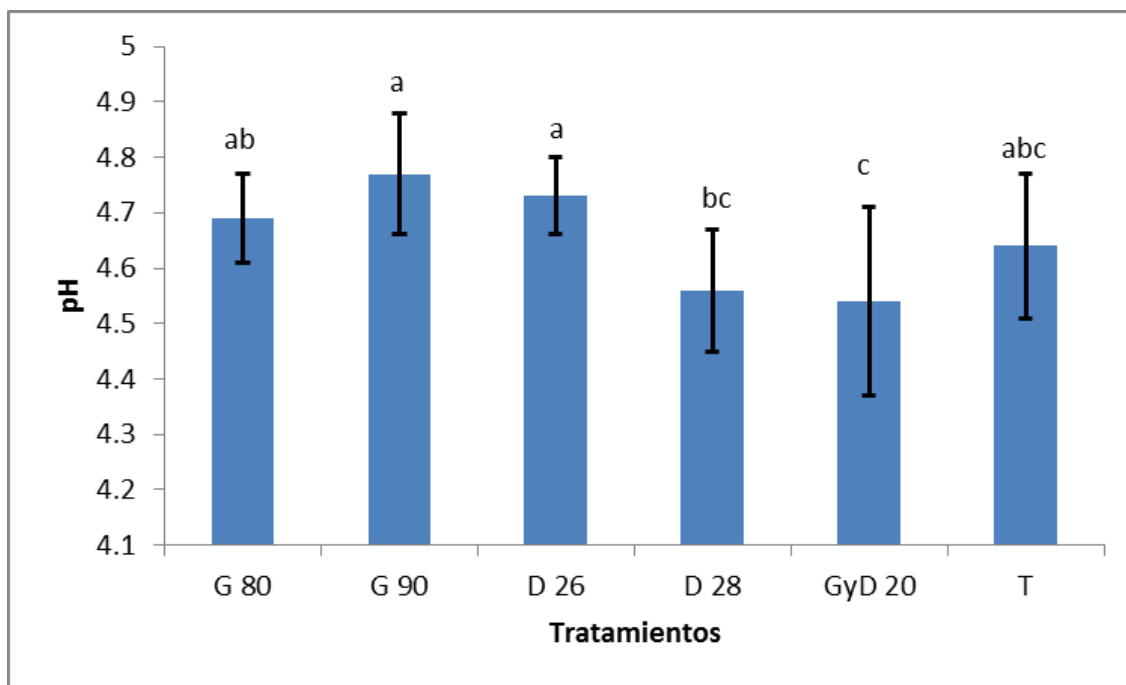


Figura 12. pH evaluado en frutos de plantas de tomate tratadas con hidrocarburos. Letras diferentes en las columnas indican efectos significativos de acuerdo con Fisher ($\alpha \leq 0.05$). Las barras representan el error estándar de la media.

En cuanto a la conductividad eléctrica, los tratamientos presentaron diferencias estadísticas, donde los tratamientos de gasolina a 90 mg L⁻¹ y diésel a 26 mg L⁻¹ disminuyeron en un porcentaje de 20.14% y 18.65% respectivamente comparados con el testigo, mientras que los demás tratamientos no fueron estadísticamente diferentes al testigo (Figura 13). Sin embargo, resultados de (Martel-Valles *et al.*, 2014), reportan que la calidad de fruto fue favorecida con un incremento en la CE en plantas tratadas con, diésel a 15 mg L⁻¹ y gasolina a 30 mg L⁻¹, debido a que cuando las plantas presentan algún grado de estrés movilizan los minerales a los sitios de reserva (Álvarez-Herrera, 2016).

