



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO**

**FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL**



**PROPUESTA DE UN MÉTODO ALTERNATIVO ELABORADO A PARTIR  
DE MUCÍLAGO DE NOPAL (*Opuntia ficus-indica*) PARA LA POSIBLE  
REMOCIÓN DE GLIFOSATO EN SOLUCIONES ESTÁNDAR.**

# **T E S I S**

**QUE COMO PARTE DE LOS REQUISITOS PARA OBTENER EL GRADO DE  
LICENCIADAS EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**PRESENTAN:**

**ITZEL ALEJANDRA ALCÁNTARA ZARAGOZA**

**JANET COLIN PLATA**

**DIRECTORAS DE TESIS:**

**DRA. EN R.N Y D. BELINA GARCÍA FAJARDO**

**DRA. EN C. Q. MARÍA FERNANDA BALLESTEROS RIVAS**

# ÍNDICE

RESUMEN .....	5
ESQUEMA DE LA INVESTIGACIÓN .....	7
Planteamiento del problema .....	7
Justificación.....	10
Hipótesis.....	11
Objetivo general .....	11
Objetivos específicos .....	11
Materiales y métodos.....	11
Antecedentes .....	12
<b>CAPÍTULO 1 MARCO CONCEPTUAL .....</b>	<b>15</b>
<b>1.1 Contaminación del agua .....</b>	<b>16</b>
1.1.2 Clasificación de los contaminantes presentes en el agua. ....	18
1.1.3 Contaminantes emergentes en el agua (CE). ....	18
1.1.4 Contaminantes en aguas residuales.....	19
<b>1.2 Fuentes de contaminación del agua en México. ....</b>	<b>20</b>
1.2.1 Contaminación de agua por uso de plaguicidas.....	21
1.2.2 Contaminación de agua por Glifosato.....	23
<b>1.4 Efectos del Glifosato en la salud .....</b>	<b>25</b>
<b>1.5 Efectos del Glifosato en el ambiente .....</b>	<b>26</b>
<b>1.6 El nopal como recurso natural.....</b>	<b>27</b>
1.6.1 Antecedentes.....	27
1.6.2 Origen y distribución geográfica en México.....	29
1.6.3 Tipos y características de <i>Opuntia</i> .....	29
<b>1.7 Mucílago de nopal.....</b>	<b>32</b>
<b>CAPÍTULO 2 MARCO JURÍDICO.....</b>	<b>34</b>
<b>2.1 Instrumentos Jurídicos a nivel Internacional .....</b>	<b>36</b>
<b>2.2 Instrumentos Jurídicos a nivel Nacional .....</b>	<b>36</b>
<b>2.3 Instrumentos Jurídicos a nivel Estatal .....</b>	<b>44</b>
2.4 Análisis de la normatividad existente en México acerca del recurso hídrico y los agroquímicos. ....	46
<b>CAPÍTULO 3 MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>48</b>
<b>3.2 Extracción de mucílago de nopal .....</b>	<b>51</b>
3.2.1 Selección y preparación de la muestra.....	51
3.2.2 Preparación del biomaterial para la extracción de mucílago. ....	51
3.2.3 Método 1. Extracción de mucílago en frío.....	52
3.2.4 Método 2. Extracción de mucílago licuado.....	56
<b>3.3 Elaboración del material compuesto. ....</b>	<b>60</b>

<b>CAPÍTULO 4 DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS Y TÉCNICAS .....</b>	<b>66</b>
<b>4.1 Técnicas de análisis .....</b>	<b>67</b>
4.1.1 Difracción de Rayos X .....	67
4.1.2 Espectrometría Infrarroja (IR).....	68
4.1.3 Espectroscopia Ultravioleta Visible (UV) .....	71
<b>CAPÍTULO 5 RESULTADOS Y DISCUSIONES .....</b>	<b>73</b>
<b>5.1 Metodología de caracterización del mucílago de nopal (<i>Opuntia ficus-indica</i>) .....</b>	<b>74</b>
5.1.1 Características físicas del mucílago de nopal. ....	74
5.1.2 Características organolépticas. ....	74
5.1.3 Características de la estructura de mucílago de nopal mediante difracción.....	75
5.2.3 Características químicas del mucílago de nopal. ....	79
<b>5.3 Proceso de Adsorción de Glifosato. ....</b>	<b>83</b>
<b>5.4 Pruebas de adsorción de Glifosato por espectrofotometría ultravioleta-visible (UV).....</b>	<b>86</b>
<b>5.4 Análisis de adsorción del material compuesto por espectroscopia infrarroja (IR). ....</b>	<b>91</b>
<b>5.5 Análisis de enjuague del material compuesto mediante espectroscopia infrarroja (IR). ....</b>	<b>93</b>
<b>5.6 Discusión de resultados. ....</b>	<b>97</b>
<b>CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>99</b>
<b>6.1 Conclusiones.....</b>	<b>100</b>
<b>6.2 Recomendaciones .....</b>	<b>101</b>

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>ILUSTRACIÓN 1. VÍAS DE MOVIMIENTO DE LOS PLAGUICIDAS. ....</b>	<b>21</b>
<b>ILUSTRACIÓN 2. FORMULA DESARROLLADA DEL GLIFOSATO .....</b>	<b>24</b>
<b>ILUSTRACIÓN 3. AREOLA DE NOPAL .....</b>	<b>28</b>
<b>ILUSTRACIÓN 4. PENCA DE NOPAL .....</b>	<b>28</b>
<b>ILUSTRACIÓN 5. MAPA DE PRODUCCIÓN DE NOPAL FORRAJERO A NIVEL NACIONAL EN EL 2018 .....</b>	<b>31</b>
<b>ILUSTRACIÓN 6. MUCÍLAGO DE NOPAL .....</b>	<b>32</b>
<b>ILUSTRACIÓN 7. NOPALES DEL ESTADO DE MÉXICO.....</b>	<b>51</b>
<b>ILUSTRACIÓN 8. CORTADO DE NOPAL .....</b>	<b>52</b>
<b>ILUSTRACIÓN 9. PROCESO DE HERVIDO DE NOPAL.....</b>	<b>53</b>
<b>ILUSTRACIÓN 10. MEDICIÓN DE MUCÍLAGO.....</b>	<b>53</b>
<b>ILUSTRACIÓN 11. MEDICIÓN DE MUCÍLAGO DE NOPAL .....</b>	<b>53</b>
<b>ILUSTRACIÓN 12. BAÑO MARÍA CON HIELO PARA PRECIPITAR MUCÍLAGO .....</b>	<b>54</b>
<b>ILUSTRACIÓN 13. AGITACIÓN MECÁNICA DE MUCÍLAGO.....</b>	<b>54</b>
<b>ILUSTRACIÓN 14. PROCESO DE CENTRIFUGACIÓN .....</b>	<b>55</b>
<b>ILUSTRACIÓN 15. RESULTADO DEL PROCESO DE CENTRIFUGACIÓN. ....</b>	<b>55</b>
<b>ILUSTRACIÓN 16. LICUADO DE NOPAL.....</b>	<b>56</b>
<b>ILUSTRACIÓN 17. LICUADO DE NOPAL FINAL .....</b>	<b>57</b>
<b>ILUSTRACIÓN 18. NOPAL LICUADO EN VASOS DE PRECIPITADOS CON ALCOHOL.....</b>	<b>57</b>
<b>ILUSTRACIÓN 19. REPOSO Y REFRIGERACIÓN DE MUCÍLAGO. ....</b>	<b>57</b>
<b>ILUSTRACIÓN 20. DECANTACIÓN DE MUCÍLAGO .....</b>	<b>58</b>
<b>ILUSTRACIÓN 21. RESULTADO DEL PROCESO DE CENTRIFUGACIÓN .....</b>	<b>59</b>

ILUSTRACIÓN 22. MUCÍLAGO EN CAPSULAS DE PORCELANA .....	59
ILUSTRACIÓN 23. MUCILAGO FINAL .....	60
ILUSTRACIÓN 24. PULVERIZADO DE MUCÍLAGO .....	60
ILUSTRACIÓN 25. MATERIALES COMPUESTOS FINALES .....	64
ILUSTRACIÓN 27. DIFRACTÓMETRO DE RAYOS X .....	68
ILUSTRACIÓN 28. REGIONES DEL INFRARROJO .....	70
ILUSTRACIÓN 29. ESPECTROFOTÓMETRO DE INFRARROJO .....	70
ILUSTRACIÓN 30. ESPECTROFOTÓMETRO UV .....	72
ILUSTRACIÓN 31. MUESTRAS DE MUCÍLAGO .....	74
ILUSTRACIÓN 32. DIFRACTOGRAMA DE DIVERSOS MATERIALES .....	77
ILUSTRACIÓN 33. DIFRACTOGRAMA DE MUCÍLAGO DE NOPAL .....	78
ILUSTRACIÓN 34. DIFRACTOGRAMA DEL AZÚCAR .....	79
ILUSTRACIÓN 35. ESPECTRO INFRARROJO DE LA MUESTRA 1 DE MUCÍLAGO DE NOPAL .....	80
ILUSTRACIÓN 36. ESPECTRO INFRARROJO DE LA MUESTRA 2 DE MUCÍLAGO DE NOPAL .....	82
ILUSTRACIÓN 26. MATERIAL COMPUESTO SUMERGIDO EN AGUA CON GLIFOSATO .....	83
ILUSTRACIÓN 37. REALIZACIÓN DE PRUEBAS POR EL ESPECTRO UV .....	86
ILUSTRACIÓN 38. RUTAS DE DEGRADACIÓN DEL GLIFOSATO POR FACTORES BIÓTICOS .....	89
ILUSTRACIÓN 39. MATERIAL COMPUESTO DESPUÉS DE SER SOMETIDO AL PROCESO DE ADSORCIÓN .....	91
ILUSTRACIÓN 40. ESPECTRO INFRARROJO DE ENJUAGUE CON AGUA DESTILADA .....	93
ILUSTRACIÓN 41 ESPECTRO INFRARROJO DE AGUA DESTILADA .....	94
ILUSTRACIÓN 42. ESPECTRO INFRARROJO DE ENJUAGUE CON ETANOL .....	95
ILUSTRACIÓN 43 ESPECTRO INFRARROJO DEL METANOL .....	96

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. NORMAS OFICIALES MEXICANAS REFERENTES AL RECURSO AGUA Y A PLAGUICIDAS .....	42
TABLA 2. ELABORACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO .....	61
TABLA 3. CANTIDADES PARA LA ELABORACIÓN DE LOS MATERIALES COMPUESTOS CON LUZ .....	65
TABLA 4. CANTIDADES PARA LA ELABORACIÓN DE LOS MATERIALES COMPUESTOS EN OSCURO .....	65
TABLA 7. GRUPOS FUNCIONALES DE MUESTRA 1 DE MUCÍLAGO .....	81
TABLA 8. GRUPOS FUNCIONALES DE MUESTRA 2 DE MUCÍLAGO .....	82
TABLA 5. CONCENTRACIONES DE GLIFOSATO .....	84
TABLA 6. DISOLUCIONES BASADAS EN CURVA DE CALIBRACIÓN .....	85
TABLA 9. GRUPOS FUNCIONALES DEL MATERIAL COMPUESTO .....	92
TABLA 10. GRUPOS FUNCIONALES PRESENTES EN EL ENJUAGUE CON AGUA .....	94
TABLA 11. GRUPOS FUNCIONALES EN ENJUAGUE CON ETANOL .....	96

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

GRÁFICA 1. DIFRACCIÓN DE LA MUESTRA 1 DE MUCÍLAGO .....	75
GRÁFICA 2. DIFRACCIÓN DE LA MUESTRA 2 DE MUCÍLAGO .....	76
GRÁFICA 3. DISOLUCIONES DE GLIFOSATO .....	85
GRÁFICA 4. PRUEBA DE ADSORCIÓN CON LUZ SOLAR .....	87
GRÁFICA 5. PRUEBA DE ADSORCIÓN SIN LUZ SOLAR .....	88

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. DESGLOSE DEL MARCO JURÍDICO .....	35
FIGURA 2. DIAGRAMA DEL DISEÑO EXPERIMENTAL DE LA EXTRACCIÓN DE MUCÍLAGO DE NOPAL .....	50
FIGURA 3. DIAGRAMA DEL DISEÑO EXPERIMENTAL DE LA ELABORACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO .....	63

## Resumen

### PROPUESTA DE UN MÉTODO ALTERNATIVO ELABORADO A PARTIR DE MUCÍLAGO DE NOPAL (*OPUNTIA FICUS INDICA*) PARA LA POSIBLE REMOCIÓN DE GLIFOSATO EN SOLUCIONES ESTÁNDAR.

**Palabras clave:** Contaminación, herbicida, glifosato, mucílago de nopal, adsorción, material compuesto.

El crecimiento poblacional ha aumentado significativamente. La Organización de las Naciones Unidas (ONU) tiene previsto que la población mundial alcance los 8.500 millones de habitantes en el año 2030, 9.700 millones en 2050 y 11.200 millones en 2100 (Organización de las Naciones Unidas, 2019), provocando con ello una mayor demanda en la producción de alimentos, por esta razón la agricultura se ha enfrentado a múltiples retos, uno de ellos es tener que producir más alimentos con el fin de satisfacer la demanda del crecimiento poblacional. Estas situaciones ha conllevado a la incorporación de agroquímicos como son los herbicidas de entre los que destaca el Glifosato.

El uso intensivo y no regulado de plaguicidas han desencadenado diversas problemáticas ambientales como lo es la contaminación de agua que a su vez han provocado padecimientos de salud a la población. Se han asociado a problemas ambientales y de salud en las zonas donde son continuamente aplicados. Ante ello, existe la necesidad de diseñar e implementar estrategias para ser removido en agua ya que no ha sido estudiado a profundidad, por tal motivo el objetivo de esta investigación se centra en la elaboración de un material compuesto elaborado a partir de mucílago de nopal con la intención de adsorber uno de los herbicidas más utilizados en el mundo y clasificado ante la Organización Mundial de la Salud (OMS) como compuesto cancerígeno.

Las técnicas de análisis que se utilizaron fueron la espectroscopia UV para monitorear el comportamiento del Glifosato y la espectroscopia infrarroja IR para realizar una caracterización del mucílago de nopal, así como también determinar y comparar los grupos funcionales presentes en el material compuesto antes y después de ser sometidos al proceso de adsorción indicando con esto la presencia de glifosatos.

Los resultados obtenidos señalan que el Glifosato sufrió un proceso de degradación en sus principales subproductos que es el Ácido aminometilfosfónico (AMPA) y la Sarcosina, mediante la técnica de análisis de espectroscopia IR se pudo identificar que el compuesto a pesar de su degradación logro adsorberse en el material compuesto asimismo se consiguió la elaboración del material compuesto estable y reciclable que contribuye a la adsorción del Glifosato.

Con este trabajo no solo se busca plasmar un antecedente en cuanto a la investigación de filtros elaborados con materiales naturales, sino que también se busca contribuir con una alternativa a las problemáticas de contaminación de agua por uso de agroquímicos, esperando el diseño de un prototipo para aplicarlo en situaciones no controladas.

## Esquema de la Investigación

### Planteamiento del problema

La agricultura en el siglo XXI se enfrenta a múltiples retos, uno de ellos es tener que producir más alimentos con el fin de satisfacer la demanda del crecimiento poblacional que se vive hoy en día y a su vez reducir la mano de obra durante el proceso de producción de alimentos (FAO, 2009).

Según una proyección de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) para el año 2050 habrá aproximadamente 9,800 millones de personas (ONU, 2017), de tal manera que la tendencia muestra que la demanda comercial de alimentos se verá en constante aumento (FAO, 2009). No obstante, para tratar de cumplir este desafío dentro del proceso de la agricultura se han ido incorporando técnicas como es el uso de agroquímicos (fertilizantes, plaguicidas, herbicidas, entre los más comunes) y de organismos genéticamente modificados (OGM) que han alterado las condiciones naturales del medio ambiente (Arellano & Montero, 2017).

Por ejemplo, los plaguicidas son habitualmente incorporados a los cultivos debido a que representan una manera costo-efectiva para controlar algunas plagas de insectos y herbicidas que se llegan a presentar en las zonas agrícolas (Arias, y otros, 2008). En un estudio elaborado en 1999 realizado por el *United States Geological Service (USGS)*, se detectaron la presencia de plaguicidas en un 95% de las muestras analizadas de aguas superficiales, así como un 50% en los pozos muestreados (Robert J.G et al., 1999 citado en Arias, y otros, 2008). De igual forma La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), reportó que el uso de plaguicidas se encuentra relacionado con la presencia de al menos 46 sustancias contaminantes en aguas subterráneas y 76 en aguas superficiales (Larson S. J. et al., 1997 citado en Arias, y otros, 2008).

Los agroquímicos se pueden clasificar de acuerdo a su funcionalidad, por ejemplo, insecticidas, fertilizantes, herbicidas, nematocidas etc. (Universidad de Valencia, 2015). Esta investigación se enfoca en los herbicidas los cuales son utilizados en la agricultura para inhibir el crecimiento de malezas, y evitar la competencia de nutrientes, luz y agua con el cultivo principal, también se utiliza para brindar un aspecto más estético al campo o a los estanques, además de que son la forma habitual más “rápida, accesible y

económica” para el cultivo (Gaceta del Senado, 2016). La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), cuenta con estadísticas que reportan que tan solo en México se usaron en promedio 31,195 toneladas de herbicidas en el año 2013 (Arellano & Von Osten, 2016).

No obstante, existe una gran variedad de estos, por lo que solo nos enfocaremos en uno de ellos, el glifosato, el cual es un herbicida de amplio espectro no selectivo, cuya fórmula empírica es  $C_3H_8NO_5P$ , se considera un ácido orgánico débil formado por una molécula de glicina y otra de fosfometilo (Varona, y otros, 2009). De acuerdo con la organización *Pesticide Action Network (PAN)*, este agroquímico es persistente en el suelo y agua de tal manera que su promedio de vida media es de 1 a 142 días (Arellano & Montero, 2017).

El Glifosato es uno de los plaguicidas más peligrosos en todo el mundo y en México, algunos estudios realizados por Pengue, (2003). muestran los impactos ambientales y a la salud provocados por este herbicida. En el año 2015 la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer, órgano especializado de la Organización Mundial de la Salud (OMS), lo clasificó como probable cancerígeno (*Pesticide Action Network International*, 2016). Actualmente el manejo, condiciones y forma de aplicación de este herbicida ha sido inadecuado originando grandes problemáticas y a pesar de ello no es un tema que se le dé la importancia que requiere y el cual no es regulado por las autoridades correspondientes en México (Pengue, 2003).

Recientemente se señaló la presencia de Glifosato en la harina de la empresa alimenticia Maseca®, en la cual hacen uso de maíz transgénico, se comprobó la existencia de OGM alcanzando hasta un 94.15% en una de las muestras que se llevaron a cabo, se observó una clara correlación: a mayor porcentaje de OGM, mayor concentración de Glifosato (Forbes Staff, 2018). Los resultados de las muestras de laboratorio presentan concentraciones de Glifosato que van desde 5.14 hasta 17.59 microorganismos de Glifosato por cada kilo de harina (Forbes Staff, 2018).

De acuerdo con *Pesticide Action Network International* (2016) el Glifosato no puede ser completamente removido de los alimentos inclusive después de lavarlos, descascararlos o procesarlos, representando así una problemática para la población que consume

alimentos contaminados con este agroquímico ya que se encuentra vulnerable para desarrollar padecimientos relacionados a la exposición del herbicida.

En el año 2014 en nuestro país se utilizaron aproximadamente 13, 773 toneladas de Glifosato, cantidad que es importada principalmente de Estados Unidos (Bejarano, 2017) a pesar de que no se tiene una cifra exacta de la cantidad aplicada anualmente se puede inferir tomando en consideración la superficie sembrada o autorizada de alimentos genéticamente modificados (GM), dando a entender de esta manera que entre más se cultive este tipo de alimentos mayor será el índice de uso de Glifosato (Arellano & Montero, 2017).

La permanencia del Glifosato, su uso intensivo y los limitados mecanismos que existen para su remoción, demandan la necesidad de desarrollar un método para contribuir con la disminución o eliminación de los residuos de este herbicida disuelto en fase acuosa, es por ello que en este estudio se propone elaborar un material empleando en su mayoría elementos naturales, de fácil acceso y económicos propios de nuestro país (como el nopal), así como residuos inorgánicos tales como el poliestireno expandido (unicel) que contribuya a la problemática de contaminación.

## **Justificación**

El modelo actual de producción de alimentos ha promovido la incorporación del uso de plaguicidas para combatir enfermedades y malezas presentes en los cultivos, con la finalidad de obtener un mayor rendimiento y beneficio, no obstante, el panorama futuro no pinta distinto al actual ya que “La producción mundial de alimentos tendrá que aumentar hasta en un 60% para satisfacer la demanda en 30 años” (El Heraldo, 2015)., lo que podría indicar un aumento a la par con el uso de plaguicidas si no se encuentran alternativas que sean amigables con el medio ambiente y que no afecte la salud de la población, ya que estos al ser utilizados y mal manejados han traído consigo problemáticas severas de salud y medioambientales, por ejemplo el deterioro de la calidad del agua (Arrazcaeta, 2002).