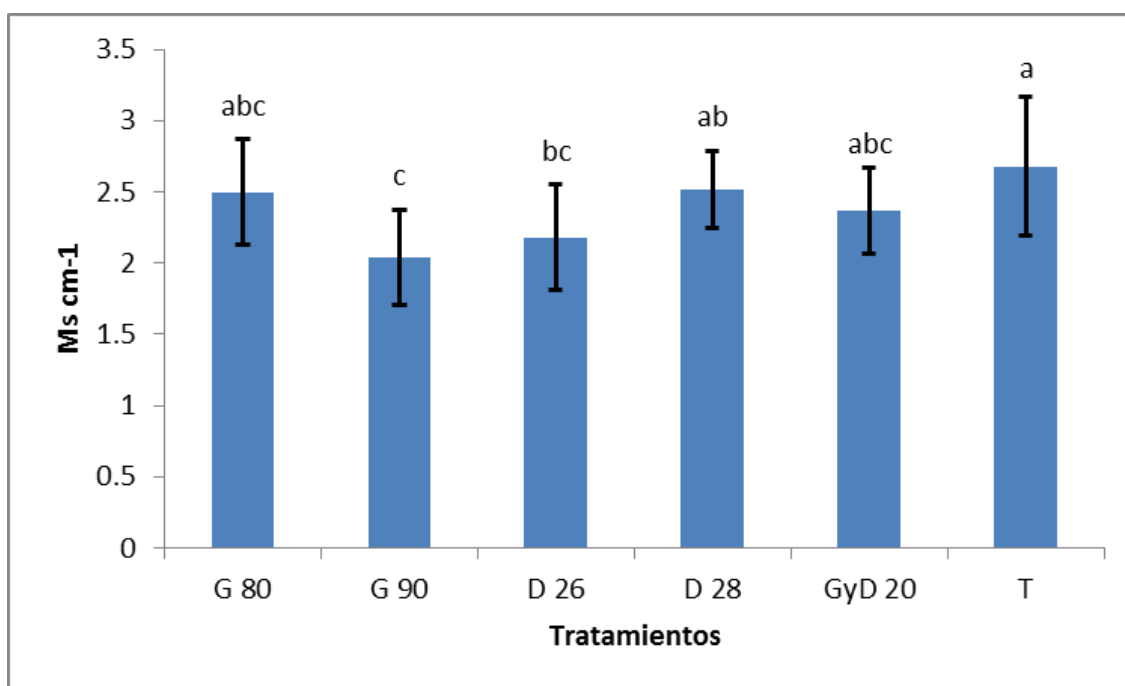


Figura 13. Conductividad eléctrica evaluada en frutos de plantas de tomate tratadas con hidrocarburos. Letras diferentes en las columnas indican efectos significativos de acuerdo con Fisher ($\alpha \leq 0.05$). Las barras representan el error estándar de la media.

En la acidez titulable, los tratamientos presentaron diferencias estadísticas, donde los tratamientos de gasolina a 80 mg L⁻¹ y diésel a 26 mg L⁻¹ disminuyeron en un porcentaje de 21.21% y 33.33% respectivamente comparados con el testigo, mientras que los demás tratamientos no fueron estadísticamente diferentes al testigo (Figura 14). Al respecto (Gómez *et al.*, 2002) reportan que al existir un incremento en los sólidos solubles totales, existe una disminución del porcentaje de ácido cítrico.

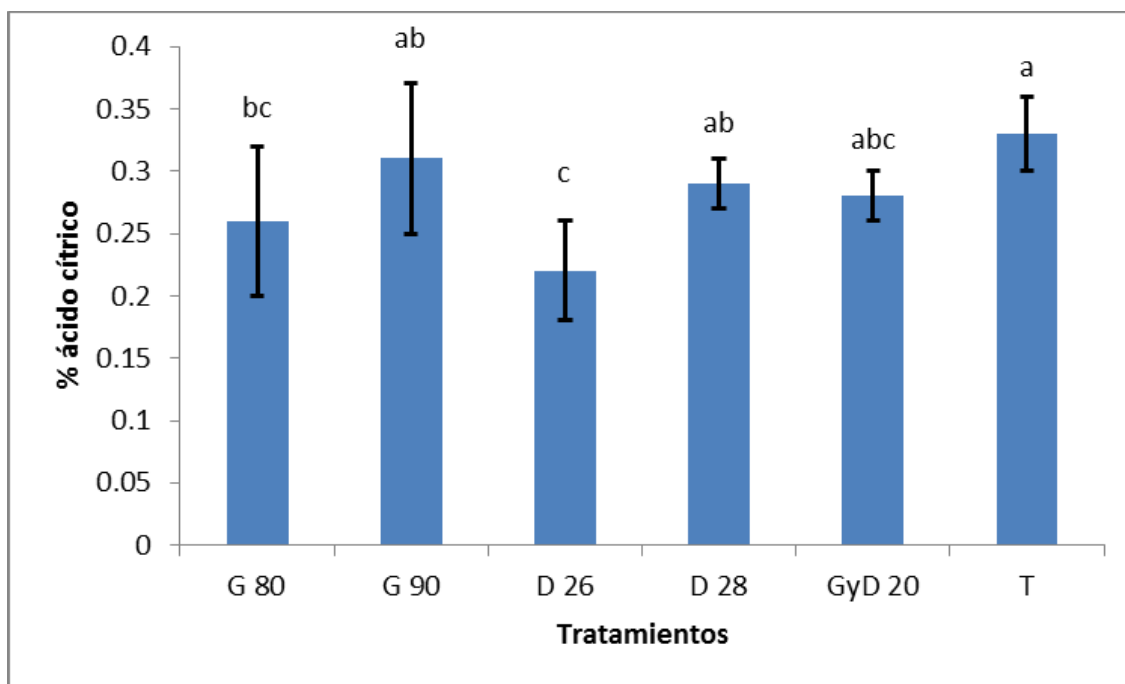


Figura 14. Acidez titulable evaluada en frutos de plantas de tomate tratadas con hidrocarburos. Letras diferentes en las columnas indican efectos significativos de acuerdo con Fisher ($\alpha \leq 0.05$). Las barras representan el error estándar de la media.

CONCLUSIONES

En el presente experimento se puede concluir que el agua contaminada con hidrocarburos a concentraciones superiores a la NOM-143-SEMARNAT-2003 puede modificar las variables morfológicas en plantas de tomate. En cuanto a la longitud de raíz, la mayoría de los tratamientos se comportaron similares al testigo, excepto el tratamiento de gasolina 90 mg L^{-1} donde se redujo esta variable; en diámetro de tallo y altura de planta la mayoría de los tratamientos se comportaron similares o aumentaron con respecto a esta variable; en biomasa seca en etapa de floración, algunos tratamientos se comportaron similares al testigo, excepto el tratamiento de gasolina 80 mg L^{-1} , diésel 28 mg L^{-1} y gasolina y diésel 20 mg L^{-1} disminuyendo 25.1% en la etapa de fructificación, todos los tratamientos se comportaron similares o excepto gasolina y diésel a 20 mg L^{-1} con respecto al testigo en esta variable.

En cuanto a número de frutos, la mayoría de los tratamientos provocaron una disminución en esta variable, con excepción del tratamiento de gasolina 80 mg L^{-1} que se mantuvo igual que el testigo.

En cuanto a la calidad de fruto, la gasolina a 80 mg L^{-1} aumenta los SST. Por otra parte, los hidrocarburos en las concentraciones aplicadas por el experimento disminuyen la conductividad eléctrica y el porcentaje de ácido cítrico en frutos.