En este sentido el presente trabajo de investigación pretende contribuir al estudio del mucílago de nopal elaborando un material compuesto como posible bioadsorbente de contaminantes presentes en agua. El mucílago de nopal ya ha sido probado para la remoción de metales pesados y sólidos disueltos, sin embargo, en esta investigación se busca evaluar su efectividad como posible adsorbente en soluciones estándar con Glifosato, el cual es “uno de los herbicidas más utilizados en el mundo” (Arellano & Montero, 2017).

Otra ventaja del desarrollo de esta investigación es contribuir a la información que existe acerca de los métodos sobre remoción de plaguicidas en agua, la cual se ha encontrado escasa (Arellano & Montero, 2017). Y se plantea lograr el diseño base de este método alternativo que en un futuro pueda continuarse e implementarse para la disminución de enfermedades o padecimientos relacionados a la exposición de Glifosato, por ejemplo, el desarrollo de alergias, asma, enfermedades cardiovasculares o crónicas degenerativas como es el mieloma múltiple (Arellano & Montero, 2017).

## **Hipótesis**

Las propiedades químicas del mucílago de nopal (los grupos funcionales hidroxilo y carboxilo) en su estructura permitirán la adsorción de Glifosato en soluciones estándar.

## **Objetivo general**

Desarrollar un material compuesto elaborado a partir de mucílago de nopal para la adsorción de Glifosato presente en soluciones estándar.

## **Objetivos específicos**

- Integrar un marco conceptual a partir de los principales conceptos relacionados con el proyecto de investigación.
- Conocer y analizar las propiedades del mucílago de nopal como posible materia prima en el estudio mediante una caracterización de la especie.
- Optimizar la metodología para la extracción de mucílago de nopal.
- Determinar si el mucílago de nopal tiene la capacidad de remover el Glifosato en soluciones estándar a través de técnicas de análisis en laboratorio.

## **Materiales y métodos**

El método empleado en el desarrollo del presente estudio es experimental ya que recurre al apoyo de técnicas de laboratorio a métodos “observacionales, analíticos y estadísticos”, de igual manera se considera experimental por la intervención de variables dependientes para observar los resultados mediante variables independientes (Sampieri, 2006).

Con esto se pretende llevar a cabo un posible método de adsorción del Glifosato mediante el desarrollo de un material que permita analizar el comportamiento de las soluciones estándar de agua preparadas con el herbicida en laboratorio de manera que se pueda tener un control de las concentraciones que se agreguen a las muestras correspondientes (Sampieri, 2006).

Se determina en el laboratorio las características y propiedades tanto físicas como químicas que posee el mucílago de nopal a manera que se analice su capacidad para la adsorción de Glifosato en soluciones estándar, una vez obtenidos los datos de las pruebas realizadas en laboratorio, se interpreta de manera cualitativa los resultados obtenidos y de esta manera realizar una evaluación del biomaterial propuesto (Sampieri, 2006).

El presente proyecto de investigación se llevó a cabo en dos fases, la primera consiste en la extracción del mucílago de nopal y en la segunda se contempla la elaboración del material compuesto así también como el proceso de adsorción del Glifosato.

## **Antecedentes**

El agua es uno de los elementos más importantes en el desarrollo de las distintas formas de vida que existen en el planeta (Vazquez E., 2017). Sin embargo, una de las grandes problemáticas que se enfrentan en la actualidad es la contaminación del recurso hídrico la cual se produce por el vertimiento de contaminantes a ésta (Vazquez E., 2017). La contaminación de agua ha traído consecuencias no solo para las especies si no también ha repercutido en la salud de las personas (Vazquez E., 2017).

Debido a lo anterior existe una necesidad de desarrollar métodos que contribuyan a la remoción de contaminantes presentes en el agua. A continuación, se mencionan algunos de los estudios consultados en relación a la adsorción, remoción o extracción de contaminantes en soluciones acuosas en donde se utilicen materiales elaborados a base de algún elemento natural.

En el año de 1994 se realizó un trabajo titulado “**Extracción de coagulantes naturales del nopal y aplicación en la clarificación de aguas superficiales**” el cual tuvo por objetivo lograr la clarificación de aguas superficiales y la remoción de metales pesados en muestras sintéticas y de agua residual doméstica con coagulante natural extraído de diversas especies de nopal (Vazquez, 1994). Este trabajo obtuvo como resultados lo siguiente:

“Remoción del 83.3% de Plomo, 80.5 de Hierro Y de 15.1% de Zinc para un pH de 6.5 y con una aplicación de 30mg/L de *O. imbricata*. Para el siguiente caso se utilizó la misma cantidad de opuntia, pero el pH cambio a 8.5, logrando remover 78.6% de Plomo, 86.4% de Hierro y 50.3 de Zinc” (Vázquez, 1994).

El siguiente trabajo titulado “**Removing Heavy Metals in Water: The Interaction of Cactus Mucilage and Arsenate (As (V))** [Remoción de metales pesados en agua: la interacción del mucilago de nopal y el Arsénico V]” fue realizado en el año 2012. Esta investigación arrojó que las soluciones que fueron tratadas con mucílago mostraron diferencias en la concentración de arsénico en la interfaz aire-agua (Dawn I. , Pichler, Yeh,

& Alcantar, 2012). Para poder analizar las soluciones se ocupó la espectroscopía ATR-FTIR y UV-Vis, métodos con los cuales también se demostró que el extracto gelificante (GE) funcionó mejor en promedio que el extracto no gelificante (NE) además de que el pH afecta el rendimiento del mucílago. (Dawn I. , Pichler, Yeh, & Alcantar, 2012).

Otro estudio realizado en el 2013, con la finalidad de sustituir al sulfato de aluminio en la **“Remoción de la turbidez del agua del Rio Magdalena usando el mucílago de nopal *Opuntia ficus-indica*”** el cual es comúnmente usado para la clarificación de agua, no obstante, se buscó una alternativa natural para sustituir este compuesto químico (Olivero Verbel, Mercado Martínez, & Montes Gazabón, 2013). Las muestras de agua procedían del Rio Magdalena en Colombia, se realizó a través del método de jarras y el objetivo de esta investigación fue; “remover la turbidez de esa agua, el resultado de esta investigación fue que la remoción de turbidez con el mucílago de nopal fue del 93.25% en el agua del Río Magdalena” (Olivero Verbel, Mercado Martínez, & Montes Gazabón, 2013).

El trabajo de investigación realizado por Ovando, (2012), titulado **“Modificación de biopolímero extraído de nopal (*Opuntia ficus-indica*) y su aplicación para la remoción de metales pesados en agua”**, el cual tuvo por objetivo general realizar “una síntesis de un biopolímero obtenido a partir de mucílago de nopal y ácidos carboxílicos con propiedades antimicrobianas así también como evaluar la capacidad de remoción de metales pesados en soluciones acuosas del material resultante”.

Las técnicas de análisis que se utilizaron fueron principalmente; Espectroscopia de infrarrojo (FTIR), Calorimetría diferencial de barrido (DSC) y Microscopia electrónica de barrido (MEB), a través de las cuales se obtuvieron resultados favorables para la adsorción del cadmio en agua (Ovando, 2012). Mediante la técnica de espectroscopia de infrarrojo específicamente se corroboró que el mucílago de nopal presenta grupo funcionales principalmente grupos hidroxilo y carboxilo en su estructura química los cuales son capaces de atraer metales incluso se determinó que estos grupos funcionales permiten que el biopolímero sea entrecruzado generando así un material más resistente ante la remoción de dichos contaminantes (Ovando, 2012).

El proyecto de investigación **“Aplicación de hidrotalcitas como adsorbentes para la reducción de la contaminación por plaguicidas de aguas y suelos”** fue realizado en

octubre de 2010 y fue realizado en la modalidad de tesis por el aspirante a Doctorado Felipe Bruna González en la Universidad de Córdoba. Tiene como objetivo principal.

“La evaluación de diferentes compuestos tipo hidrotalcita modificados y sin modificar con aniones orgánicos, previamente sintetizados en el laboratorio bajo condiciones controladas, para la adsorción de plaguicidas, con especial énfasis en su posible uso como soporte de los mismos para el desarrollo de formulaciones de liberación controlada en suelos” (Bruna, 2010).

Los plaguicidas que se utilizaron para esta tesis fueron los siguientes: “MCPA [ácido (4-cloro-2-metilfenoxi) acético], Carbetamida [(R)-(2)-1-(etilcarbamoil) etilfenilcarbamato], Metamitrona (4-amino-3-metil-6-fenil-1,2,4-triazin-5-ona) y Terbutilazina [(N2-tert-butil-6-cloro-N4-etil-1,3,5-triazina-2,4-diamina)]” (Bruna, 2010). El material (mineral) ocupado como adsorbente fue la hidrotalcita o también conocido como hidróxidos dobles laminares, el cual se puede sintetizar fácilmente al no encontrarse en la naturaleza con frecuencia (Bruna, 2010).

Los resultados obtenidos fueron que la adsorción depende mucho de las características físico-químicas del herbicida empleado, así como también de la condición interlaminar de la hidrotalcita (Bruna, 2010).

Dentro de la revisión bibliográfica que se realizó se encontraron estudios referentes a algún compuesto natural para la remoción de algún contaminante en soluciones acuosas sin embargo no se encontró algún método para la remoción de plaguicidas. Dentro de los estudios que se analizaron se utilizaron métodos controlados en laboratorio, la única excepción fue la aplicada en el proyecto “Remoción de la turbidez del agua del Rio Magdalena usando el mucílago de nopal *Opuntia ficus-indica*” en donde se utilizaron muestras de agua directa de la zona de estudio.

# **CAPÍTULO 1 MARCO CONCEPTUAL**

El presente capítulo tiene como finalidad dar a conocer los principales conceptos relacionados con el trabajo de investigación, esto proporcionara un panorama más amplio que permita entender y relacionar con más facilidad el tema de estudio.

## 1.1 Contaminación del agua

Actualmente una de las problemáticas que se vive a nivel mundial, nacional y local es la poca disponibilidad del recurso hídrico, esto gracias a diversos factores antropogénicos que han intensificado la contaminación en aguas superficiales y subterráneas. Para Bermudez (2010) un contaminante es “cualquier sustancia o forma de energía que puede provocar algún daño o desequilibrio que puede o no ser irreversible en un ecosistema, medio físico o ser vivió”.

Según Bermudez (2010) los contaminantes se clasifican de la siguiente manera:

**Contaminantes no degradables:** Corresponden a aquellos contaminantes que no tienen la capacidad de desintegrarse de forma natural, persisten en el medio donde se encuentran y su remoción resulta costosa, un ejemplo de estos contaminantes son principalmente los compuestos químicos como plomo y mercurio.

**Contaminantes de degradación lenta o persistente:** Son todas aquellas sustancias que por su composición requieren décadas para llegar a su degradación total, un ejemplo de estos son los plásticos.

**Contaminantes degradables o no persistentes:** Contaminantes que se descomponen fácilmente, son capaces de reducirse en buenas proporciones o desintegrarse completamente gracias a procesos naturales, físicos, químicos y biológicos.

**Contaminantes biodegradables:** Estos contaminantes se desintegran con la ayuda de organismos vivos. “Los contaminantes químicos complejos que se metabolizan en compuestos químicos más sencillos por la acción generalmente bacterias especializadas”.

El conjunto o presencia de contaminantes en el medio provoca la contaminación, para Encinas (2011), se entiende como contaminación a la “presencia en el aire, agua o suelo de sustancias o energía capaces de perjudicar o alterar el estado natural del ecosistema

propociando problemáticas ambientales y de salud”. Existen diferentes tipos de contaminación que dependen de determinados factores y que afectan distintamente a los recursos naturales, las principales causalidades de la contaminación son los factores urbanos, industriales y agrícolas (Bermudez, 2010).

En lo que respecta a la contaminación del agua, se dice que el agua está contaminada cuando presenta compuestos dañinos que repercuten en su calidad los cuales imposibilitan el consumo humano, para usos posteriores o perjudican el bienestar de los organismos y ecosistemas (Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, A.C, s.f).

El Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, A.C, establece una clasificación para las fuentes de contaminación del agua las cuales son:

### **Primera clasificación.**

**Fuentes puntuales:** Se refiere a todos aquellos elementos que pueden ser situados e identificados fácilmente un ejemplo son las descargas de aguas industriales y municipales.

**Fuentes no puntuales:** También conocida como difusa o no localizada ya que se desconoce el punto exacto de la descarga de los contaminantes por ejemplo, los vertimientos provenientes de la escorrentía en efecto de la industria agrícola y la filtración de agroquímicos.

Para Echarri (1998) las fuentes de contaminación de agua se clasifican en:

### **Segunda clasificación**

**Fuentes Naturales:** El agua puede contener diferentes elementos de origen natural de acuerdo a los terrenos por donde atraviesa esto por el contacto con la atmósfera y el suelo, un ejemplo son las sales minerales, calcio, magnesio, entre otros.

**Fuentes Artificiales:** Provenientes de las actividades antropogénicas, una de las principales causas es el desarrollo industrial que ha provocado la presencia de sustancias y componentes tóxicos y perjudiciales para el ambiente y los organismos.

### 1.1.2 Clasificación de los contaminantes presentes en el agua.

De acuerdo con Cisneros (2001) citado en Cortes (2015) los contaminantes se pueden clasificar de acuerdo con su naturaleza de la siguiente manera:

**Contaminantes químicos:** Compuestos provenientes de lo drenados de minas, desechos provenientes de la actividad agrícola, derrames de petróleo, desechos líquidos industriales así también como pesticidas y descarga de aguas residuales.

**Contaminantes biológicos:** Organismos que provocan enfermedades en los seres vivos, las más comunes en el ser humano son la tifoidea, la salmonelosis, disentería, cólera y helmintiasis. Los agentes que las originan se introducen al agua mediante las heces fecales. Esta problemática ha ido aumentando al grado de que se estima que “el 80% de todas las enfermedades y más de 1/3 parte de los fallecimientos en los países de vías de desarrollo se debe al consumo de agua contaminada”.

**Contaminantes físicos:** “Son alteraciones de las propiedades físicas del agua tales como temperatura, color, etc.”, las cuales pueden tener diferentes repercusiones en el ambiente.

“Las actividades industriales y agrícolas conducen a una contaminación química del agua por metales, colorantes, plaguicidas y otros compuestos” (Cisneros M. , Cárdenas, Burelo, & Alemán, 2016). Recientemente se ha detectado la presencia de compuestos dañinos y altamente peligrosos denominados “contaminantes emergentes” (Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, A.C., s.f).

### 1.1.3 Contaminantes emergentes en el agua (CE).

Los contaminantes emergentes (CE) son aquellos “compuestos de distinta naturaleza química cuya presencia pasa inadvertida en el ambiente, no se considera significativa en términos de distribución y concentración”, no obstante, hoy en día este tipo de contaminantes han incrementado significativamente, siendo detectados en grandes concentraciones, lo cual ha acarreado diferentes impactos a la salud y al medio ambiente (Gil, Soto, Usma, & Gutiérrez, 2012).

Una de las particularidades que presentan los (CE) es que no necesitan estar en contacto con el medio para provocar efectos negativos, se ha definido que este tipo de contaminantes ingresan al ambiente a través de diferentes vías provocando un gran impacto ecológico y de salud (Gil, Soto, Usma, & Gutiérrez, 2012).

Los (CE) “comprenden una significativa gama de compuestos químicos, farmacéuticos, productos de cuidado personal, plastificantes y aditivos industriales, los cuales no se encuentran incluidos en el monitoreo actual del tratamiento de aguas” (Gil, Soto, Usma, & Gutiérrez, 2012).

#### **1.1.4 Contaminantes en aguas residuales**

El agua, al ser una molécula polar tiene gran capacidad de establecer enlaces de hidrógeno con otras moléculas, puede diluir un gran número de sustancias por tal razón es considerada como el disolvente universal (Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, A.C, s.f). Debido a esta característica los contaminantes que se albergan en el agua principalmente los químicos los cuales son vertidos o bien arrastrados por la escorrentía superficial alterando así su calidad (Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, A.C, s.f).

Se nombra agua residual al “liquido resultante del proceso de incorporar un producto de desecho” (Cisneros M. G., Cárdenas, Burelo, & Aleman, 2016). Las aguas residuales pueden poseer distintas sustancias contaminantes en diferentes concentraciones, se considera con mayor alcance aquellos elementos en donde las concentraciones son mayores a la concentración traza permitida en la normatividad repercutiendo así considerablemente a la salud de la población (Cisneros M. G., Cárdenas, Burelo, & Aleman, 2016).

Los contaminantes orgánicos que se encuentran en las aguas residuales incrementan la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), así como la demanda química de oxígeno (DQO), lo cual produce el agotamiento de oxígeno presente en el agua dando como resultado la eutrofización, proceso que representa una amenaza para los organismos acuáticos. (Cisneros M. G., Cárdenas, Burelo, & Aleman, 2016). “Otros contaminantes orgánicos que están presentes en el agua son los pesticidas, aceites, plaguicidas, detergentes, fármacos

entre otros compuestos de aceite o grasa como el diésel” (Cisneros M. G., Cárdenas, Burelo, & Aleman, 2016).

## **1.2 Fuentes de contaminación del agua en México.**

Las aguas residuales pueden contener diferentes sustancias contaminantes en diferente concentración. De acuerdo con el Centro Mexicano de Derecho Ambiental (CEMDA) (2006) las principales fuentes de contaminación del agua en México son las siguientes:

**Prácticas agrícolas:** El uso de plaguicidas en la actividad agrícola ha aumentado significativamente provocando una grave contaminación en los cuerpos de agua, estos compuestos son llevados principalmente a los ríos por el arrastre de la lluvia y la erosión de suelo. “Las aguas de retorno agrícola son una fuente de contaminación importante cuyo impacto se manifiesta en el alto porcentaje de cuerpos de agua que se encuentran en condiciones de eutrofización”.

**Urbanización:** Se presenta en los grandes asentamientos urbanos, corresponde a la contaminación que existe por la descarga de aguas de aguas municipales.

**Descargas industriales:** “Descargas generadas por las actividades de extracción y transformación de recursos naturales usados como bienes de consumo y satisfactores para la población”. La principal problemática de este tipo de descargas es la contaminación del agua por sustancias químicas perjudiciales a la salud y al medio ambiente que no son capaces de degradarse fácilmente en condiciones naturales un ejemplo son los metales pesados.

**Sector pecuario:** “Constituido por los efluentes de las instalaciones dedicadas a la crianza y engorda de ganado mayor y menor”.

**Uso turístico y de navegación:** “Existen más de 850 sitios asociados a cuerpos de agua que podrían destinarse al establecimiento de lugares recreativos”. Algunos ríos o estuarios son aprovechados con fines turísticos sin embargo ha representado una fuente localizada de contaminación del agua por la falta de educación ambiental por parte de los visitantes. Otro factor importante de contaminación son las embarcaciones que se realizan para el traslado de productos comerciales.

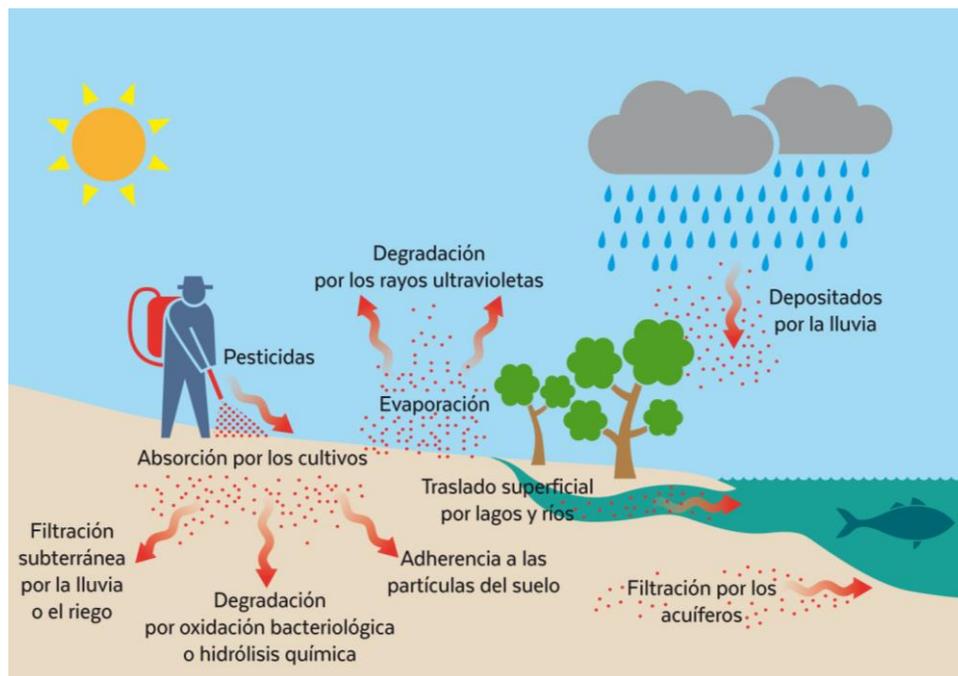
### 1.2.1 Contaminación de agua por uso de plaguicidas.

Uno de los factores que más impacto tiene en la contaminación del agua es el desarrollo de la actividad agropecuaria debido al uso de determinados plaguicidas (Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, A.C, s.f). Estos han provocado problemáticas ambientales y de salud severas debido a que suelen ser aplicados directamente en los cultivos, de esta manera los plaguicidas son susceptibles a filtrarse en los mantos freáticos (Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, A.C, s.f).

Los ecosistemas acuáticos son muy amplios y diversos, los ríos, lagos, corrientes de agua, costas marinas, océanos, entre otros, pueden llegar a ser contaminados por plaguicidas ya que estos suelen ser desplazados por la superficie terrestre, penetrando en el suelo influenciados por el arrastre del agua y abriéndose paso hasta las aguas subterráneas (Arrazcaeta, 2002).

Una forma de apreciar las maneras por las cuales los plaguicidas llegan a los ecosistemas acuáticos perjudicando en gran medida sus componentes bióticos y abióticos es mediante las vías de movimiento que se aprecian en la ilustración 1, la cual se muestra a continuación.

**Ilustración 1. Vías de movimiento de los plaguicidas.**



Fuente: (Ecologistas en acción, 2018).

La presencia de plaguicidas se ha comprobado en los acuíferos de todos los países desarrollados (Bermudez, 2010). Actualmente no existe una cifra precisa de la contaminación por fitosanitarios de las aguas subterráneas, pero se sabe con certeza que estos productos están presentes principalmente en los acuíferos en donde se desarrolla la actividad agrícola intensiva (Bermudez, 2010).

De acuerdo con el artículo 2° del Código Internacional de Conducta para la Distribución y Utilización de Plaguicidas, citado en Puerto, Suárez, & Palacio (2014), define a un plaguicida como:

*“Cualquier sustancia o mezcla de sustancias destinadas a prevenir, destruir o controlar cualquier plaga, incluyendo los vectores de enfermedades humanas o de los animales, las especies no deseadas de plantas o animales que causan perjuicio o que interfieren de cualquier otra forma en la producción, elaboración, almacenamiento, transporte o comercialización de alimentos, productos agrícolas, madera y productos de madera o alimentos para animales, o que se le pueden administrar para combatir insectos, arácnidos u otras plagas en o sobre sus cuerpos”.*

Existe una amplia clasificación en cuanto a los tipos de plaguicidas o agroquímicos, instituciones como la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación, Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Agencia de Protección Ambiental (EPA) los clasifica de acuerdo a su grado de toxicidad o bien algunos otros autores los clasifican según el grupo químico al cual pertenecen, su comportamiento en la planta, su especificidad, su vía de ingreso o su modo de acción (Cruzalta, 2018). Para efectos del presente trabajo de investigación nos centraremos en la clasificación según el hospedante sobre el cual actúa el agroquímico.

De acuerdo con Lujan (2014) citado en Torres A. V. (2016) los plaguicidas de acuerdo al hospedante sobre el cual actúan se pueden clasificar de la siguiente manera:

**Insecticidas:** “Aquellos utilizados para evitar plagas de insectos, funcionan inhibiendo enzimas vitales en los cultivos”.

**Herbicidas:** “Son los que generalmente se utilizan para desechar y evitar el crecimiento de plantas no deseadas en los cultivos. De acuerdo con el tipo de planta que no se quiera dejar crecer, se aplica un herbicida específico”.

**Fertilizantes:** “Es un estimulante utilizado para el enriquecimiento del suelo, favoreciendo así el crecimiento y desarrollo del cultivo más rápidamente”.

**Fungicidas:** “Funcionan al igual que los herbicidas e insecticidas, pero repelan todo tipo de hongos en plantas o cultivos”.

**Acaricidas:** “Funcionan al igual que los herbicidas, insecticidas y fungicidas, pero repelan todo tipo de ácaros (como garrapatas) en plantas o cultivos”.

**Fitorreguladores:** “Son aquellos productos a base de hormonas que permitirán incrementar o estimar el crecimiento de la planta o incluso paralizar el desarrollo de las raíces”.

En este estudio nos centramos en el análisis de los herbicidas ya que nuestro análisis corresponde a esta clasificación. Existen dos tipos de herbicidas muy comunes por la similitud en su estructura química con la hormona característica de crecimiento de algunas plantas, la cual corresponde a “el ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) y el ácido 2,4,5-triclorofenoxiacético (2,4,5-T), los cuales destruyen las plantas de "hoja ancha", pero no las gramíneas (hierbas y cereales), principalmente estos herbicidas son muy utilizados en cultivos de trigo, maíz y arroz” (Restrepo, 1988). Se estima que la producción de maíz es mayor a 27,800 toneladas, de arroz de 266,000 toneladas y de trigo de 3,500 millones de toneladas, lo que significa que la demanda de plaguicidas es muy alta (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Social, 2019).

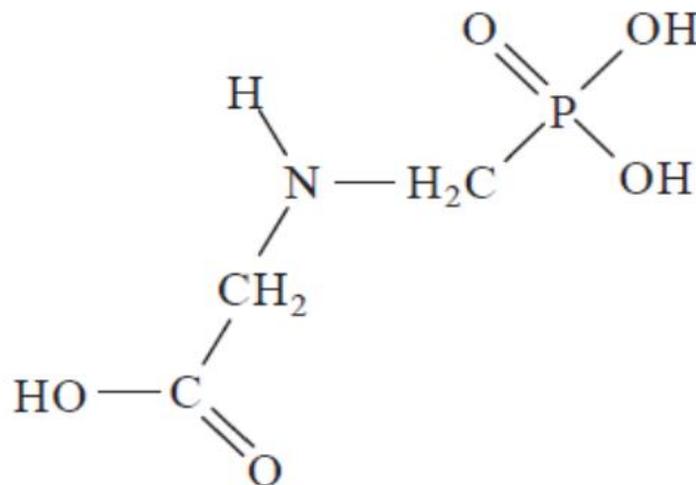
### **1.2.2 Contaminación de agua por Glifosato.**

El Glifosato es uno de los herbicidas más utilizados en todo el mundo debido a la variedad de campos en los que se puede usar, por ejemplo, en uso agrícola y de jardinería ornamental (Varona, y otros, 2009). La Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) autoriza el uso de Glifosato en acciones urbanas, de jardinería y agrícola (Salazar & Aldana, 2011). En este último para la destrucción de malezas de los cultivos de maíz, frijol, trigo, cítricos, tomate, vid, sorgo, papa, entre otros

(Salazar & Aldana, 2011). Es comercializado bajo los nombres de “*Aquamaster, Faena, Mamba, Sankill, Glyfos, Roundup y Ramrod*” en presentaciones de concentrado soluble, gránulo soluble, líquido soluble, polvo soluble, solución concentrada y solución acuosa las cuales se expenden en concentraciones de 350 a 720 gramos de ingrediente activo (IA) por litro o por kilogramo (Salazar & Aldana, 2011).

El Glifosato está compuesto por “sal isopropilamina de N-fosfometilglicina, característica que lo clasifica como un herbicida de amplio espectro, no selectivo (Varona, y otros, 2009). Su fórmula empírica es  $C_3H_8NO_5P$ , es decir, es un ácido orgánico débil conformado por una molécula de glicina y otra de fosfometilo (Varona, y otros, 2009). El principio activo del glifosato bloquea la producción de amino ácidos esenciales en la planta así también como de algunos microorganismos a través de una vía llamada shikimato” (Pesticide Action Network International, 2016). En la ilustración 2, se muestra la fórmula desarrollada de las moléculas del Glifosato.

**Ilustración 2. Fórmula desarrollada del Glifosato**



Fuente: (Gobierno de México, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismo Genéticamente Modificados, 2019).

En cuanto a sus apariencias físicas, el glifosato es “un polvo cristalino, blanco e inodoro con un peso específico de 1.704” (Varona, y otros, 2009), y una densidad de 1.7 g/cm<sup>3</sup> (Internacional Programme on Chemical Safety, 2005). “Este compuesto es característico de ser soluble en agua e insoluble en solventes orgánicos” (Varona, y otros, 2009).

Consultando la hoja de datos de seguridad (HDS) del Glifosato se conoce que puede provocar cáncer, es clasificado dentro de la categoría 3 de peligro agudo para los organismos acuáticos (Internacional Programme on Chemical Safety, 2005). En caso de no utilizar ningún equipo de protección personal (EPP), al momento de manipular este herbicida se pueden presentar repercusiones en la salud principalmente tos, enrojecimiento de la piel, lesiones oculares agudas y en caso de ingestión puede provocar quemazón en la garganta y en el pecho (Internacional Programme on Chemical Safety, 2005).

#### **1.4 Efectos del Glifosato en la salud**

De acuerdo con el Pesticide Action Network International (PAN), debido a la gran variedad de cultivos en donde se utiliza el glifosato, este compuesto se puede encontrar en los alimentos a pesar de haberlos pelado, lavado o procesarlos, especialmente si estos provienen de cultivos genéticamente modificados (Pesticide Action Network International, 2016). En un estudio publicado por Pesticide Action Network International (2016), revela que se encontró residuos en agua de consumo humano, vino, cerveza, leche y algodón; todo lo anterior se vio reflejado debido a la presencia del glifosato en muestras de orina de estadounidenses y europeos modificados.

Reportes citados en Ramírez, Rondon, & Eslava (2003) muestran las afectaciones que tiene en la salud humana y en los mamíferos principalmente la causa es por envenenamiento, la exposición constante a este herbicida está relacionado principalmente con irritaciones en el piel y ojos, problemas respiratorios y gastrointestinales. No obstante, los padecimientos y enfermedades se pueden acrecentar según el tiempo de exposición (Pesticide Action Network International, 2016).

El Glifosato puede inferir inhibiendo numerosas enzimas llegando a la ruptura endocrina, aunado a esto se ha identificado una relación entre el glifosato y el cáncer, infertilidad o problemas en el embarazo (Pesticide Action Network International, 2016). En lo que

respecta a las afecciones de la piel, se han ligado las “exposiciones del AND, linfoma de Hodgkin’s, leucemia de células pilosas y mieloma múltiple” (Pesticide Action Network International, 2016).

En el año 2010 la trasnacional Monsanto patentó al glifosato como un “antimicrobiano poderoso”, sin embargo, este herbicida ha demostrado tener efecto en la flora gastrointestinal, aumentado la vulnerabilidad para bacterias patógenas tanto en humanos como en animales probando desbalances en su salud (Pesticide Action Network International, 2016). En un estudio realizado por Jiménez en el año (2019), de la Universidad de Guadalajara se detectó la presencia de residuos de herbicidas de entre los cuales se incluía el glifosato, resaltando que este fue el compuesto más prevaleciente dentro del estudio realizado, el 100% de las muestras de orina de 146 niños de la delegación “El mentidero” fueron encontrado estos residuos.

La Universidad de Guadalajara y el Centro de Investigaciones de Estudios Superiores de Antropología Social (CIESAS) informó que a finales del año 2018 hubo un incremento en las enfermedades crónico-degenerativas en la población caso de estudio, cabe resaltar que esta comunidad se encuentra ubicada en las parcelas que con constantemente fumigadas con plaguicidas (Jiménez, 2019).

### **1.5 Efectos del Glifosato en el ambiente**

Los efectos del Glifosato en el medio ambiente pueden considerarse directos o indirectos afectando a la cadena alimenticia, ecosistemas y biodiversidad (Pesticide Action Network International, 2016). La pérdida del producto o escurrimiento durante su aplicación puede producir efectos totales o selectivos sobre la flora que se encuentre propia de la región, “Si el banco de semillas fuera reducido por el efecto continuo del herbicida, es probable que se conformase una sucesión secundaria, con el avance de nuevas especies y comunidades vegetales. Es decir, una profunda transformación del ecosistema” (Pengue, 2003 citado en Schapovaloff, 2013).

Este plaguicida puede alterar la constitución natural de los ecosistemas acuáticos rompiendo el balance que existe y provocando un incremento de floraciones de algas nocivas, afectando principalmente a microorganismos como plancton, algas y anfibios (Pesticide Action Network International, 2016). Un estudio publicado por la Red de Acción

en plaguicidas *Pesticide Action Network International* (2016), demostró la reducción del 70% de renacuajos, así como un 40% de incremento en algas acuáticas.

Las especies más vulnerables sobre todo ante las afectaciones genéticas, el estrés oxidativo, daños inmunológicos entre otros, son los anfibios, tal es el caso de la rana africana "*Xenopus laevis*", especie que fue expuesta a la dilución de agua con glifosato y dando como resultado un incremento en el ácido retinoico durante el desarrollo del embrión de esta, haciendo notar que este compuesto afecto significativamente siendo un predecesor de malformaciones (Arellano & Montero, 2017). En lo que respecta a mamíferos, pruebas realizadas específicamente en ratas, se les expuso a 50 nanogramos (ng) de este herbicida durante 2 años y estas fueron desarrollando tumores mamarios, así como daños a nivel hormonal (Arellano & Montero, 2017).

## **1.6 El nopal como recurso natural**

### **1.6.1 Antecedentes**

"Una de las plantas más notables que caracterizan el paisaje de las zonas áridas de México son los magueyes, los mesquites y las yucas", las cuales se asocian a un grupo vegetal que forman parte de la familia "*Cactaceae*" (Bravo, 1978). Las cactáceas, son especies endémicas del Continente Americano que se encuentran distribuidas en las regiones áridas y semiáridas (Bravo, 1978). México cuenta con las condiciones óptimas (latitud, clima, topografía etc.) para albergar estas especies dentro de su territorio (Bravo, 1978).

La *Opuntia ssp* es una especie popularmente conocida como "nopal", es un tipo de cactácea que ha sido considerada por miles de años característica en nuestro país, existen evidencias datadas de hace 7,000 años (Saravia, 2019). Las primeras huertas formales de nopal en México fueron establecidas entre los años de 1940 y 1950 en los estados de Zacatecas, México, San Luis Potosí, Aguascalientes, Jalisco y Guanajuato (FAO; ICARDIA, 2018). Su apogeo fue en el año 1985, ya que durante ese tiempo se llevaron a cabo programas gubernamentales con enfoque de beneficio social lanzados a fines de los años setenta (FAO; ICARDIA, 2018).

Dentro del acontecimiento histórico, el interés del ser humano por los nopales se remonta desde el descubrimiento de América, las cactáceas fueron conocidas en Europa y a su

vez causaron gran asombro y admiración por lo exótico y peculiar de su aspecto y pronto se ocuparon de su estudio (Bravo, 1978).

El nopal también cuenta con la facilidad de rápida propagación, la cual puede ser por multiplicación vegetativa, esto quiere decir que una penca al caer al suelo, sus areolas producen raíces y originan una planta nueva; la otra forma de propagación es por semilla, sin embargo, ésta es menos frecuente, pese a este contra esta forma da paso a que se desarrollen plantas más vigorosas y genéticamente distintas promoviendo su variabilidad genética y por ende de especies (CONABIO, 2009).

En la ilustración 3, se puede apreciar una areola de nopal, esta estructura de las cactáceas permite la formación de las espinas, éstas a su vez dan lugar a otra penca, flor o raíz (CONABIO, 2009).

En la ilustración 4, se puede apreciar una penca de nopal o también conocidas como cladodios, éstos son tallos fotosintéticos de cutícula gruesa y cerosa que evita la evapotranspiración (CONABIO, 2009).

**Ilustración 3. Areola de nopal**



Fuente: (Zaragoza, 2019).

**Ilustración 4. Penca de nopal**



Fuente: (Zaragoza, 2019).

## 1.6.2 Origen y distribución geográfica en México.

“*Opuntia ssp.*, es una especie que presenta el metabolismo del ácido crusaláceo (MAC), es decir, las estomas captan el CO<sub>2</sub> que va a ser utilizado para la síntesis de carbohidratos durante la noche, permitiendo que la pérdida de agua sea menor debido a que ocurre en las horas más frescas del día (Torres, Morales, Ballinas, & Nevárez, 2015). Por otra parte, gracias a su ecofisiología: reproducción asincrónica y adaptaciones estructurales (baja densidad estomacal y cutícula gruesa), la planta es capaz de sobrevivir largos periodos de sequía día” (Torres, Morales, Ballinas, & Nevárez, 2015).

Esta especie también es utilizada en programas de reforestación, por su capacidad de crecimiento en suelos inapropiados para otros cultivos ya que se desarrolla en medios con temperaturas extremas y presencia de lluvias erráticas y se adapta a las variaciones en los niveles de CO<sub>2</sub> atmosférico (Llorente, y otros, 2011). Existen alrededor de 300 especies del género *Opuntia*, cerca del 40% de estas y algunas de ellas endémicas se localizan en la región de Zacatecas y Chihuahua (Llorente, y otros, 2011).

En México, las regiones con mayor riqueza de especies de *Opuntia* son el “Noroeste, El Eje Neovolcánico, El Valle de Tehuacán-Cuicatlán, el Altiplano y el Bajío”; tan solo en estas dos últimas cubren cerca de un millón y medio de hectáreas cultivadas (CONABIO, 2019).

## 1.6.3 Tipos y características de *Opuntia*

De acuerdo con el Boletín 162 de Servicios Agrícolas de la FAO, existen más de 300 especies del género *Opuntia* en el mundo, sin embargo, solo de 10 a 12 de estas especies son utilizadas por el hombre (Sáenz, 2006). El género *Opuntia* tiene diferentes especies que comúnmente son utilizadas para: la producción de fruta o alimentación (*Opuntia ficus-indica*, *O. Amuclaea*, *O. Xocconostle*, *O. Megacantha* y *O. Streptacantha*), algunas otras especies son utilizadas para el forraje o son consideradas como “especies silvestres” (*Opuntia hyptiacantha*, *O. Leucotricha* y *O. Robusta*) (Sáenz, 2006).

Sáenz (2006), la composición química de la *Opuntia* se basa en un “60% al 95% de agua, 11.5% de azúcares, 1.55% de proteínas, 3.12% de pectinas y 0.16% de lípidos”. Su consistencia pegajosa, se debe a la presencia de triterpenos, glucósidos, galactosa y su alto porcentaje de polisacáridos. Algunas de sus propiedades son las siguientes:

- “Capacidad para formar geles, debido a su compleja estructura molecular y a su gran capacidad de hidratación de hasta un 80% de incremento en peso”.
- “Alta capacidad complejante, el cual es el responsable de la retención de los iones metálico”.
- “Alta capacidad de biodegradación, a diferencia de muchos compuestos coagulantes sintéticos”.
- “Mínima toxicidad en polímeros naturales por lo que se usa en muchos casos como alimentos o aditivos en diversos productos”.

### **Nopal Forrajero**

La producción de ganado hoy en día enfrenta grandes retos, uno de ellos es adoptar la resiliencia ante el cambio climático, específicamente en lo que a disponibilidad de alimento se refiere ( FAO; ICARDIA, 2018). Con la disminución de productividad de los pastizales la escasez de agua hoy en día, el nopal gana terreno para producir alimento para el ganado, a esta forma de uso del nopal se le conoce como nopal forrajero ( FAO; ICARDIA, 2018).

Esta alternativa de uso del nopal ha tenido éxito como alimento de animal en países como Brasil y México (en el continente americano) y en Sudáfrica y Túnez. No obstante, para llegar a tener estos casos de éxito se tuvo que invertir fuertemente en la investigación, así como también involucrar a todos los actores de la cadena productiva ( FAO; ICARDIA, 2018).

Como se observa en la ilustración 5, los estados con mayor producción de nopal forrajero son Coahuila, Sinaloa, Zacatecas, Tamaulipas, Aguascalientes, Jalisco, Michoacán, Veracruz y Oaxaca. Estos datos fueron obtenidos del Anuario Estadístico de la Producción Agrícola (SIAP) del año 2018. En un contexto regional, el Estado de México no se coloca entre los principales productores, sino en los medianos, incluso así también debido a que el color en el que se encuentra es en amarillo. Sin embargo, a pesar de lo antes dicho esto podría representar una oportunidad debido al sector ganadero que existe en la región (Saravia, 2019).

**Ilustración 5. Mapa de producción de nopal forrajero a nivel nacional en el 2018**




**Universidad Autónoma del Estado de México**  
**Facultad de Planeación Urbana y Regional**  
**Licenciatura en Ciencias Ambientales**


<p><b>Simbología básica</b></p> <p> Curvas de Nivel cada 200 m</p>	<p style="text-align: center;"><b>Simbología temática</b></p> <p> Estados con mayor producción de nopal en el 2018 (De 1 a 537 902 toneladas)</p> <p> Estados con una producción regular de nopal en el 2018 (De 537 903 a 1 075 805 toneladas)</p> <p> Estados con una baja producción de nopal en el 2018 (De 1 075 806 a 1 613 708 toneladas)</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

1:15,000,000



Sistema de coordenadas: MEXICO ITRF 2008 LCC  
 Proyección: Lambert Conformal Conic  
 Datum: ITRF 2008  
 False Easting: 2,500,000.0000  
 False Northing: 0.0000  
 Central Meridian: -102.0000  
 Standard Parallel 1: 17.5000  
 Standard Parallel 2: 29.5000  
 Latitude Of Origin: 12.0000  
 Unidades: Meter

Elaborado por:  
 Itzel Alejandra Alcántara Zaragoza  
 Janet Colin Plata

Fecha: 26/04/2019  
 Hora: 05:32:56 p. m.

Fuente:  
 Marco Geoestadístico 2018 INEGI  
 Base de Datos del Anuario Estadístico  
 de la Producción Agrícola del SIAP

## 1.7 Mucílago de nopal

Por debajo de la cutícula que cubre una penca u hoja de nopal, se encuentra una sustancia viscosa en forma de pulpa (gel) llamada mucílago (Ramírez S. , 2008). El mucílago del nopal es un polisacárido fibroso, altamente ramificado, cuyo peso molecular oscila alrededor de  $13 \times 10^6$  g/mol (Gibson & Nobel, 1986).