REFERENCIAS

- Altamirano-Sánchez E., Fernández-Villagómez G., 2001. Prácticas apropiadas para disminuir los riesgos ambientales por el manejo de gasolina en estaciones de servicio. Otenido de: <http://www.cenapred.unam.mx/es/DocumentosPublicos/PDF/Tecnicos/practic asApropiadas.pdf>
- A. O. A. C. 1990. Official Methods of Analysis. Association of Analytical Chemists. Washington, D. C. EE. UU. 1141
- Adam G, Duncan H (2002) Inuence of diesel fuel on seed germination. Environmental Pollution 120:363-370.
- Alonso, R. (2012). Proyecto de recuperación de suelos contaminados por hidrocarburos. Obtenido de: https://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/2012/hdl_2072_206396/PFC_RaquelAlonsoRiesco.pdf.
- Alrumman, S. A., Standing, D. B., & Paton, G. I. (2015). Effects of hydrocarbon contamination on soil microbial community and enzyme activity. Journal of King Saud University-Science, 27(1), 31-41.
- Álvarez-Herrera JG, Fischer G, Vélez-Sánchez JE (2016) Producción de frutos de uchuva (*Phyllis peruviana* L.) bajo diferentes láminas de riego, frecuencias de riego y dosis de calcio. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas 9: 222-233.
- Ángeles Méndez. (2010). Propiedades de los hidrocarburos | La Guía de Química. Obtenido de <https://quimica.laguia2000.com/quimica-organica/propiedades-de-los-hidrocarburos>.
- Animas Gómez, Y., & Tortolero Camacho, L. (2017). Fundamentos de Química Orgánica y Aplicaciones en Ciencias de la Tierra (Ingeniería). Universidad Nacional Autónoma de México.
- Bährle-Rapp, M., & Bährle-Rapp, M. (2010). Tomate. In Springer Lexikon Kosmetik und Körperpflege (pp. 560–560). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-71095-0_10594
- Blankenship D.W. y Larson R.A. (1978). Plant growth inhibition by the water extract of a crude oil. Water, Air, Soil Poll. 10 (4), 471-476.
- Boscolo, R., Cacciatore, F., y Giovanardi, O. (2007). Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) en almejas de Manila trasplantadas (*Tapes philippinarum*)

de la Laguna de Venecia según lo evaluado por HAP / índice de peso de la concha: un estudio preliminar. Boletín de contaminación marina, 55 (10-12), 485-493. Obtenido de:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X07003220>

Bossert I, Bartha R (1985) Plant growth in soils with a history of oily sludge disposal. Soil Sci. 140: 75-77.

Botello, A. V., Rendón-von Osten, J., Gold-Bouchot, G., & Agraz-Hernández, C. (2005). Golfo de México Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y Tendencias. En Univ. Autón. de Campeche, Univ. Nal. Autón de México, Instituto Nacional de Ecología. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3616.4962>

Camargo, y., Bolaño, T. y Álvares, A. 2010. Emisiones de compuestos orgánicos volátiles de origen biogénico y su contribución a la dinámica atmosférica. Revista Intropica. 5: 77-86.

CENAPRED (2001). Centro Nacional de Prevención y Desastres. Programa de Prevención y Mitigación Del Riesgo de Desastres 2001-2006. Recuperado de: <http://www.iin.oea.org/boletines/boletin8/publicaciones-recibidas-esp/CENAPRED-MX-Programa-de-prevencion-y-mitigacion-del-riesgo-de-desastres.pdf>

Cestoni, F; De Jovel, G; Urquilla, A. (2006). Perfil de negocios de tomate cherry o cereza hacia el mercado de los Estados Unidos (en línea). El Salvador. 73 p. Obtenido de:
http://www.academia.edu/7215115/PERFIL_DE_NEGOCIOS_DEL_TOMATE_CHERRY_O_CEREZA_HACIA_EL_MERCADO_DE_LOS_ESTADOS_UNIDOS

Chow Pangtay, S. (1998). Petroquímica y Sociedad (2nd ed., p. 3). D.F: Fondo de Cultura Económica.

Coates J., Chakraborty R. y McInerney J. (2002). Anaerobic benzene biodegradation- a new era. Microbiology.153:621-628.

CONAGUA (2001) Análisis de agua – Determinación de oxígeno disuelto en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba. Comisión Nacional del Agua. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 21 de septiembre del 2001.

Corada Pérez, K. A. (2012). Estudio de compuestos orgánicos volátiles biogénicos de especies arbóreas: crecimiento e incidencia en la química troposférica.

- De la Cruz Rodríguez, Arcadio (2007) "Química Orgánica Vivencial" McGraw Hill.
- Soto, José Luis (2001) "Química Orgánica II: Hidrocarburos y sus derivados halógenos" Síntesis.
- Degrémont Industrie. (2016). Agua para la industria Upstream Oil & Gas. Obtenido de: <https://docplayer.es/8456857-Agua-para-la-industria-upstream-oil-gas.html>
- Díaz López, I. (2016). Respuesta de Plantas de Tomate (*Solanum lycopersicum* L.) al Riego Con Distintas Concentraciones de Benceno, Gasolina y Diésel (Licenciatura). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Díaz, C. (2007). Caracterización Agro cadena de Tomate. Dirección Regional Central Occidental. M.A.G. Grecia, Costa Rica. 46 p.
- Dixon, DR, Pruski, AM, Dixon, LR, y Jha, AN (2002). Ecogenotoxicología marina de invertebrados: una descripción metodológica. *Mutagénesis* , 17 (6), 495-507. Obtenido de: <https://academic.oup.com/mutage/article/17/6/495/1274864>
- DOMENECH, X., 1994. Química Ambiental. El impacto ambiental de los residuos. 2ª Edic., Miraguano Ediciones, Madrid.
- EDIFORM. (2006). VADIAGRO: Principales problemas fitosanitarios. Tomo I. Curridabat, Costa Rica, Edifarm Internacional Costa Rica. 3 ed. 89-92, 193-212 p.
- Enciclopedia online de ejemplos. (2019). 20 Ejemplos de Hidrocarburos. Obtenido de: <https://www.ejemplos.co/20-ejemplos-de-hidrocarburos/>
- Escobar, H; Lee, R. (2009). Manual de producción de tomate bajo invernadero. v.2. 2 ed. Bogotá, Colombia. 180 p. Obtenido de: https://www.utadeo.edu.co/sites/tadeo/files/node/publication/field_attached_file/pdf-manual_produccion_de_tomate_-_pag.-_web-11-15.pdf
- Flores M., Torras S, & Téllez, R. (2004). Medidas de mitigación para uso de suelos contaminados por derrames de hidrocarburos en infraestructura de transporte terrestre.: Secretaria de Comunicaciones y Transporte, publicación técnica no. 257. Querétaro. p. 13
- Gafari-Rahbar F., Kiarostami K. y Shirdam R. (2012). Effects of petroleum hydrocarbons on growth, photosynthetic pigments and carbohydrate levels of sunflower. *J. Food Agric. Environ.* 10 (1), 773-776. Obtenido de: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20123098898>

- Gómez, P. A., & Camelo, A. F. (2002). Calidad postcosecha de tomates almacenados en atmósferas controladas. *Horticultura Brasileira*, 20(1), 38-43.
- Haifa Chemicals. (2014). Recomendaciones nutricionales para tomate en campo abierto, acolchado o túnel e invernadero (en invernadero). Miami, Estados Unidos de América. 39 p. Obtenido de:
https://www.haifagroup.com/sites/default/files/crop/Tomate_2014.pdf
- INEEC. (2007). Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Fuentes de contaminación en México. Obtenido de:
<http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/372/fuentes.html>
- Infante, C. (1998). Biorremediación de derrames de hidrocarburos en ambientes naturales. *Memorias del IV Congreso Interamericano sobre el Medio Ambiente*. 1(2), 325-328. Compilador Roger Carrillo Castellanos. Editorial Equinoccio, Ediciones de la universidad Simón Bolívar, Caracas
- Infoagro Systems S.L. (2016). El cultivo de tomate: Parte I. Madrid, España. s.p Obtenido de:
http://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_del_tomate_parte_i_.asp
- INTA (Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria). (2014). Manejo integrado de plagas. Cultivo de tomate: Guía MIP. Managua, Nicaragua. 66 p. Obtenido de:
https://www.jica.go.jp/project/nicaragua/007/materials/ku57pq0000224spz-att/Manual_de_Manejo_Integrado_de_Plagas_Part1.pdf
- IPGRI (International Plant Genetic Resources Institute). (1996). Descriptores para tomate (*Lycopersicon* spp L.). 47 p. Obtenido de:
<https://www.biodiversityinternational.org/e-library/publications/detail/descriptores-para-el-tomate-lycopersicon-spp/>
- Kader, A. A. 2002. Quality and safety factors: definition and evaluation for fresh horticultural crops. In: Kader, A. A. (ed). *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. Third edition. University of California, Agriculture and Natural Resources Pub. 3311. USA. pp: 279-286.
- Khan S.R., Kumar N.J.I., Kumar N.R. y Patel G.J. (2013). An assessment of physicochemical properties, heavy metal content and fungal characterization of an old gasoline-contaminated soil site Anand, Gujarat, India. *Int. J. Environ.* 2 (1), 137-143.