El mucílago de nopal es un polisacárido fibroso, su apariencia física suele ser pegajosa por lo cual es poco manejable, este está compuesto por un alto contenido de azúcares cada molécula de esta sustancia puede llegar a contener más de 30,000 subunidades de azúcar (Ramírez S. , 2008). Entre los azúcares más abundantes que contiene se encuentran: “20 % de D-galactosa, 44% de L-arabinosa, 7% de L-ramnosa, 22% de D-xilosa y 7% de ácido galacturónico”(Ramírez S. , 2008).

**Ilustración 6. Mucílago de nopal**



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Naod & Tsige (2012), señalan que la abundancia y la calidad del mucílago del nopal cambian de acuerdo al tipo de especie, edad del cladodio, estación climática, la topografía del lugar de plantación así también como el tipo de suelo, temperatura y precipitación que se presenten en la zona en donde se encuentre la especie, considerando todos estos factores, se dificulta realizar una correlación de los materiales mucilaginosos de cada especie de nopal que existen.

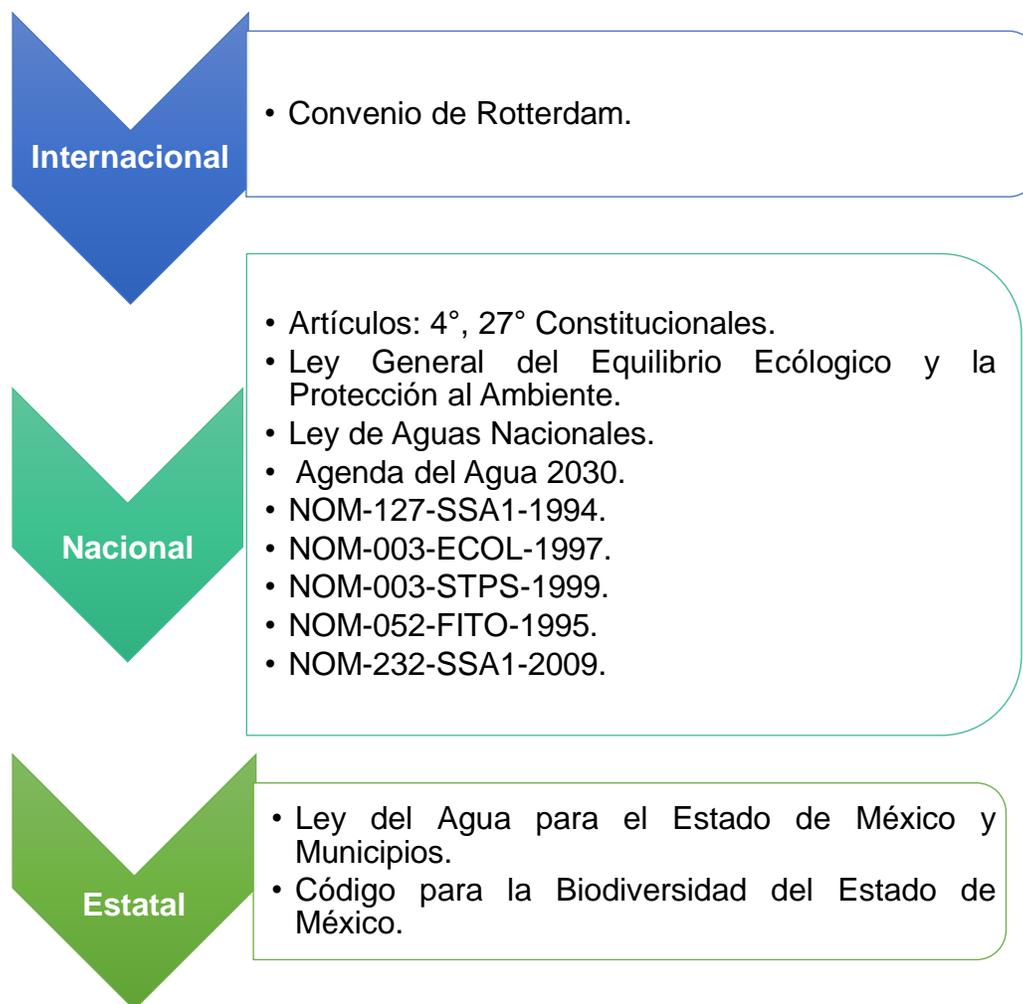
Como se pudo observar en los párrafos anteriores se establecieron diversos conceptos estrechamente relacionados con palabras clave como contaminación, nopal y herbicidas. Si bien es cierto que México es un buen productor de nopal, con esta investigación se podrá determinar qué cantidad de mucílago se obtendrá de una penca de nopal. No obstante, antes de hablar más acerca de la parte experimental es importante resaltar la parte jurídica de esta investigación, por lo cual se presenta a continuación como una forma de respaldar este trabajo.

# **CAPÍTULO 2 MARCO JURÍDICO**

El presente capítulo tiene la finalidad de dar a conocer el conjunto de instrumentos jurídicos que existen en los diferentes órdenes de gobierno en cuanto al uso, aprovechamiento y calidad del recurso hídrico. De igual manera se toma en cuenta los tratados, convenios y aquellas normas que existen en cuanto al uso, manejo y aplicación de plaguicidas a nivel Nacional e Internacional.

En la figura 1 se presentan los instrumentos jurídicos que se tomaron en cuenta para el presente análisis.

**Figura 1. Desglose del Marco Jurídico.**



Fuente: Elaboración propia, 2019.

## **2.1 Instrumentos Jurídicos a nivel Internacional**

En este apartado se darán conocer los instrumentos jurídicos referentes al uso de plaguicidas a nivel internacional que se toman en cuenta para el presente análisis. Dentro del contexto internacional se analiza al Convenio de Rotterdam el cual es un acuerdo al cual llegaron los representantes de diferentes países con la finalidad de promover la responsabilidad compartida del comercio internacional de los diferentes productos químicos, se aprobó el 10 de septiembre de 1998 en la Conferencia de Plenipotenciarios y entró en vigor el 24 de febrero de 2004 (Organización de las Naciones Unidas, 2008).

Sin embargo, este convenio no pudo ser elaborado derivado de los impactos asociados a impactos asociados a la Cumbre de la Tierra en 1992, en donde los funcionarios presentes abordaron temas con la necesidad de implantar controles referentes al capítulo 19 del programa 21, en el cual se establece de orden obligatorio implementar un instrumento jurídicamente vinculante a los temas relacionados de sustancias peligrosas (Organización de las Naciones Unidas, 2008).

Una vez planteado lo anterior, el consejo de la FAO y el Consejo de Administración del Programa de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente (PNUMA) iniciaron las labores correspondientes para que finalmente en marzo 1998 se finalizara el texto del convenio para la aplicación de ciertos productos químicos peligrosos objeto de comercio internacional (Organización de las Naciones Unidas, 2008). México ratificó este Convenio el 2 de agosto de 2005, compromiso avalado ante la Secretaria General de la ONU (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2015).

## **2.2 Instrumentos Jurídicos a nivel Nacional**

En este apartado se darán a conocer los diferentes instrumentos jurídicos que existen a nivel nacional para la regulación y gestión del recurso hídrico, así como los artículos relacionados que rigen el bienestar y cuidado del ambiente en el cual se desarrolla la sociedad, tomando en cuenta los preceptos que existen en la legislación en donde se considera el uso de plaguicidas.

Dentro del marco nacional se reconoce a la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, máximo instrumento de reglamentación en nuestro país (Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, 2016). Las bases constitucionales de la legislación en cuanto al recurso hídrico son las siguientes:

El párrafo sexto del artículo 4° constitucional menciona que; “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, 2016, art. 4).

El artículo 4° constitucional, menciona que el Estado es responsable de garantizar este derecho así como la ley con la participación de la Federación, las entidades federativas y los municipios los cuales definirán las medidas estratégicas para que todas las personas tengan a su disposición el acceso y el uso equitativo de los recursos hídricos y en caso de dañarlos o perjudicar ambientalmente los recursos será responsabilidad absoluta para quien lo genere (Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, 2016).

El artículo 27 constitucional menciona que; “La propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional, corresponde originariamente a la Nación, la cual ha tenido y tiene el derecho de transmitir el dominio de ellas a los particulares” (Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, 2016, art. 27).

Este artículo hace referencia al recurso hídrico como propiedad de la Nación sin embargo éste puede ser transmitido a particulares, no obstante, en dado caso que el dueño del terreno haga mal uso de este recurso, la Nación tiene el derecho de apropiarse de manera inalienable e imprescriptible (Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, 2016). Algunas de las sociedades mexicanas hacen mal uso de este recurso el cual se encuentra dentro de sus predios, afectando otros aprovechamientos y usos, la falta de conciencia y responsabilidad acerca del buen uso del agua son deficientes.

Otro instrumento jurídico que tiene jurisprudencia dentro del ámbito nacional es la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), la cual tiene como objetivo, “la preservación y restauración del equilibrio ecológico propiciando un uso

sustentable de los recursos naturales” para poder obtener un beneficio económico, así como el monitoreo de éstos en caso de pueda existir su contaminación (Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, 2018).

Dentro de la LGEEPA existen artículos específicos en cuanto a lo que se refiere a la temática del agua. El artículo 88 del capítulo I “Aprovechamiento racional del agua y de los ecosistemas acuáticos”, menciona dos criterios los cuales se presentan a continuación:

- I. Es responsabilidad del Estado y de la sociedad la protección de los ecosistemas acuáticos así también el fomentar un equilibrio de los elementos naturales que intervienen en el ciclo hidrológico.*
- II. Si se desea hacer uso de los ecosistemas acuáticos este debe de ser un aprovechamiento sostenible se debe realizar de una manera que no se afecte su equilibrio ecológico.*

De acuerdo con el artículo 122° de la presente ley: las aguas residuales que provengan de usos municipales, públicos o domésticos así como también las provenientes de actividades industriales o agropecuarias que sean esparcidas directamente en el suelo causando la infiltración al subsuelo y que sean descargadas en los sistemas de alcantarillado municipal o directamente en las cuencas, ríos, cauces y demás depósitos o corrientes de agua deberán de cumplir con las condiciones necesarias a manera de prevenir:

- I. Contaminación de los cuerpos receptores.*
- II. Interferencias en los procesos de depuración de las aguas.*
- III. Trastornos, impedimentos o alteraciones en los correctos aprovechamientos, o del funcionamiento adecuado de los sistemas, y en la capacidad hidráulica en las cuencas, cauces, vasos, mantos acuíferos y demás depósitos de propiedad nacional, así como de los sistemas de alcantarillado.*

El control y la prevención de la contaminación del agua es el tema central dentro del capítulo II “Prevención y Control de la contaminación del Agua y de los Ecosistemas Acuáticos” de la presente ley (Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, 2018). De igual manera se abarca lo relacionado a las aguas residuales provenientes de las diferentes fuentes como lo son por el uso público, doméstico, industrial o agropecuario (Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, 2018).

Otro instrumento jurídico considerado es la Ley de Aguas Nacionales la cual fue publicada en 1992 con una reforma en 2016 (Ley de Aguas Nacionales, 2016, art. 1). Es una Ley de observancia general en todo el territorio nacional la cual tiene por objeto principal “regular la explotación, uso y aprovechamiento del recurso hídrico así también como su distribución, control y preservación en cantidad y calidad para que de esta manera se alcance un desarrollo integral sustentable” (Ley de Aguas Nacionales, 2016, art. 1).

De acuerdo con el artículo 4° del título segundo “Administración del agua”, del capítulo I, la presente ley exige a las autoridades fungir de acuerdo a sus ámbitos correspondientes una completa responsabilidad de administrar, regular y aprovechar el recurso hídrico de manera sustentable procurando su cantidad y calidad en todo momento (Ley de Aguas Nacionales, 2016).

Otro instrumento que contempla el aprovechamiento, uso y gestión del recurso al hídrico es la Agenda del Agua 2030 elaborada en el 2011 por la Comisión Nacional del Agua, es un instrumento de trabajo a largo plazo, el cual tiene como visión que México tenga sus ríos, cuencas y acuíferos limpios y en equilibrio, tomando en cuenta una cobertura universal de este vital líquido, así como alcantarillado y asentamientos seguros frente a inundaciones cuyos avances deberán ser revisados anualmente así como también los resultados que se obtengan deben ser sometidos a una evaluación cada seis años (Agenda del Agua 2030, 2011).

La Agenda del Agua 2030 conjunta iniciativas y acciones asociadas a lograr los objetivos que se plantean (Agenda del Agua 2030, 2011). Dentro de la iniciativa 7 se propone

“reforzar los mecanismos institucionales que existen para desincentivar las conductas contaminantes de los diversos usuarios, de tal manera que se pueda prevenir y en su caso sancionar a los responsables de la contaminación del agua”, para ello la autoridad dispone de tres tipos de instrumentos regulatorios; “controles directos, estímulos económicos, y de información y vigilancia social” (Agenda del Agua 2030, 2011).

No obstante, es de importancia general que las autoridades competentes revisen y promuevan practicas probadas en otros países para así evitar la contaminación difusa por herbicidas y agroquímicos sin perjudicar la productividad, evitando de esta manera encarecer los productos (Agenda del Agua 2030, 2011).

De esta manera la Agenda del Agua 2030 (2011) contempla:

- a) “Cobrar un impuesto a los fertilizantes por su efecto de contaminación difusa y usar dichos recursos para atenuar los efectos de esta”.
- b) “Sensibilizar y capacitar a los directivos de la industria en el *“house keeping”*, producción más limpia, para optimizar el manejo del agua en los procesos productivos industriales, en lugar de crear soluciones más caras de tratamiento al final del tubo”.
- c) “Orientar los subsidios federales a la construcción de sistemas completos de abastecimiento, distribución, alcantarillado, saneamiento y reúso de aguas”.
- d) “Incrementar los incentivos económicos a municipios y estados que tengan interés y capacidad o al menos potencial para realizar obras de saneamiento”.

De acuerdo con lo citando en la sección “Iniciativas y acciones vinculadas al desafío: Cuencas y acuíferos en equilibrio” de la presente agenda, se contempla como una alternativa útil implementar un impuesto a los responsables de la aplicación de productos que dañan el ambiente como son los agroquímicos y pesticidas, de esta manera se pretende tener una disminución de la aplicación de estos productos en la producción agrícola (Agenda del Agua 2030, 2011). En este mismo documento menciona que:

a) “Crear el Programa Nacional de Control de Fuentes Difusas de Contaminación de Suelo y Agua que fomente las mejores prácticas de manejo de fertilizantes, plaguicidas y suelos”

b) “Establecer un sistema de monitoreo y evaluación de la contaminación difusa del agua en cada cuenca, otorgando prioridad a las zonas próximas a ríos o almacenamientos de agua en los que se observe la presencia de contaminaciones típicamente producidas por fertilizantes o pesticidas”.

c) “Con la intervención del Instituto Nacional de Ecología, la SAGARPA, y las entidades gubernamentales que correspondan, desarrollar la normatividad específica y las medidas de fomento para la regulación y control de las fuentes de contaminación difusa”.

Dentro de la Federación, se contempla la regulación técnica que se emite mediante las Normas Oficiales Mexicanas o mejor conocidas como NOM's, las cuales se definen como “regulaciones técnicas de observancia obligatoria expedidas por las dependencias competentes” (Secretaría de Salud, 2015).

En tabla número 1 se señalan de una forma sintetizada las principales NOM's relacionadas al recurso hídrico y a los agroquímicos que existen en México.

**Tabla 1. Normas Oficiales Mexicanas referentes al recurso agua y a plaguicidas.**

Norma Oficial Mexicana	Descripción
<p><b>“NOM-127-SSA1-1994 “Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización”.</b></p>	<p>El objetivo de esta norma es establecer los límites permisibles de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para uso y consumo humano, los cuales deben de cumplir los sistemas públicos o privados de abastecimiento o bien cualquier persona física o moral que haga uso del recurso en todo el territorio nacional (Secretaria de Salud, 2000).</p>
<p><b>“NOM-003-ECOL-1997 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público”.</b></p>	<p>Esta Norma tiene por objeto la protección al medio ambiente y a la salud de los pobladores, estableciendo los criterios para el tratamiento de las aguas residuales y que estas puedan ser reusadas en alguna otra actividad, esta norma considera los siguientes reúsos: llenado de lagos y canales artificiales recreativos con paseos en lancha, remo, canotaje y esquí; fuentes de ornato, lavado de vehículos, riego de parques y jardines (Secretaria de Ecología , 1998).</p>
<p><b>“NOM-003-STPS-1999, Actividades agrícolas-Uso de insumos fitosanitarios o plaguicidas e insumos de nutrición vegetal o fertilizantes-Condicion es de seguridad e higiene”.</b></p>	<p>El objetivo de esta Norma es establecer las medidas de seguridad e higiene para prevenir los riesgos a los que están expuestas las personas que desarrollan actividades agrícolas de almacenamiento, traslado y manejo de plaguicidas (Secretaria del Trabajo y Prevision Social, 1999). Dentro del apartado 6 de la presente norma se menciona todas aquellas obligaciones que el personal expuesto debe de tener en cuenta en el manejo de los insumos</p>

Norma Oficial Mexicana	Descripción
	fitosanitarios, como por ejemplo; usar el equipo de protección adecuado, recibir capacitación previa al manejo de las sustancias, someterse a exámenes médicos periódicamente, no comer, beber o fumar durante el desarrollo de las actividades (Secretaría del Trabajo y Previsión Social, 1999).
<p><b>“NOM-232-SSA1-2009, Plaguicidas: que establece los requisitos del envase, embalaje y etiquetado de productos grado técnico y para uso agrícola, forestal, pecuario, jardinería, urbano, industrial y doméstico”.</b></p>	<p>En esta Norma se puede encontrar los requisitos (que vienen en formatos dentro de la presente) para el envase, embalaje y etiquetado de plaguicidas con la finalidad de minimizar los riesgos a la salud por exposición, tanto del trabajador como de la población en general (Secretaría de Salud, 2010)</p>
<p><b>“NOM-052-FITO-1995, Por la que se establecen los requisitos y especificaciones fitosanitarias para presentar el aviso de inicio de funcionamiento por las personas físicas o morales que se dediquen a la aplicación aérea de plaguicidas agrícolas”.</b></p>	<p>Esta Norma tiene como objetivo dar a conocer los requisitos para la aplicación de plaguicidas de forma aérea, la cual deben cumplir las empresas encargadas de ello, así como los pilotos, todo esto con la finalidad “presentar el aviso de inicio de funcionamiento y obtener el certificado del cumplimiento de la Norma, para ser inscritas en el Directorio Fitosanitario” (Secretaría de Agricultura y Ganadería, 1997).</p>

Fuente: Elaboración propia con base en “NOM-127-SSA1-1994., NOM-003-ECOL-1997, NOM-003-STPS-1999, NOM-052-FITO-1995, NOM-232-SSA1-2009”.

## **2.3 Instrumentos Jurídicos a nivel Estatal**

Dentro de las siguientes líneas se describirán los instrumentos jurídicos analizados a nivel estatal, con la finalidad de dar un contexto general de la normatividad existente en el Estado de México.

La primera es la Ley del agua para el Estado de México y municipios, la cual es de orden público e interés social, de aplicación en todos los municipios pertenecientes al Estado de México y tiene por objeto “normar la explotación, uso, aprovechamiento, administración, control y suministro de las aguas de jurisdicción estatal y municipal” (Ley del Agua para el Estado y los Municipios, 2013).

Dentro de su artículo 11° del capítulo segundo “De la política hídrica estatal” se sustentan diferentes principios donde se considera el uso y aprovechamiento del agua de una manera responsable con la mayor eficiencia posible, promoviendo su reusó, en dado caso que este recurso sea contaminado el artículo delega la responsabilidad de restaurar el daño causado bajo la noción de “quien contamina, paga” (Ley del Agua para el Estado y los Municipios, 2013).

La participación ciudadana es un principio base del artículo 11° de la Ley del Agua para el Estado y los municipios ya que busca promover entre los ciudadanos una participación informada fomentando una responsabilidad para la gestión y aprovechamiento de este recurso en los municipios y localidades del Estado de México (Ley del Agua para el Estado y los Municipios, 2013).

Con respecto a la responsabilidad que tienen los usuarios del agua, el artículo 44° del capítulo cuarto, la presente ley exige a los ciudadanos tener un uso sostenible del agua, de una manera racional y eficiente así también como mostrar un compromiso social dando aviso a la autoridad correspondiente, de tomas y descargas clandestinas, fugas, contaminación de cuerpos de agua, y otros eventos de los que se tenga conocimiento, que pudieren afectar la prestación de los servicios o la sustentabilidad de los recursos hídricos (Ley del Agua para el Estado y los Municipios, 2013).

En el artículo 94° refiere a la Comisión, municipios y organismos los cuales deben de procurar administrar el volumen de agua a manera de verter el mayor volumen posible de agua tratada al subsuelo de esta manera asegurando su calidad y considerando lo

establecidos por las Normas Oficiales Mexicanas, teniendo como prioridad aquellas zonas donde se localicen centros de población que se abastezcan de agua potable proveniente de acuíferos sobreexplotados (Ley del Agua para el Estado y los Municipios, 2013).