- Lacasaña, M; González, B; Rodríguez, M; Daponte, D. (2008). Evaluación de la exposición de BTEX en el campo de Gibraltar. Escuela Andaluza de Salud Pública.
- López, C. (2002). El petróleo. E.i.S.E. Domènech, S.A. (1st ed., p. 4). Madrid, España
- Martel Valles, J. F., Cuevas González, E., Benavides Mendoza, A., Valdez Aguilar, L. A., & Foroughbakch Pournavab, R. (2017). Distribución mineral de plantas de tomate irrigadas con agua contaminada con benceno, diésel y gasolina. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*. P.28
- Martel-Valles, JF., Benavides-Mendoza, A., Mendoza-Villarreal, R., Zermeño-Gonzalez, A. y Juárez-Maldonado A. (2014) Agronomic use of produced wáter in tomato plants (*Lycopersicon Esculentum* L.) under greenhouse conditions. *Revista internacional de Contaminacion Ambiental*. 30(4): 365-377.
- Martel-Valles, JF., Benavides-Mendoza, A., Mendoza-Villarreal, R., Zermeño-Gonzalez, A. y Juárez- Maldonado A. (2014) Agronomic use of produced wáter in tomato plants (*Lycopersicon Esculentum* .) under greenhouse conditions. *Revista internacional de Contaminación Ambiental*. 30(4): 365-377.
- Martínez, V., & López, M. (2001). Efecto de hidrocarburos en las propiedades físicas y químicas de suelo arcilloso. *Terra*, 19(1), 9.
- MathPro. (2011). Introducción a la refinación del petróleo y la producción de gasolina y diesel con contenido ultra bajo de azufre. El Consejo Internacional sobre Transporte Limpio , 45. Obtenido de http://www.theicct.org/sites/default/files/ICCT_RefiningTutorial_Spanish.pdf
- Méndez F., M., & Ricardo C., M., & Pérez P., J., & Hernández C., G., & Campos, O. (2006). Uso de las aguas residuales para el riego de cultivos agrícolas, en la agricultura urbana. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 15 (3), 17-21.
- Maliszewska-Kordybach & B. Smreczak (2000) Ecotoxicological Activity of Soils Polluted with Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) - Effect on Plants, *Environmental Technology*, 21:10, 1099-1110, DOI: 10.1080/09593330.2000.9618996

- Merkl, N.; R. Schultze-Kraft, e C. Infante, 2005. "Phytoremediation in the tropics - influence of heacvy crude oil on root morphological characteristics of graminoids". Environ. Pollut., 138: 86-91.
- Methane to Markets. (2019). La importancia del metano y las actividades de reducción de sus emisiones. Obtenido de:
https://www.globalmethane.org/documents/methane_fs_spa.pdf
- Mijaylova Nacheva, P., Birkle, P., Ramírez Camperos, E., & Sandoval Yoal, L. (2007). Tratamiento de aguas de la desalación del petróleo para su aprovechamiento en inyección al subsuelo.
- Monardes, H. (2009). Manual de cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill): Características botánicas. Origen. Chile. Universidad de Chile 13 p. Obtenido de:
http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/101852/albornoz_f.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- Nair, D., Fernández-Acero, FJ, García-Luque, E., Riba, I., y Del Valls, TA (2008). Aislamiento y caracterización de bacterias que degradan la naftalina de los sedimentos del área de Cádiz (SW España). Toxicología ambiental: una revista internacional , 23 (5), 576-582. Obtenido de:
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/tox.20408>
- Navarro Sierra, J. (2008). Tratamiento de aguas congénitas de extracción de pozos mediante ferrato de potasio. Planta de dos Bocas, Tabasco (p. 8).
- Neumann G, Römheld V (2007) The release of root exudates as a ected by the plant physiological status. En: Pinton R, Varanini Z, Nannipieri P (eds.). The Rhizosphere biochemistry and organic substances at the soil plant interface. 2a ed. CRC Press/Taylor and Francis. New York, USA pp: 23-72.
- Quiñones A.E.E., Ferrera C.R., Gavi R.F., Fernández L.L., Rodríguez V.R. y Alarcón A. (2003). Emergencia y crecimiento de maíz en un suelo contaminado con petróleo crudo. Agrocienca 37, 585-594
- Pane, L., Boccardo, S., Bonfiglioli, F., Mariottini, G.L., Priano, F. & CONIO, O. (2005). Polycyclic aromatic hydrocarbons in water, seston and copepods in a harbor area in the Western Mediterranean (Ligurian Sea). Mar. Ecol. 26: 89-99. Obtenido de: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1439-0485.2005.00042.x>
- Pardo Castro, J., Perdomo Rojas, M. y Benavides López de Mesa, J. (2006). Efecto de la adición de fertilizantes inorgánicos compuestos en la

degradación de hidrocarburos en suelos contaminados con petróleo. 2nd ed. Bogotá: Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, pp.40-48.

PEMEX. (2014). Norma NRF-104-PEMEX-2014. "Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en Instalaciones de PEMEX-exploración y producción". Disponible en: <http://www.pemex.com/procura/procedimientos-de-contratacion/normas-referencia/Documents/NRF-104-PEMEX-2014.pdf>

PEMEX. (2019). Pemex Diésel. Obtenido de: <http://www.pemex.com/comercializacion/productos/Paginas/refinados/diesel.aspx>

Pérez V.J., García E.G. y Esparza G.F. (2002). Papel ecológico de la flora rizosférica en fitorremediación. Avance y Perspectiva 21 (1), 297-300. Obtenido de: https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/34841574/Avance_y_Perspectiva_2002.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1557721909&Signature=kidF5ljBea%2BmP2UxwR30vqzfsLI%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DPapel+ecologico+de+la+flora+rizosferica.pdf

Prieto Díaz, V. I., & Martínez de Villa Pérez, A. (1999). La contaminación de las aguas por hidrocarburos: un enfoque para abordar su estudio. Revista Cubana de higiene y epidemiología, 37(1), 13-20.

Ramón, D. 2013. Determinación de compuestos orgánicos volátiles biogénicos en una atmosfera rural (Parque Natural de Valderejo). Revista ambiental: agua, aire y suelo. 4(1): 1-12.

Ranjan, R.S., Qian, Y., Krishnapillai, M., 2006. Effects of electrokinetics and cationic surfactant cetyltrimethylammonium bromide [CTAB] on the hydrocarbon removal and retention from contaminated soils. Environ. Technol. 27(7), 767-776.

Redondo-Gómez S, Petenello MC, Feldman SR (2014) Growth, nutrient status, and photosynthetic response to diesel-contaminated soil of a cordgrass, *Spartina argentinensis*. Marine Pollution Bulletin 79: 34-38.