El Código para la Biodiversidad es otro de los instrumentos que tiene jurisdicción dentro del Estado de México el cual tiene por objetivo regular diferentes áreas como lo son: “Equilibrio Ecológico, la Protección al Ambiente y el Fomento al Desarrollo Sostenible, el Desarrollo Forestal Sostenible, Gestión integral de residuos, preservación, fomento y aprovechamiento Sostenible de la Vida Silvestre, Protección y Bienestar Animal” (Código para la Biodiversidad del Estado de México, 2008).

Dentro de las disposiciones generales del presente código se hace énfasis en la sección X del capítulo I la cual hace referencia a la prevención e inspección de la contaminación de las aguas de la demarcación del Estado para su regulación y aprovechamiento sostenible (Código para la Biodiversidad del Estado de México, 2008).

De acuerdo al artículo 2.5 del Código para la Biodiversidad del Estado de México, (2008), y para efectos del presente proyecto de investigación, a continuación, se definen los siguientes conceptos:

**Afectación ambiental:** Se entiende a la “pérdida o modificación de las condiciones naturales de la flora o fauna silvestre, del paisaje, suelo, subsuelo, agua, aire o de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas”.

**Impacto ambiental:** “Modificación favorable o desfavorable del medio ambiente” ocasionada por las acciones antropogénicas o sucesos de la misma naturaleza.

**Interés difuso:** Se refiere al “derecho que posee un individuo o bien un grupo social que se encuentren amenazados con sus derechos a la dignidad de la vida y salud con inclinaciones similares con el objeto de protestar la reparación de daños a la salud y al medio ambiente”.

**Remediación:** Todas aquellas “medidas para corregir, eliminar o reducir los sitios que han sido dañados o contaminados ambientalmente hasta un nivel seguro para la salud humana”.

De igual manera dentro del código antes mencionado, en el artículo 2.153 capítulo IV “De la prevención y control de la contaminación del agua de jurisdicción Estatal y de los ecosistemas acuáticos” se establecen los siguientes criterios:

- I. “Es de suma importancia el cuidado de los recursos hídricos así también como su prevención y control de la contaminación en estos ya que es fundamental para evitar que se reduzca su disponibilidad”.
- II. “Es responsabilidad de toda la sociedad prevenir la contaminación de ríos, cuencas, vasos y demás depósitos y corrientes de agua incluyendo las aguas del subsuelo”.
- III. “El aprovechamiento del agua en actividades productivas susceptibles de contaminarla, conlleva a la responsabilidad del tratamiento de las descargas, ya sea para su reusó o para reintegrarla en condiciones adecuadas para su utilización en otras actividades”.
- IV. “Las aguas provenientes de las urbes deben recibir tratamiento previo a su descarga en ríos, cuencas, vasos y demás depósitos o corrientes de agua incluyendo las del subsuelo”.
- V. “En las zonas de riego se promoverán las medidas y acciones necesarias para el buen manejo y aplicación de agroquímicos que puedan contaminar las aguas superficiales o del subsuelo”.

#### **2.4 Análisis de la normatividad existente en México acerca del recurso hídrico y los agroquímicos.**

En esta sección se analiza la normatividad mexicana en lo que se refiere al tema hídrico y de los plaguicidas en general, con el fin de identificar las fortalezas y áreas de oportunidad referente a este tema de investigación.

Es sumamente importante que se considere primordial cerrar la brecha existente entre normatividad e investigación científica, ya que ambas van de la mano para que las políticas públicas instauradas al nivel de gobierno correspondiente sean ligadas entre sí, ya que invertir en políticas públicas para el fomento de ciencia y tecnología puede contribuir a la regulación de la problemática de contaminación de agua por agroquímicos

Sin embargo, haciendo énfasis al tema de agroquímicos, existe evidencia científica de que se ha encontrado glifosato en los cuerpos de agua, tal como lo menciona Ruiz-Toledo (2014) quien encontró este herbicida en cuerpos de agua cercanos a cultivos de soya transgénica, con una concentración de 0.05 µg/L a 36.7 µg/L. No obstante, la investigación que existe sobre la problemática es escasa, esto nos lleva a la propuesta de crear Normas Oficiales Mexicanas que tengan como objetivo regular el uso de agroquímicos, así como establecer los límites máximos permisibles en diferentes medios de éstos.

Una vez establecida la normatividad pertinente junto con el respaldo científico adecuado es indispensable el monitoreo constante con la finalidad de evaluar la implementación de las normas propuestas y de esta manera atender las deficiencias que presenta con la premisa de mejora continua.

Se hace hincapié en que la ciencia y la tecnología están vinculadas con el fomento de políticas públicas, ya que estas se complementan, si existen deficiencias en una, claramente se verán reflejadas en la otra, por lo que el tema del monitoreo de igual manera es indispensable para llevar a cabo una correcta implementación y evaluación. Lo anterior con la finalidad de brindar políticas publicas adecuadas en pro de la sociedad y del medio ambiente.

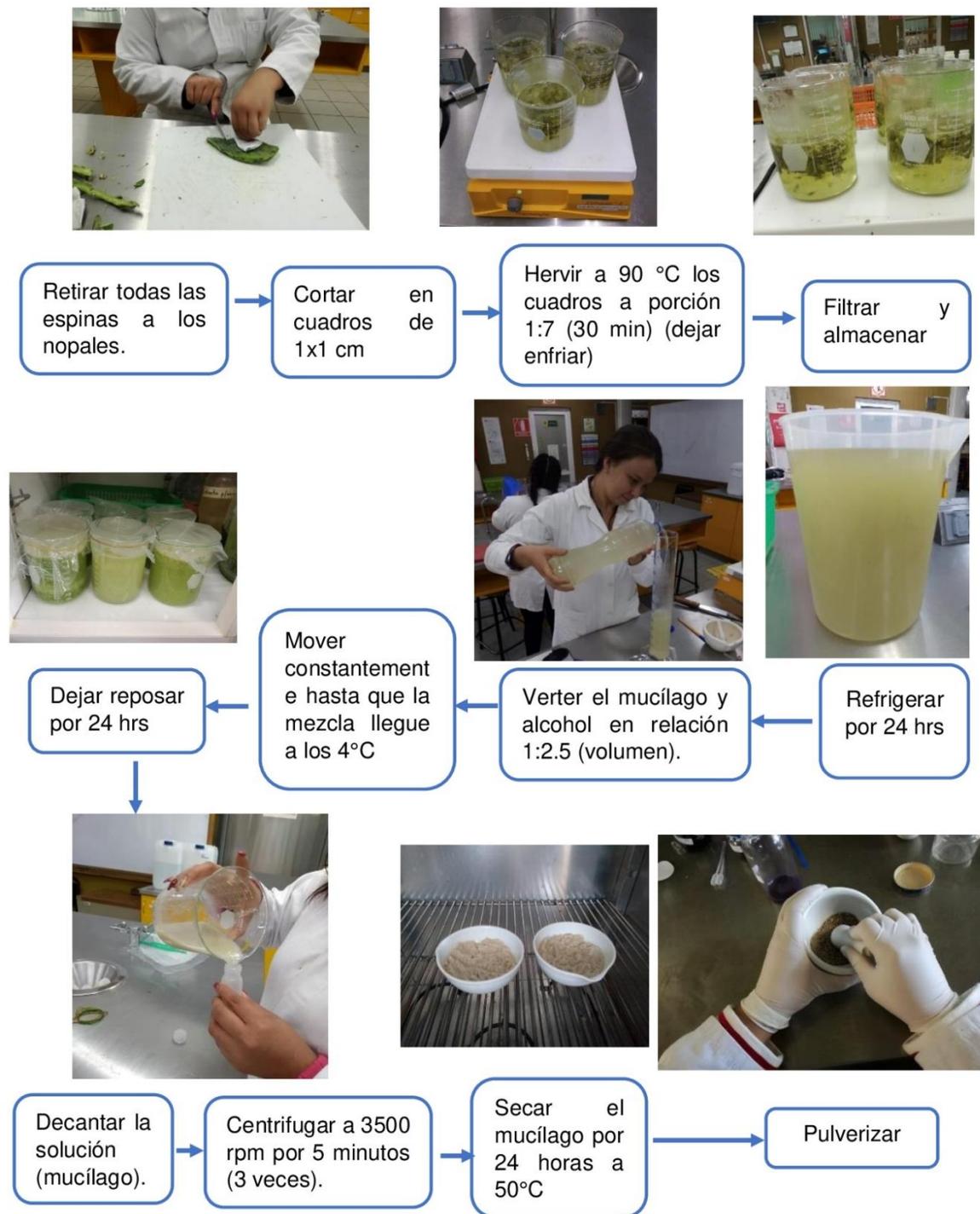
# **CAPÍTULO 3 MATERIALES Y MÉTODOS**

En este capítulo se describen los métodos que se llevaron a cabo para la extracción del mucílago de nopal, así como también el procedimiento que se realizó para la preparación de las soluciones estándar, la elaboración del material compuesto y el proceso de adsorción del Glifosato.

Para la obtención del mucílago de nopal se retoma la metodología de extracción está basada en “Extracción y purificación del mucílago de nopal” elaborado por Domínguez, Zegbe, Alvarado y Mena, (2011) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias y del Centro de Investigación Regional del Norte-Centro Campo Experimental Zacatecas, sin embargo, el proceso fue modificado para aumentar la eficiencia.

En la figura 2, se presenta se presenta el diseño experimental de la extracción de mucílago de nopal que se llevó a cabo en el presente estudio.

Figura 2. Diagrama del diseño experimental de la extracción de mucílago de nopal.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

## **3.2 Extracción de mucílago de nopal**

### **3.2.1 Selección y preparación de la muestra**

La especie de nopal (*Opuntia ficus-indica*), que se seleccionó fue la forrajera, se escogió esta especie debido a que es una de las cuales se puede obtener mayor cantidad de mucílago y es una especie común y de fácil acceso en las zonas centrales de México. Esta especie fue recolectada del municipio de San Diego Alcalá, Temoaya, Estado de México (se puede observar algunos ejemplares en la ilustración 7) la cantidad recaudada fueron 6 pencas de aproximadamente 30 cm de largo y 15 cm de ancho.

**Ilustración 7. Nopales del Estado de México**



Fuente: Elaboración propia, 2019.

### **3.2.2 Preparación del biomaterial para la extracción de mucílago.**

La metodología realizada se basó en “Extracción y purificación del mucílago de nopal” elaborado por Domínguez, Zegbe, Alvarado y Mena, (2011) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias y del Centro de Investigación Regional del Norte-Centro Campo Experimental Zacatecas (CIRNOC) sin embargo este procedimiento sufrió algunas modificaciones con la finalidad de eficientar los procesos de extracción de mucílago que ya existen en la bibliografía.

De acuerdo a la metodología por Domínguez, Zegbe, Alvarado y Mena, (2011), se inicia con el secado de la muestra. El nopal se sometió a un proceso de secado natural a

temperatura ambiente por 10 días, posteriormente se le retiraron las espinas para tener una mejor manipulación del mismo.

En el presente estudio, la extracción de mucílago se realizó por dos métodos los cuales se describen a continuación:

### 3.2.3 Método 1. Extracción de mucílago en frío.

1. Con un cuchillo tradicional se picaron los nopales en cubos de aproximadamente 1 cm<sup>3</sup>

**Ilustración 8. Cortado de nopal**



Fuente: Elaboración propia, 2019.

2. En una báscula gravimétrica se pesaron 90 g del nopal previamente cortado y con ayuda de un mortero se trituraron.
3. En una probeta se midió 630 mL de agua destilada y posteriormente se vertió a un vaso de precipitado.
4. Se trituró 90 g de nopales en el vaso de precipitado con agua destilada y se colocaron sobre la placa de calentamiento. La proporción de nopales con respecto al agua es de 1:7, es decir por cada 10 g de nopales se requieren 70 mL de agua destilada.
5. Esta mezcla se dejó hervir por 30 minutos a una temperatura constante de 90°C.

### Ilustración 9. Proceso de hervido de nopal



Fuente: Elaboración propia, 2019.

6. Una vez fría la mezcla se filtró el mucílago obtenido y posteriormente se vació a una botella previamente lavada (Se puede refrigerar las botellas con mucílago de nopal, no obstante, este paso es opcional).
7. Con dos probetas se midieron por separado el mucílago previamente obtenido, así como el alcohol de caña, la relación para poder mezclarlos en un recipiente grande es 1:2.5 (volumen). En el caso de lo que se trabajó en laboratorio, por cada litro de mucílago se añadió 2.5 L de alcohol.

### Ilustración 10. Medición de Mucílago



Fuente: Elaboración propia, 2019

### Ilustración 11. Medición de Mucílago de nopal



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Una vez teniendo la mezcla mucílago-alcohol, se vació en una cubeta hielos, esta cubeta debió ser de un volumen superior al que tenía el preparado de tal modo que todo quedó montado como una especie de baño maría, es importante añadir sal para evitar que se derritan los hielos.

**Ilustración 12. Baño María con hielo para precipitar mucílago**



Fuente: Elaboración propia, 2019.

8. Para poder agitar se colocó un agitador mecánico para homogeneizar la mezcla la cual debió alcanzar una temperatura de 4°C.

**Ilustración 13. Agitación mecánica de mucílago.**



Fuente: Elaboración propia, 2019.

9. Una vez alcanzada la temperatura, se retira del hielo y se deja reposar por 24 horas en el refrigerador a una temperatura de entre 8 y 10 °C aproximadamente. Al pasar este lapso de tiempo se decanta el alcohol ya que se obtendrán dos fases por proceso de depositación.
10. Finalmente se obtiene una especie de material granulado el cual se sometió a procesos de centrifugación a 3500 rpm durante 5 minutos, las veces que fue necesario, esto con la finalidad de tratar de separar la mayor cantidad de alcohol existente en la mezcla. Una vez eliminando el exceso de alcohol se introdujo la mezcla a la estufa a 50 °C por 24 horas.

**Ilustración 14. Proceso de centrifugación**



Fuente: Elaboración propia, 2019.

**Ilustración 15. Resultado del proceso de centrifugación.**



Fuente: (Elaboración propia, 2019.

### 3.2.4 Método 2. Extracción de mucílago licuado.

Una vez teniendo el nopal sin espinas, se cortó el nopal en cubos aproximadamente de 1 cm<sup>3</sup>.

1. Se licuó los cubos de nopal en una licuadora convencional con aproximadamente 100 mL de agua desionizada.

**Ilustración 16. Licuado de nopal**



Fuente: Elaboración propia, 2019.

2. Se dejó reposar el mucílago refrigerándolo aproximadamente por 24 hrs a una temperatura constante de 8°C.
3. Se realizó una mezcla con una relación 1:2 en un vaso de precipitado de 1L, se agregaron 400 mL de etanol y 200 mL de mucílago previamente filtrado, el mucílago se filtró con ayuda de manta de cielo.

**Ilustración 17. Licuado de nopal final**



Fuente: Elaboración propia, 2019.

**Ilustración 18. Nopal licuado en vasos de precipitados con alcohol**



Fuente: Elaboración propia, 2019.

4. Se refrigeró y se dejó reposar por 24 hrs aproximadamente.

**Ilustración 19. Reposo y refrigeración de mucílago.**



Fuente: Elaboración propia, 2019.

5. Se decantó el etanol, dejando únicamente la materia suspendida (solución color blanco).
6. Posteriormente se centrifugó la solución resultante para eliminar el exceso de agua.

#### Ilustración 20. Decantación de mucílago



Fuente: Elaboración propia

7. Se centrifugó la solución para eliminar el exceso de agua nuevamente y se vuelve a decantar hasta que la solución alcance una consistencia más sólida.

### Ilustración 21. Resultado del proceso de centrifugación



Fuente: Elaboración propia, 2019.

8. Se distribuyó la solución resultante en cápsulas de porcelana, para que el material se someta a un proceso de secado en la estufa por 48 hrs a 50°C aproximadamente.

### Ilustración 22. Mucílago en cápsulas de porcelana



Fuente: Elaboración propia

9. Una vez seco el mucílago, éste debe ser pulverizado y vaciado en frascos de vidrio previamente esterilizados.

**Ilustración 23. Mucilago final**



Fuente: Elaboración propia, 2019.

**Ilustración 24. Pulverizado de mucílago**



Fuente: Elaboración propia, 2019.

### **3.3 Elaboración del material compuesto.**

La elaboración del material compuesto se realizó con la intención de utilizar materiales asequibles, reutilizables y con un periodo de vida amplio. El método implica el uso de 3 componentes, principalmente el mucílago de nopal, los dos componentes restantes se consideran para proporcionarle rigidez y forma al material para ser manipulado como un posible filtro. Se establece el poliestireno expandido (EPS) mejor conocido como unigel como segundo componente bajo el principio de contribuir al reciclaje de unigel y darle un segundo uso a este ya que, en México, el consumo nacional de unigel es de 125 toneladas anuales (Teorema Ambiental, 2018).

Por tal razón en el presente trabajo de investigación se retoma la propuesta para recuperar el unigel indicado en el estudio realizado por Gil, y otros, (2019), en el cual se establece una propuesta para recuperar el unigel mediante la solución del mismo utilizando aceites esenciales siendo estos, el tercer componente en la elaboración del material compuesto.

Se realizaron 3 diferentes materiales compuestos como lo muestra la tabla 2.

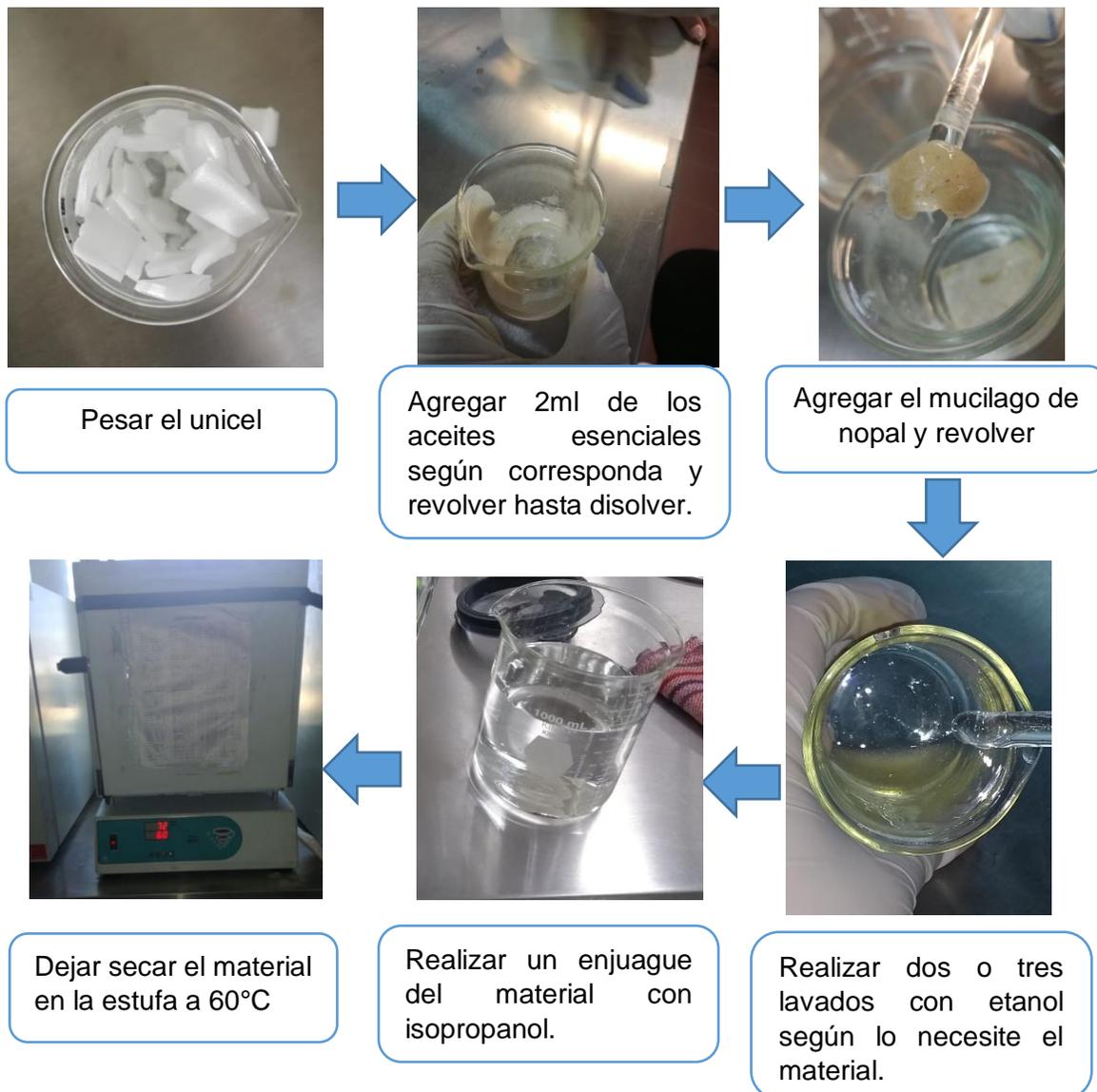
**Tabla 2. Elaboración del material compuesto.**

<b>Material compuesto</b>	<b>Procedimiento</b>
<b>CMUA</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se pesó 0.5048 g de unigel previamente lavado y cortado en cuadros aproximadamente de 1cm.</li> <li>2. Se agregó 2mL de aceite esencial de “<b>Anís estrella</b>” y se agitó hasta disolver completamente el unigel.</li> <li>3. Una vez disuelto el unigel se agregó 0.0545 g de mucílago de nopal y se revolvió completamente.</li> <li>4. A la solución resultante se agregó etanol con el objetivo de que el material se precipitara y tuviera una consistencia más sólida.</li> <li>5. Se realizaron dos enjuagues con isopropanol para eliminar el exceso de aceite en el material y posteriormente se dejó secar en la estufa a una temperatura constante de 60°C.</li> </ol>
<b>CMUYY</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se pesó 0.5048 g de unigel previamente lavado y cortado en cuadros aproximadamente de 1cm<sup>3</sup>.</li> <li>2. Se agregó 2mL de aceite esencial de “<b>Ylang-Ylang</b>” y se agitó hasta disolver completamente el unigel.</li> <li>3. Una vez disuelto el unigel se agregó 0.0545 g de mucílago de nopal y se revolvió completamente.</li> <li>4. A la solución resultante se agregó etanol con el objetivo de que el material se precipitara y tuviera una consistencia más sólida.</li> <li>5. Se realizaron dos enjuagues con isopropanol para eliminar el exceso de aceite en el material y posteriormente se dejó secar en la estufa a una temperatura constante de 60°C</li> </ol>
<b>CMUE</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se pesó 0.5048 g de unigel previamente lavado y cortado en cuadros aproximadamente de 1cm<sup>3</sup>.</li> <li>2. Se agregó 2mL de aceite esencial de “<b>Eucalipto</b>” y se agitó hasta disolver completamente el unigel.</li> </ol>

<b>Material compuesto</b>	<b>Procedimiento</b>
	<ol style="list-style-type: none"><li data-bbox="526 289 1378 373">3. Una vez disuelto el unigel se agregó 0.0545 g de mucílago de nopal y se revolvió completamente.</li><li data-bbox="526 384 1378 520">4. A la solución resultante se agregó etanol con el objetivo de que el material se precipitara y tuviera una consistencia más sólida.</li><li data-bbox="526 531 1378 680">5. Se realizaron dos enjuagues con isopropanol para eliminar el exceso de aceite en el material y posteriormente se dejó secar en la estufa a una temperatura constante de 60°C.</li></ol>

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Figura 3. Diagrama del diseño experimental de la elaboración del material compuesto.