Rey López, I. (2017). Industria petrolera. Extracción de crudo on shore tratamiento de aguas Congénitas. (1st ed., p. 1). Barcelona: Condorchem. Obtenido de : <https://docplayer.es/17998529-Industria-petrolera-extraccion-de-crudo-on-shore-tratamiento-de-aguas-congenitas-en-sitio.html>

- Sangeetha, J., y Thangadurai, D. (2014). Efecto de los lodos de petróleo tratados biológicamente sobre la germinación de las semillas y el crecimiento de las plántulas de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. (Fabaceae). *Archivos Brasileños de Biología y Tecnología* , 57 (3), 427-433.
- Santiago, J., & Borrego, F. (1998). Evaluación de tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill) en invernadero: criterios fenológicos y fisiológicos. *Agronomía mesoamericana*, 59-65.
- Sanz J. (1991). La contaminación atmosférica. Ministerio de Obras Públicas y Transporte. Bilbao.
- Schroeder, R. H. A., Domínguez, V. I., & García, L. (1999). Potencial de la biorremediación de suelo y agua impactados por petróleo en el trópico mexicano. *Terra*, 17(2), 159–174.
- SEMARNAT. (2003b). Norma Oficial Mexicana NOM-143-SEMARNAT-2003. Que establece las especificaciones ambientales para el manejo de agua congénita asociada a hidrocarburos. Secretaria de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 3 de marzo de 2005.
- SEMARNAT.(2002). NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección Ambiental. Lodos y Biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. Diario Oficial de la Federación, 15
- SEMARNAT.(2003a) Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca. Norma Oficial Mexicana, NOM-138-SERMANAT/SS-2003. Límites permisibles de hidrocarburos en suelos y las especificaciones para su caracterización y remediación. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 29 de marzo de 2005.
- SENER (2015). ¿Qué son los hidrocarburos?. Recuperado de:
<https://www.gob.mx/sener/articulos/que-son-los-hidrocarburos>
- Serrano, M.F., Torrado, L.M. & Pérez, D.D. (2013). Impacto de los derrames de crudo en las propiedades mecánicas de suelos arenosos. *Ciencia y Tecnología*. 11, 233-244.
- Sharonova N, Breus I (2012) Tolerance of cultivated and wild plants of different taxonomy to soil 332 contamination by kerosene. *Science of the Total Environment* 424: 121-129.

- Shirdam R., Zand A. D., Bidhendi G. N. y Mehrdadi N. (2008). Phytoremediation of hydrocarbon-contaminated soils with emphasis on the effect of petroleum hydrocarbons on the growth of plant species. *Phytoprotection* 89 (1), 21-29.
- Steiner AA (1961). A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant Soil*. 15(2): 134-154.
- Toscano, C. (2017). Alcanos, Alquenos y Alquinos: Nomenclatura y Propiedades. (Ingeniería). Universidad Autónoma de México.
- Universidad Nacional de Colombia y Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2012). Evaluar y monitorear la calidad del aire en el Valle de Aburrá con medidores pasivos.
- USDA. (1999). Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo.
- Vallejo, F. (1999). Mejoramiento genético y producción de tomate en Colombia. Palmira, Colombia. 216 p. Obtenido de:
<http://www.uneditorial.net/uflip/Mejoramiento-genetico-y-produccion-de-tomate-en-Colombia/pubData/source/Mejoramiento-genetico-y-produccion-de-tomate-en-Colombia.pdf>
- Velásquez Arias, J. A. (2018). Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*. Obtenido de:
<https://doi.org/10.22490/21456453.1846>
- Vázquez-Luna, D., Castelán-Estrada, M., Rivera-Cruz, M. del C., Ortiz-Ceballos, Á. I., & Izquierdo R., F. (2010). *Crotalaria incana* L. y *leucaena leucocephala* Lam. (Leguminosae): Especies indicadoras de toxicidad por hidrocarburos de petróleo en el suelo. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 26(3), 183–191.