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Como se muestra en la ilustración 25 al finalizar el secado, los materiales compuestos lograron tener una consistencia totalmente sólida y rígida.

**Ilustración 25. Materiales compuestos finales**



Fuente: Elaboración propia, 2020.

Esta primera prueba se realizó con la finalidad de detectar en primera instancia el aceite esencial más afín al polímero. Los aceites seleccionados son Anís, Ylang Ylang y Eucalipto, debido a que estos se caracterizan por ser solubles en alcoholes y disolventes orgánicos, teniendo una gran facilidad de disolver el unicel y son fácil de adquirirse ya que son de bajo costo en el mercado (López, 2004).

Al realizar la prueba preliminar con los tres aceites esenciales se considera conforme a las consistencias que se obtiene del material compuesto, que el aceite más afín al polímero es el eucalipto debido a que este no permea tanto el material, no deja residuos del mismo y logra recuperar el unicel rápido y completamente. Se seleccionó el aceite de eucalipto para realizar las pruebas de adsorción.

En la tabla 3 y 4 se muestran las cantidades utilizadas para la elaboración de los materiales compuestos que se emplearon para las pruebas de adsorción con luz y oscuro respectivamente.

**Tabla 3. Cantidades para la elaboración de los materiales compuestos con luz.**

Muestra	Mucílago (g)	Poliestireno expandido (EPS) (g)	Aceite 2mL (g)	Glifosato (g)
1	M1= 0.057	0.5008	2.7584	0.0157
2	M1=0.056	0.5007	2.7684	0.0159
3	M2=0.053	0.5027	1.6907	0.0165
4	M2=0.056	0.5031	1.7935	0.0183
5	M2=0.054	0.5059	1.7683	0.0168

Fuente: Elaboración propia, 2020.

**Tabla 4. Cantidades para la elaboración de los materiales compuestos en oscuro.**

Muestra	Mucílago (g)	Poliestireno expandido (EPS) (g)	Aceite 2mL (g)	Glifosato (g)
1	M1=0.0507	0.5053	1.7046	0.0165
2	M1=0.0534	0.5118	1.7939	0.0157
3	M1=0.0516	0.5012	1.6566	0.0163
4	M1=0.0538	0.5025	1.7305	0.0166
5	M1=0.0539	0.5027	1.7495	0.0176

Fuente: Elaboración propia, 2020.

En lo que respecta a la estabilidad del material compuesto, éste no presentó alguna alteración como desintegración, pegajosidad etcétera en contacto con el agua con glifosato. Esto se podría atribuir a que el agua con el herbicida no presenta las condiciones necesarias a comparación de los aceites para que se pueda alterar o modificar la estabilidad o textura del material compuesto que lleva en su mayoría unícel.

# **CAPÍTULO 4 DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS Y TÉCNICAS**

En este capítulo se presenta la descripción de las técnicas de análisis que se utilizaron para llevar a cabo la parte experimental del presente estudio, de igual manera se presentan los equipos de laboratorio que se utilizaron, así como sus características y especificaciones.

## **4.1 Técnicas de análisis**

### **4.1.1 Difracción de Rayos X**

Una de las técnicas de análisis que se utilizaron durante el desarrollo del presente trabajo de investigación fue la de difracción de Rayos X, la cual fue seleccionada por ser una técnica no destructiva, aunado a lo anterior fue empleada con el objetivo de realizar la caracterización física de las muestras de mucílago de nopal que se obtuvieron.

La Difracción de rayos X es una técnica donde un haz de luz de rayos X monocromático incide sobre una muestra cristalina (Universidad Complutense de Madrid, 2020). Ésta al poseer un ordenamiento regular de sus átomos por su estructura difractara de una forma especial este tipo de luz, es decir, cada átomo dispersará la onda de rayos X dando como resultado final una imagen conocido como difractograma (Universidad Complutense de Madrid, 2020).

Por sus limitaciones es recomendado para muestras cristalinas y no para disoluciones o gases, por lo que sus aplicaciones también se ven limitadas, ya que ayuda a la determinación de fases cristalinas en un material, su orientación y textura entre otras (Universidad Complutense de Madrid, 2020).

Con el uso de esta técnica se determinó la cristalinidad y pureza de las dos muestras de mucílago de nopal extraído por el método 1 “Extracción de mucílago en frio” y el método 2 “Extracción de mucílago licuado” lo cual nos permitió realizar un análisis general acerca de la estructura y acomodamiento de las moléculas del mucílago.

Para el empleo de esta técnica, el equipo utilizado para correr las muestras de mucílago fue un Difractómetro de Rayos X marca *Rigaku*, modelo *Ultimun IV*, en la ilustración 27, se muestra el equipo empleado.

## Ilustración 26. Difractómetro de Rayos X



Fuente: (Ortega, 2020).

### 4.1.2 Espectrometría Infrarroja (IR).

Esta técnica consiste en la incidencia de radiación infrarroja sobre una muestra, el cual al atravesarla ésta la adsorberá (Serrano, 2020). Es importante mencionar que, de acuerdo a la molécula, será la cantidad de radiación absorbida, de igual manera influye si tiene dobles enlaces o la fuerza y rigidez de los enlaces (Serrano, 2020).

Cada compuesto químico tiene asociado un espectro infrarrojo característico, donde corresponde a una determinada absorción de acuerdo a las energías de vibración, de los enlaces químicos presentes en los compuestos. (Gómez, 2020).

La radiación registrada es solamente la originada por los movimientos vibracionales de las moléculas presentes en la sustancia objeto de estudio (Serrano, 2020). Gracias a su versatilidad, esta técnica permite analizar diferentes tipos de muestras, independientemente de la fase en la que se encuentre, es decir, las muestras pueden estar

en estado sólido, líquido o gaseoso (Serrano, 2020). Esta particularidad fue una de las razones por las cuales consideramos el empleo de esta técnica.

### **Regiones espectrales del Infrarrojo (IR).**

El IR medio se suele estudiar en cuatro zonas, según Serrano (2020), se clasifican de la siguiente manera:

#### **1. Región de vibración de extensión X-H (4000-2500 $\text{cm}^{-1}$ ).**

“Esta absorción corresponde a la extensión de enlaces con hidrógeno (alcoholes, aminas y enlaces C-H), y no se ve muy afectada por el resto de la molécula por lo que las bandas son bastante constantes en esa zona”.

#### **2. Región del triple enlace (2500-2000 $\text{cm}^{-1}$ ).**

“En esta región absorbe un número muy limitado de compuestos, de modo que su presencia se hace fácilmente evidente ( $-\text{C}\equiv\text{N}$ ,  $\text{C}\equiv\text{O}$ ,  $-\text{C}\equiv\text{C}-$ ,  $-\text{N}^+ \equiv\text{C}-$ ). Mientras que el  $-\text{C}\equiv\text{C}-$  *stretching* se presenta como una banda muy débil, las demás son de intensidad media”.

#### **3 Región del doble enlace (2000-1550 $\text{cm}^{-1}$ ).**

“Las bandas principales se deben al grupo carbonilo  $\text{C}=\text{O}$  (1830-1650  $\text{cm}^{-1}$ ) y al doble enlace  $\text{C}=\text{C}$ , siendo la primera mucho más intensa que la segunda y una de las más fáciles de reconocer en el espectro. Otras bandas en esta zona son la  $\text{C}=\text{N}$  y la flexión de aminas y alcoholes”.

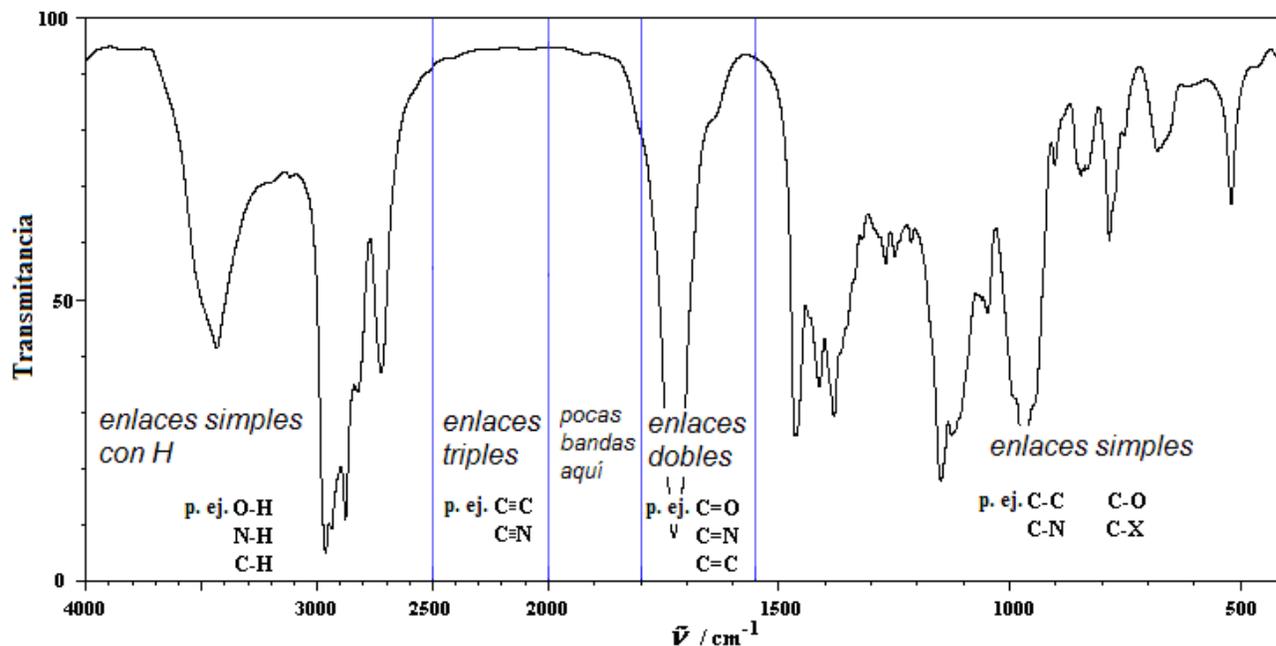
#### **4 Región de huella dactilar (1500-600 $\text{cm}^{-1}$ ).**

“En esta región del espectro pequeñas diferencias en la estructura y la constitución de una molécula dan por resultado cambios importantes en la distribución de los picos de absorción. Como consecuencia, la correspondencia de dos espectros en esta región constituye una prueba de su identidad”.

“Debido a su complejidad, es muy difícil interpretar de forma exacta el espectro en esta región (a diferencia de las anteriores), pero es esta complejidad y singularidad la que permite la utilidad de identificación como “huella dactilar”.

En la ilustración 28, se muestra las cuatro regiones características del espectro infrarrojo.

Ilustración 27. Regiones del infrarrojo



Fuente: (TRIPLENLACE, 2012).

Para la elaboración de esta investigación el equipo utilizado para correr las muestras fue un espectrofotómetro infrarrojo marca *Shimadzu*, modelo IR Tracer-100, en la ilustración 29, se muestra el equipo que se empleó.

Ilustración 28. Espectrofotómetro de Infrarrojo



Fuente: (Ortega, 2020).

Esta técnica fue empleada con la finalidad de realizar un análisis cualitativo de los compuestos que se encuentran presentes en el material compuesto que se propone en el presente estudio. Mediante los espectros obtenidos fue posible la detección de los grupos funcionales característicos de las moléculas de interés.

Una vez obtenidos los espectros de infrarrojo, se realizó la interpretación de los mismos para la cual se hizo uso de las tablas de espectroscopia infrarroja propuestas por Rojo (2019). La interpretación se obtuvo de una manera simplificada a los compuestos de interés del presente estudio.

#### **4.1.3 Espectroscopia Ultravioleta Visible (UV)**

Esta técnica funciona debido a una asociación existente entre las transiciones electrónicas de los diferentes niveles electrónicos en ciertos grupos y átomos y el espectro UV (Skoog, Leary, Holler, 1998). Para el caso de los átomos, esto actúa debido a un estado de excitación del mismo lo cual provoca que absorban radiación en esta frecuencia, lo que se verá reflejado en un pico de absorción resultante dentro de una imagen conocida como espectrograma. (Universidad de Alicante, 2020).

Gracias a que permite la identificación de diversos grupos funcionales, las aplicaciones que se pueden encontrar para esta técnica son las siguientes: análisis de muestras bioquímicas, determinación de metales en compuestos de coordinación, determinación cuantitativa etc. (Universidad de Alicante, 2020).

Para la elaboración de esta investigación el equipo utilizado para analizar las muestras fue un espectrofotómetro UV Marca *Shimadzu* modelo UV-2600. En la ilustración 30, se muestra una imagen del equipo empleado.

### Ilustración 29. Espectrofotómetro UV



Fuente: (Ortega, 2020).

Esta técnica permitió determinar cualitativamente las concentraciones iniciales y finales, de las muestras utilizadas para el análisis de adsorción del Glifosato. Se realizaron las disoluciones partiendo de la concentración más alta de Glifosato, obteniendo así las gráficas de las concentraciones determinadas para el análisis.

# **CAPÍTULO 5 RESULTADOS Y DISCUSIONES**

Las actividades realizadas en el presente trabajo de investigación se llevaron a cabo conforme a la metodología establecida. En el presente capítulo se muestran los resultados que se obtuvieron de los procesos que se realizaron durante la etapa experimental del proyecto.

## **5.1 Metodología de caracterización del mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*).**

### **5.1.1 Características físicas del mucílago de nopal.**

Dentro de la determinación de las características físicas del mucílago se decreta el color, porosidad, tamaño y estructura que poseen las muestras de mucílago de nopal obtenidas, se realiza de manera visual.

### **5.1.2 Características organolépticas.**

En la ilustración 31, se muestran las dos muestras de mucílago de nopal que se obtuvieron los cuales poseen características visuales similares. El mucílago extraído es un polvo color blanco, viscoso de textura granulada, sin embargo, una vez macerado, se obtuvo un polvo con una textura más fina.

**Ilustración 30. Muestras de mucílago**



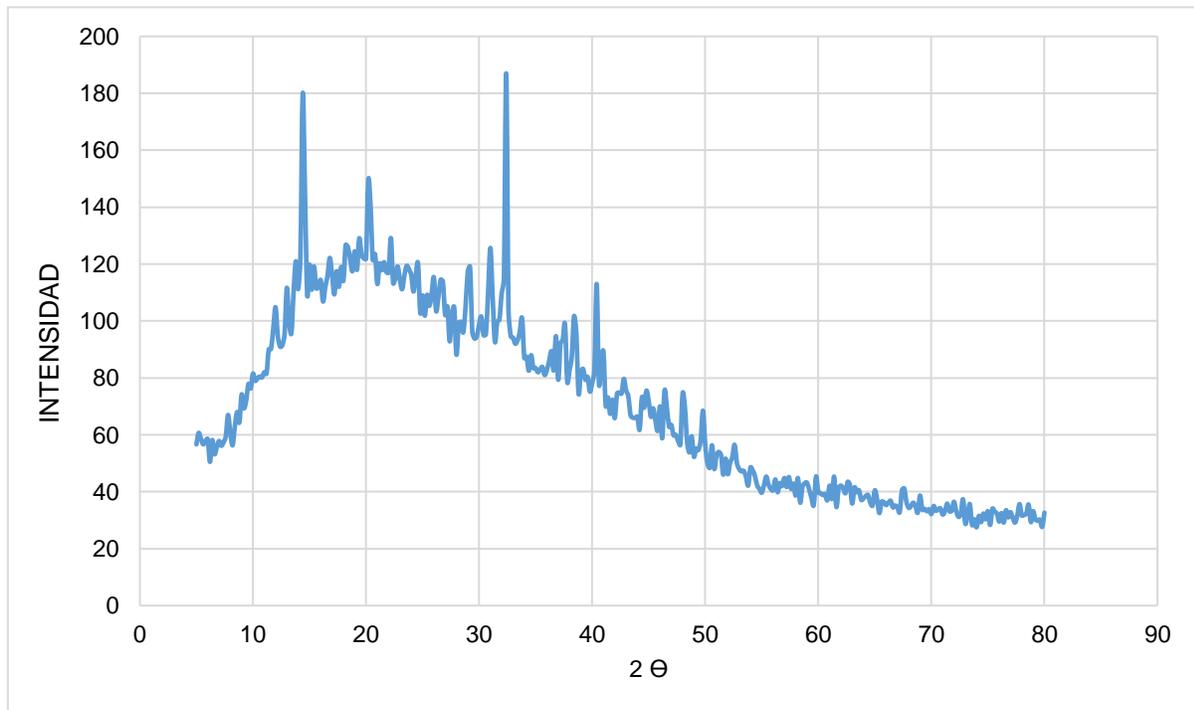
Fuente: Elaboración propia, 2020.

### 5.1.3 Características de la estructura de mucílago de nopal mediante difracción.

Para poder realizar la caracterización física del mucílago de nopal se empleó la técnica de difracción de Rayos X, la cual es una de las más utilizadas al no ser destructiva (debido a los fotones, los cuales están libres de carga) para las muestras a analizar (Mazuelas 2002). En esencia, ésta funciona con la incidencia de un haz de luz a determinada longitud de onda. (Mazuelas, 2002).

En la gráfica 1, que se presenta a continuación se muestra el resultado de la difracción de mucílago de nopal que se obtuvo bajo el método tradicional.

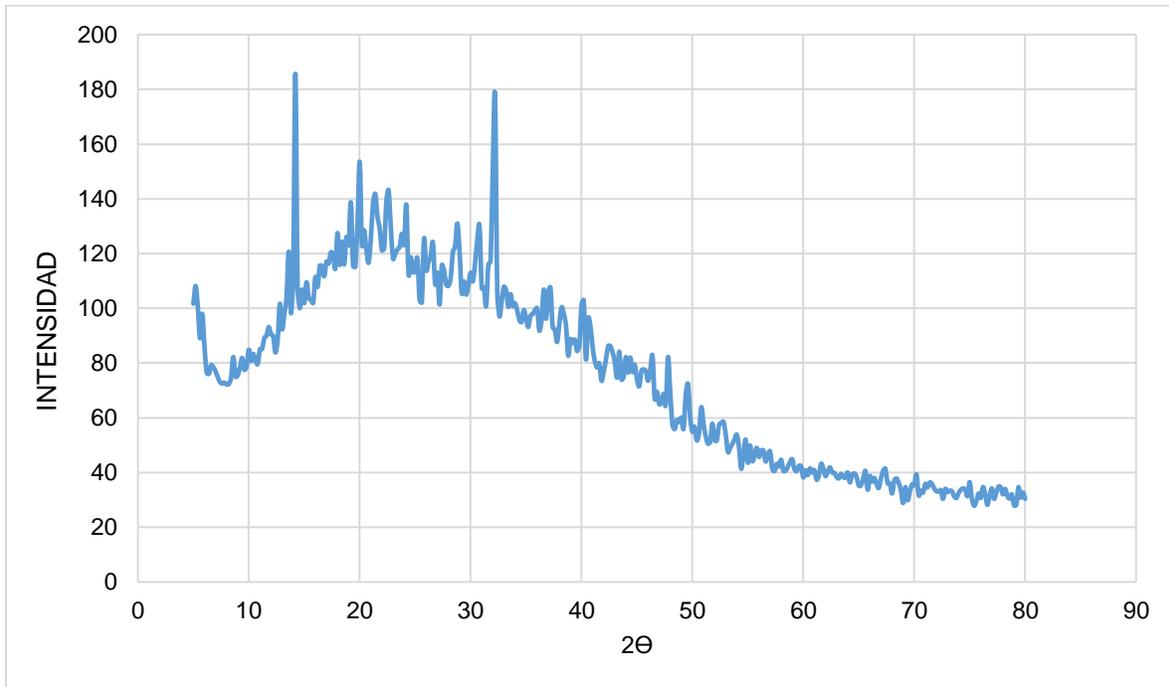
Gráfica 1. Difracción de la muestra 1 de mucílago



Fuente: Elaboración propia, 2020.

En la grafica 2, se la difracción de la muestra 2 de mucílago que se obtuvo bajo el método optimizado.

**Gráfica 2. Difracción de la muestra 2 de mucílago.**

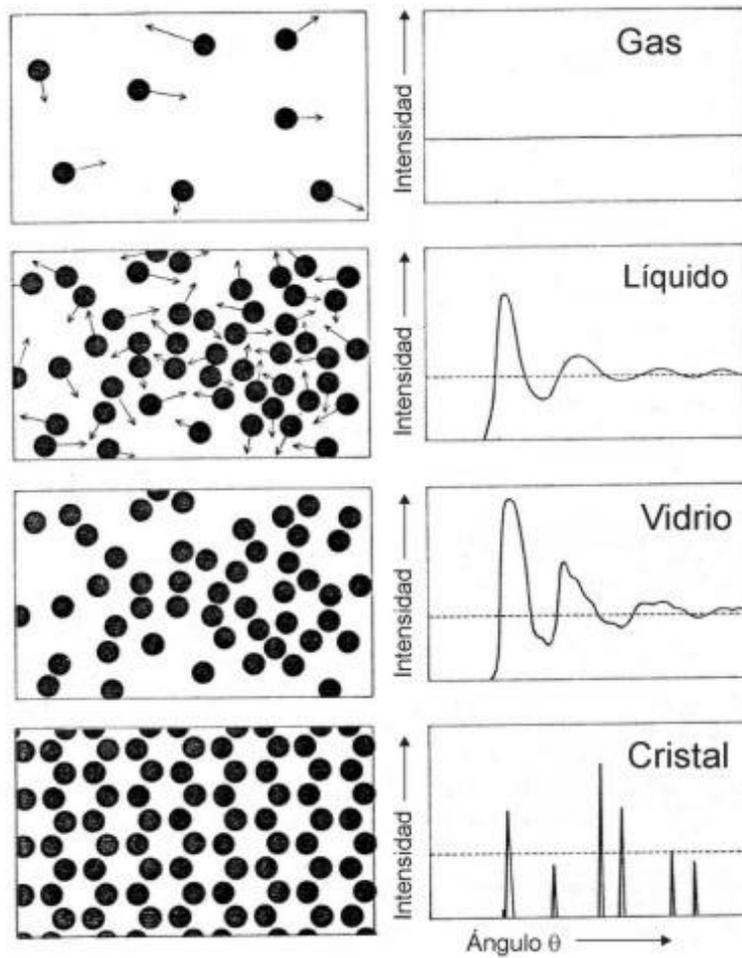


Fuente: Elaboración propia, 2020.

Con base en la gráfica 1 y la gráfica 2 se observa que las muestras de mucílago, no solo se encuentran en un estado sólido, sino que se consideran como sólidos amorfos.

En la ilustración 35, se observa el patrón de difracción similar (se puede ver con el recuadro de color rojo con el cual fue resaltado) al patrón de difracción que se observa en las gráficas 1 y 2 de las muestras de mucílago respectivamente esto debido a la formación de la curva en los valores de intensidad. No obstante, se establece que las muestras de mucílago presentan cristalinidad ya que en los valores de  $2\theta=10$  y  $2\theta=30$  se presenta una elevación representativa a esta característica debido a la presencia de la curva.

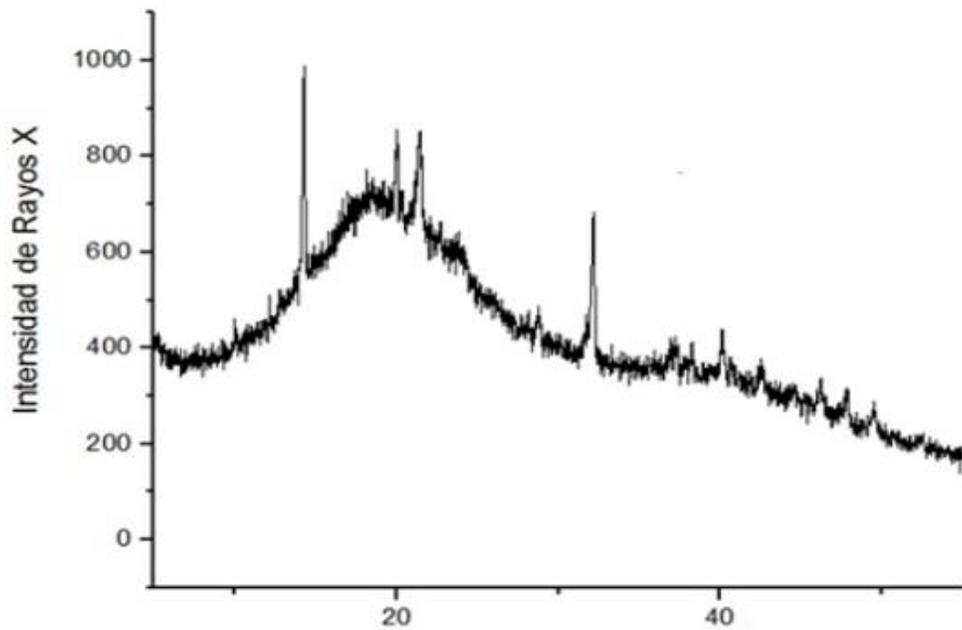
Ilustración 31. Difractograma de diversos materiales



Fuente: (Anónimo, 2020).

Si comparamos el difractograma obtenido en la presente investigación con el que se presenta en la ilustración 36 (obtenido de una tesis) se puede observar que el patrón de difracción es bastante similar, lo cual sugiere la extracción exitosa del mucílago.

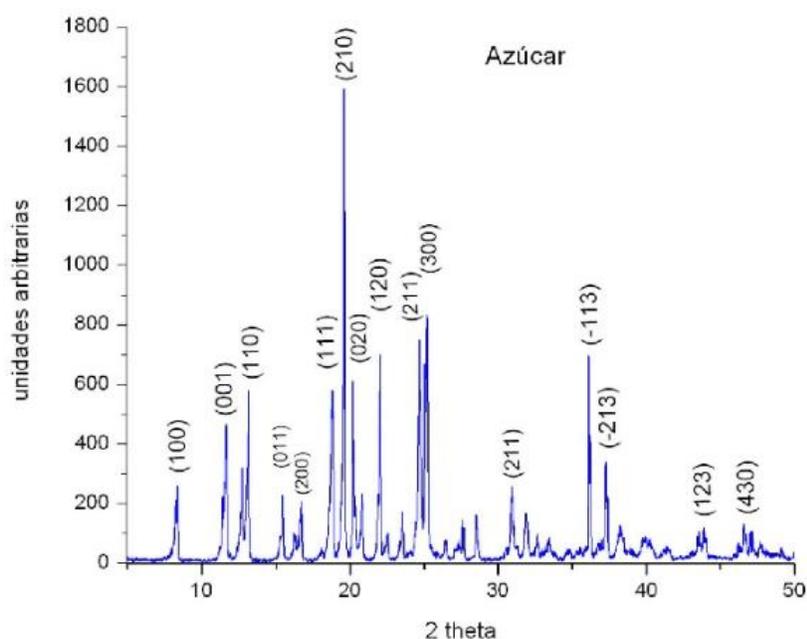
**Ilustración 32. Difractograma de mucílago de nopal.**



Fuente: (Pineda, 2015).

Asimismo se pudo inferir en ambas muestras de mucílago la presencia de azúcares (los cuales presentan una estructura cristalina) ya que el mucílago de nopal está compuesto de “20 % de D-galactosa, 44% de L-arabinosa, 7% de L-ramnosa, 22% de D-xilosa y 7% de ácido galacturónico” (Ramírez, 2008). Lo anterior se deduce a partir del difractograma de los azúcares generales, el cual se presenta en la ilustración 34.

**Ilustración 33. Difractograma del azúcar.**



Fuente: (Vázquez, 2020).

### **5.2.3 Características químicas del mucílago de nopal.**

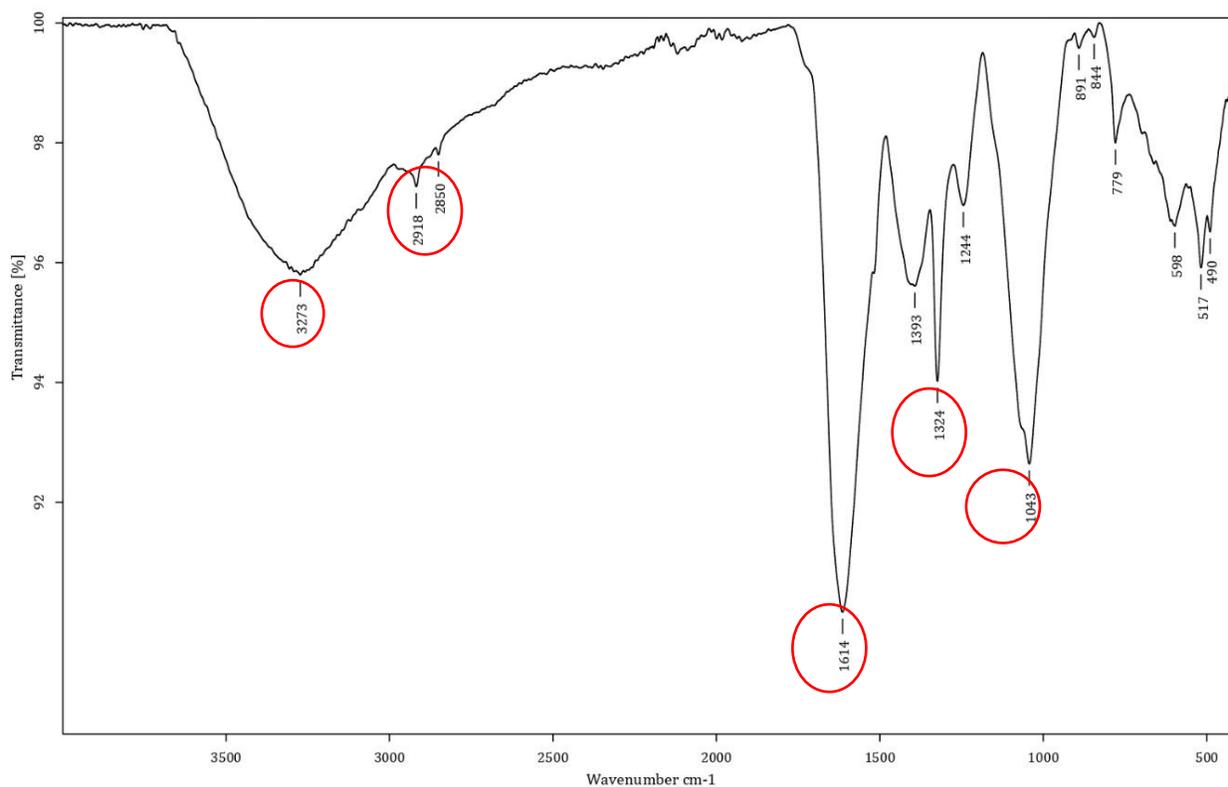
#### **Determinación de grupos funcionales**

La determinación de grupos funcionales se realizó mediante el análisis por Espectroscopia de Infrarrojo, la cual se fundamenta en la absorción de Infrarrojo por las moléculas en vibración (Hasiera, 2006). Las moléculas al ser irradiadas con el haz de luz infrarroja absorberán la energía necesaria para que se dé una transición vibracional, es decir, la molécula comienza a vibrar de una determinada manera gracias a la energía que se le suministra mediante luz infrarroja (Hasiera, 2006).

Las dos muestras que se obtuvieron de mucílago de nopal fueron sometidas a análisis por Infrarrojo determinando así los grupos funcionales que contienen. En la ilustración 35, se muestra el espectro de la muestra 1 de mucílago de nopal.

En la tabla 7 se muestran las señales de importancia obtenidas en los espectrogramas.

**Ilustración 34. Espectro Infrarrojo de la muestra 1 de mucílago de nopal**



Fuente: Elaboración propia, 2020.

Con base en las tablas de espectroscopia infrarroja propuestas por Rojo (2019), se establecieron los valores para detectar los grupos funcionales que posee la muestra 1 de mucílago de nopal. En la tabla 7, se muestra las señales que se consideraron para su interpretación:

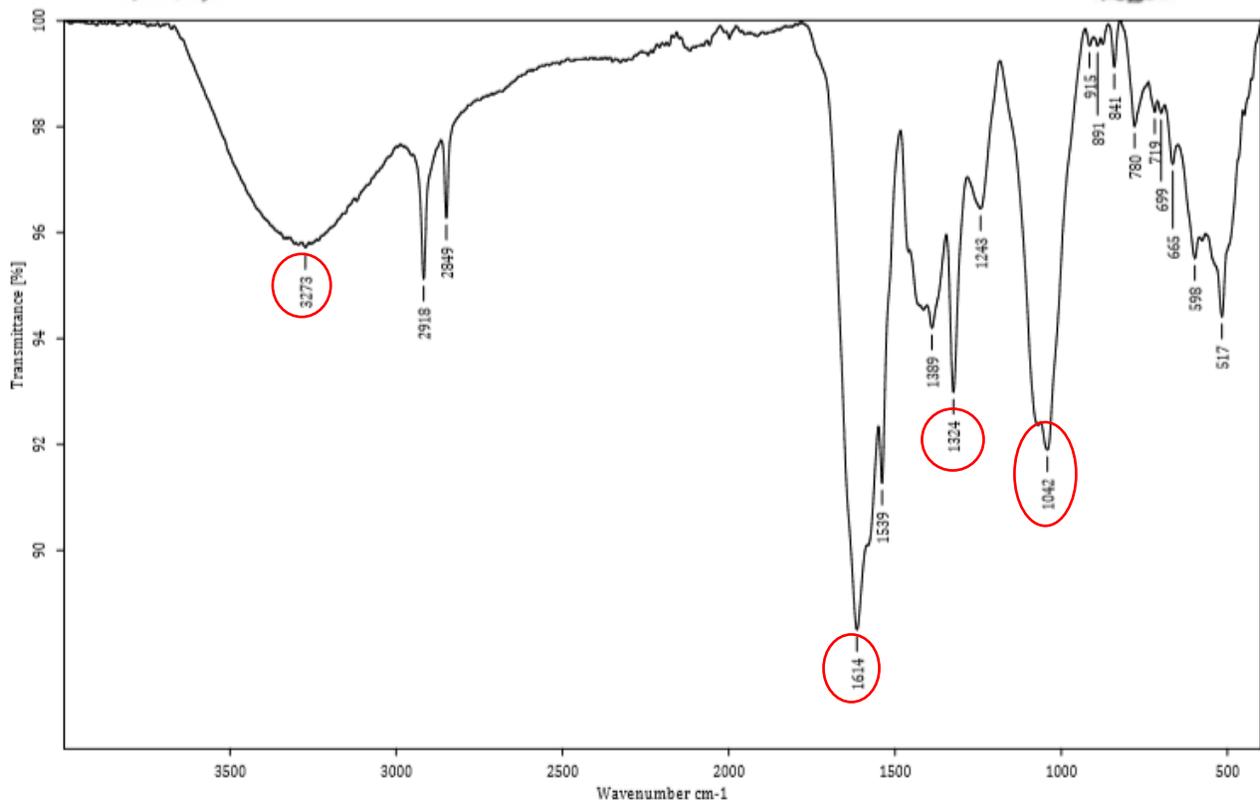
**Tabla 5. Grupos funcionales de muestra 1 de mucílago**

Señales obtenidas	Señales reportadas en la bibliografía	Grupos funcionales asociados	Vibraciones para:
<b>3273cm<sup>-1</sup></b>	Alcohol polimérico 3400-3200	OH	Alcoholes/Fenoles
<b>2918cm<sup>-1</sup></b> <b>1/2850 cm<sup>-1</sup></b>	CH	CH	Ácidos carboxílicos
<b>1614 cm<sup>-1</sup></b>	1765-1540	C=O	Grupo carbonilo
<b>1324 cm<sup>-1</sup></b>	1420-1200	C-H	Ácido carboxílico
<b>1043 cm<sup>-1</sup></b>	1230-1030	Amino	Grupo amino

Fuente: Elaboración propia, 2020.

La tabla 7 se puede observar que la muestra 1 de mucílago de nopal que se obtuvo bajo la metodología de extracción tradicional posee grupos funcionales, principalmente de aminoácidos ya que se observan presencia de grupos de OH referentes a los Fenoles y Alcoholes, otro de los componentes principales son los grupos carboxílicos los cuales representan la presencia de la hemicelulosa en la estructura del mucílago.

**Ilustración 35. Espectro Infrarrojo de la muestra 2 de mucílago de nopal**



Fuente: Elaboración propia, 2020.

**Tabla 6. Grupos funcionales de muestra 2 de mucílago.**

Señales obtenidas      Señales reportadas en la bibliografía      Grupos funcionales asociados      Vibraciones para:

$3273\text{cm}^{-1}$	Alcohol polimérico 3400-3200	OH	Alcoholes/Fenoles
$1614\text{cm}^{-1}$	1765-1540 $\text{cm}^{-1}$	C=O	Grupo carbonilo
$1324\text{cm}^{-1}$	1420-1200 $\text{cm}^{-1}$	C-H	Ácido carboxílico
$1042\text{cm}^{-1}$	1230-1030 $\text{cm}^{-1}$	1230-1030	Amino

Fuente: Elaboración propia, 2020.

En la tabla 8 se observa que posee grupos similares con referencia a la muestra 1 de mucílago de nopal. En su estructura química se observa la presencia de grupos OH y grupos carboxílicos. Lo que representa la presencia de hemicelulosa, al igual que la muestra 1 de mucílago.

### 5.3 Proceso de Adsorción de Glifosato.

Una vez realizado el proceso de elaboración de los materiales compuestos, se procedió a realizar las primeras pruebas, para esto se sumergió cada uno de los materiales compuestos en una muestra con agua destilada que contenía Glifosato, tal como se muestra en la ilustración 26.

**Ilustración 36. Material compuesto sumergido en agua con glifosato**



Fuente: Elaboración propia, 2020.

Se manejaron diferentes concentraciones de Glifosato partiendo de la concentración mayor la cual se estableció tomando como referencia la tabla 5.

**Tabla 7. Concentraciones de Glifosato**

Número de Muestra	Concentración milimolar (mmol)
1	30
2	25
3	20
4	15
5	10

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Se utilizó la fórmula de concentraciones ( $C_1V_1=C_2V_2$ ) para hacer el cálculo de disoluciones correspondiente donde:

$C_1$ = Concentración inicial

$V_1$ = Volumen inicial

$C_2$ = Concentración final

$V_2$ = Volumen final

### **Operaciones de las disoluciones**

$$M=30\text{mmol} = \text{nmol}/3\text{mL}$$

$$M= (90\text{mmol}) (1 \times 10^{-6}\text{mmol}/1 \times 10^{+6}\text{mmol}) (169\text{g}/1\text{mol})$$

$$M=1.5 \times 10 = \underline{\underline{0.0152 \text{ g de Glifosato}}}.$$

De esta manera la máxima concentración que se estableció para el Glifosato en el presente estudio fue por encima de 0.0152 g.

Es por ello para el cálculo de disoluciones, se consideró una proporción de soluto (Glifosato) respecto al disolvente (Agua destilada), por tal razón se toma en cuenta el peso molecular del Glifosato (169.07 g/mol). Las disoluciones se realizan como se muestra en la tabla 6.

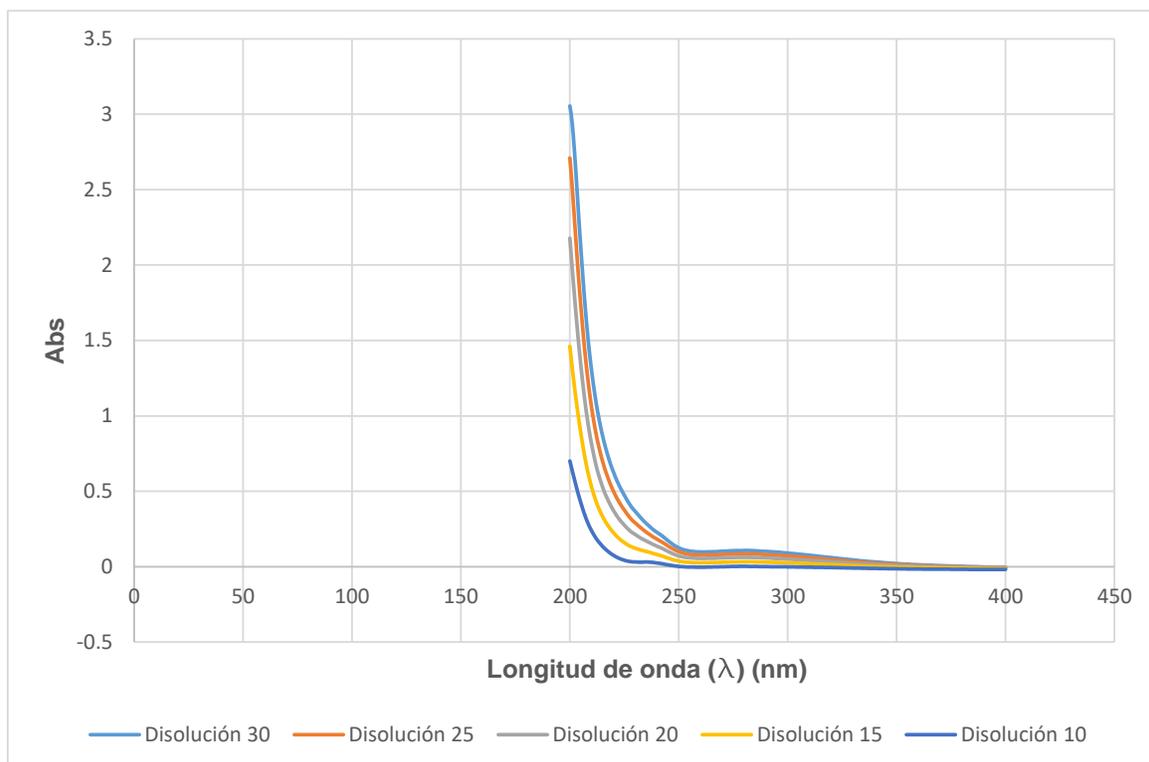
**Tabla 8. Disoluciones basadas en curva de calibración**

Número de muestra	C <sub>1</sub> (mmol)	V <sub>1</sub> (mL)	C <sub>2</sub> (mmol)	V <sub>2</sub> (ml)	+H <sub>2</sub> O (mL)
1	30	2.5	30	3	0.5
2	25	2.4	25	3	0.6
3	20	2.25	20	3	0.75
4	15	2	15	3	1
5	10	1.5	10	3	1.5

Fuente: Elaboración propia, 2020.

En la Grafica x se muestra las disoluciones que se realizaron por medio de la técnica de espectrometría UV, en donde se observa las disoluciones de menor a mayor concentración del compuesto analizado.

**Gráfica 3. Disoluciones de Glifosato.**



Fuente: Elaboración propia, 2020.

## 5.4 Pruebas de adsorción de Glifosato por espectrofotometría ultravioleta-visible (UV).

Para realizar las pruebas de adsorción se utilizó la técnica de espectrometría UV- visible, la cual permite determinar la concentración de un compuesto, su principio es determinar “la capacidad de las moléculas para absorber radiaciones dentro de la longitud de onda del espectro UV-Visible” (Díaz, y otros, 2005). En la ilustración 37, se observa el proceso que se llevo a cabo para realizar las pruebas correspondientes.

**Ilustración 37. Realización de pruebas por el espectro UV**



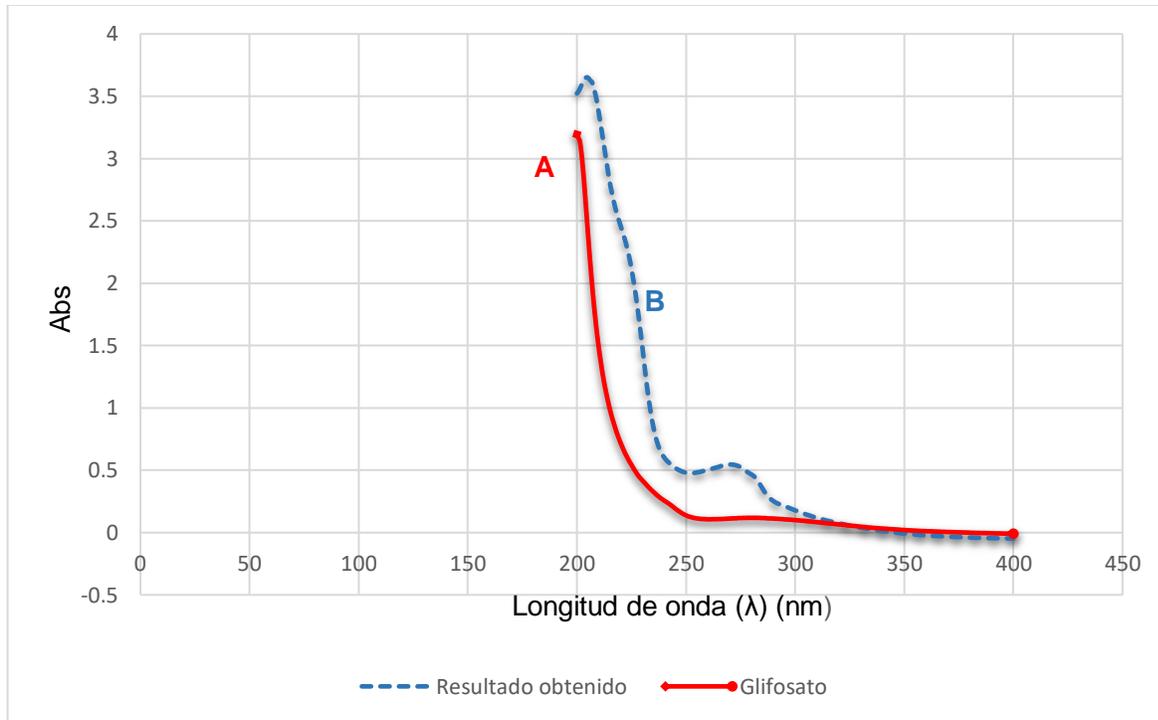
Fuente: Elaboración propia, 2020.

Para realizar los espectros de adsorción mediante esta técnica se utilizaron las soluciones resultantes del proceso de adsorción en las cuales se colocó solución estándar (agua destilada) con glifosato y se dejaron reposar por 30 minutos aproximadamente con el material compuesto sumergido en estas.

Los resultados que se obtuvieron mediante la técnica de espectrofotometría de ultravioleta visible (UV) fueron desfavorables ya que al momento de interpretar las gráficas resultantes se dedujo que el compuesto de Glifosato se degrada impidiendo así la visibilidad del comportamiento del material propuesto en el presente estudio.

Las pruebas se llevaron a cabo de dos maneras ya que en (M.A, C. G, & Dos santos, 2012) del análisis del glifosato se encontró que el herbicida es afectado significativamente por la exposición solar sin embargo sigue siendo escasa la información sobre la fotodegradación del compuesto por esta razón se decidió realizar los procedimientos tanto a la exposición con luz solar como sin esta.

**Gráfica 4. Prueba de adsorción con luz solar.**

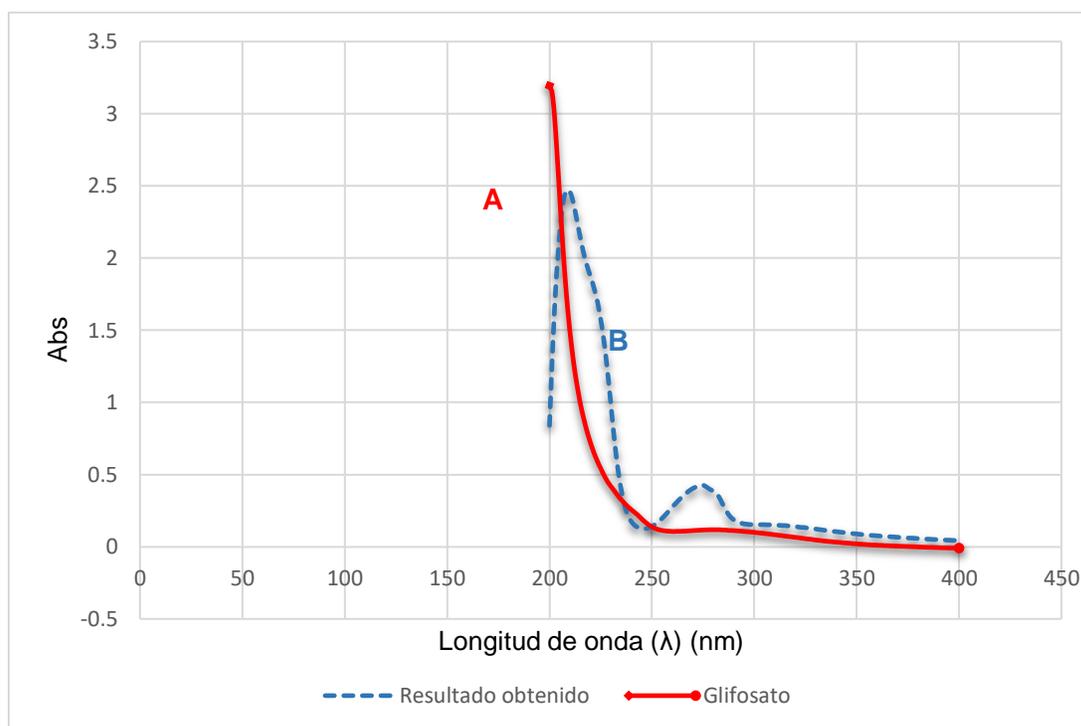


Fuente: Elaboración propia, 2020.

En la gráfica 3 se puede observar la línea “A” que corresponde a la curva de la máxima concentración de Glifosato, considerada para visualizar el comportamiento de esta con respecto a la línea “B” la cual corresponde al resultado obtenido.

Con lo que respecta a la línea “B” es muy probable que el resultado obtenido corresponda a una mezcla entre la Sarcosina y el ácido aminometilfosfónico (AMPA), ya que se observa una elevación de la banda alrededor de los 250-300 nanómetros (nm) lo que representa una posible degradación del Glifosato en su principal subproducto, el AMPA, mientras que la segunda elevación corresponde a la sarcosina ya que se encuentra entre los 200 nm y por lo general el grupo carboxílico absorbe en esa región aproximadamente.

Gráfica 5. Prueba de adsorción sin luz solar



Fuente: Elaboración propia, 2020.

En cuanto a las pruebas realizadas sin luz solar no se obtuvo grandes modificaciones ya que se presenta el mismo patrón de degradación del compuesto sin embargo a simple vista se puede observar una disminución en la concentración de glifosato en comparación a la gráfica 3.

Se conoce que la degradación del Glifosato puede tener diferentes factores tanto bióticos como abióticos (Aparicio, y otros, 2013). La degradación por factores bióticos se refiere al proceso en donde interviene la acción microbiana y es llevado a cabo tanto en condiciones aeróbicas como anaeróbicas gracias a la microflora que se encuentra en el suelo (Aparicio, y otros, 2013).

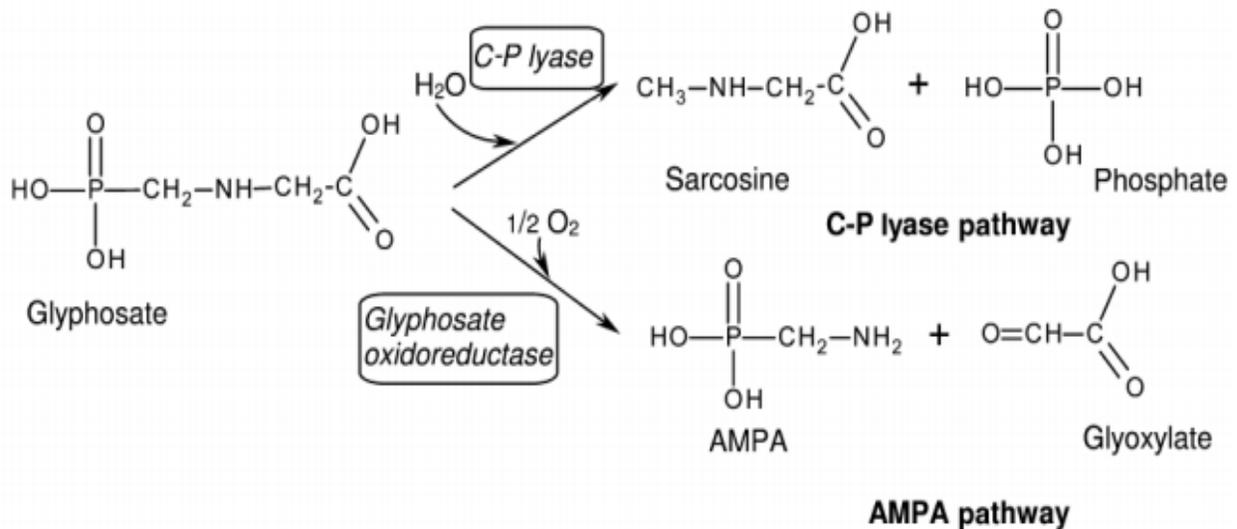
Según Pollegioni, Schonbrunn, & Siehl, (2011), la degradación del Glifosato por factores bióticos puede ser metabolizado por dos vías diferentes:

a) “La escisión del enlace carbono-fósforo, lo que resulta en la formación de fosfato y sarcosina (la vía de la liasa C-P)”.

b) “La escisión oxidativa del enlace carbono-nitrógeno en el lado del carboxilo, catalizada por el glifosato oxidorreductasa (GOX), que resulta en la formación de AMPA”.

En la ilustración 38, se muestra las dos vías por las cuales se degrada este compuesto.

**Ilustración 38. Rutas de degradación del glifosato por factores bióticos**



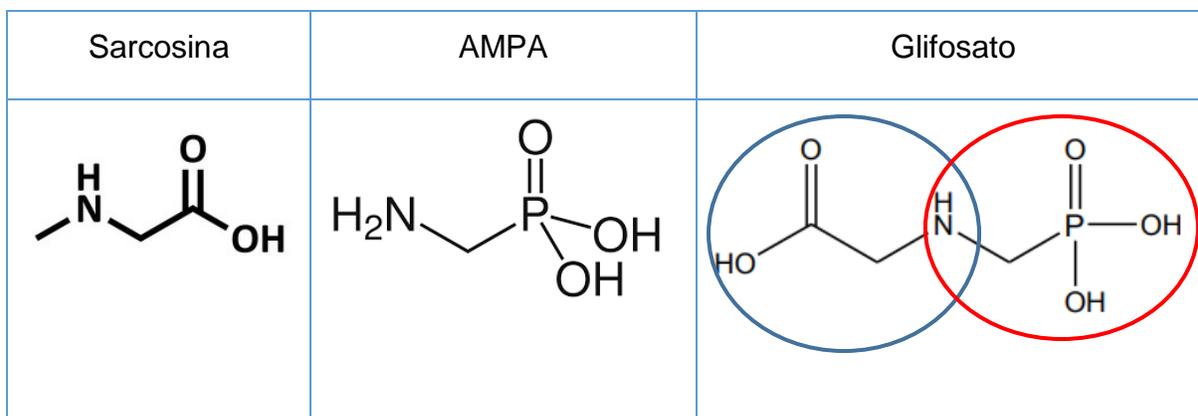
Fuente: (Pollegioni, Schonbrunn, & Siehl, 2011).

En cuanto a los factores abióticos que intervienen en la degradación del Glifosato pueden considerarse todos aquellos elementos tanto físicos como químicos del medio que no poseen vida como por ejemplo la intensidad de la luz solar, los componentes del aire, la salinidad del agua, la presión atmosférica, entre otros (Universidad Nacional Autónoma de México, 2015).

Considerando estos factores con los resultados obtenidos se puede decir que el motivo de la degradación del Glifosato fue por la intervención que se tuvo con el material compuesto elaborado. La línea “A”, interpreta la concentración más alta del Glifosato sin intervención alguna y se observa que no ha sido degradada mientras que la línea “B” es la misma concentración de glifosato después de ser sometida al proceso de adsorción con el material compuesto y en esta se presenta el patrón de degradación.

Los subproductos o bien compuestos intermediarios del Glifosato que se manifiestan al momento de su degradación son el AMPA, sarcosina y formaldehído (Dozier, Gaffney, McDonald, Johnson, & Shilling, 2014).

A continuación, se presentan las estructuras químicas de ambos compuestos que se observan en las gráficas que obtuvimos y que conjuntamente componen a la estructura química del Glifosato.



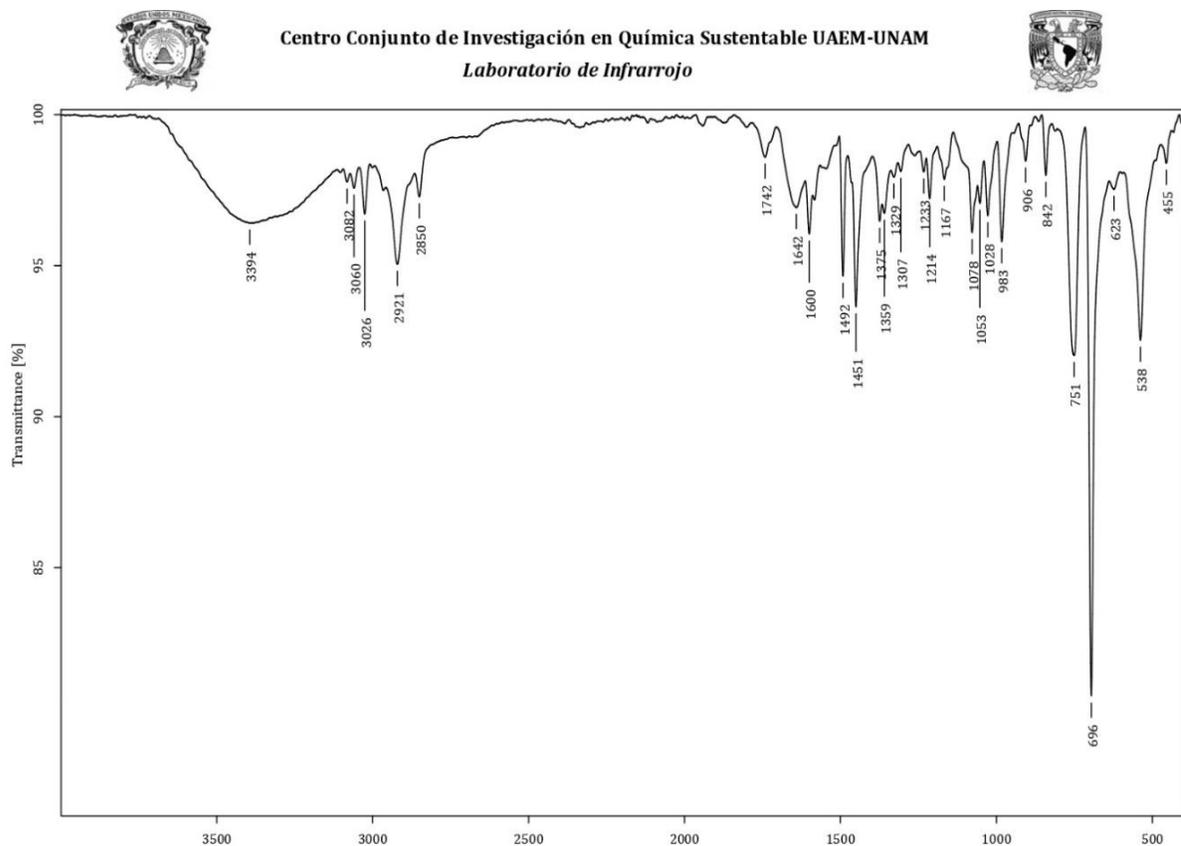
Por tal razón se determina que mediante la técnica de análisis seleccionada no fue posible detectar cuantitativamente la concentración del glifosato después de llevar a cabo las pruebas de adsorción con el material compuesto propuesto en el presente trabajo.

## 5.4 Análisis de adsorción del material compuesto por espectroscopia infrarroja (IR).

Se realizó el análisis del material compuesto después de haber sido sometido al proceso de adsorción con la finalidad de determinar que grupos funcionales presentaba y se comparó con los grupos funcionales principales que posee el Glifosato los cuales son amino, carboxilato y fosfonato (Rasul, Jasmin, Mian, & Behisht, 2009).

En la ilustración 39 se muestra el resultado obtenido:

**Ilustración 39. Material compuesto después de ser sometido al proceso de adsorción.**



Fuente: Elaboración propia, 2020.

**Tabla 9. Grupos funcionales del material compuesto**

Señales obtenidas	Señales reportadas en la bibliografía	Grupos funcionales asociados	Vibraciones para
<b>3394cm<sup>-1</sup></b>	3200 cm <sup>-1</sup> -3650 cm <sup>-1</sup>	OH	Alcoholes
<b>2850cm<sup>-1</sup>- 2921cm<sup>-1</sup></b>	2850 cm <sup>-1</sup> -2925 cm <sup>-1</sup>	CH <sub>2</sub>	Metilenos
<b>1600 cm<sup>-1</sup>-1642 cm<sup>-1</sup></b>	1600 cm <sup>-1</sup> -1640 cm <sup>-1</sup>	C=C	Polienos
<b>1233 cm<sup>-1</sup>-1359 cm<sup>-1</sup></b>	1200 cm <sup>-1</sup> -1420 cm <sup>-1</sup>	C=O	<b>Ácidos Carboxílicos</b>
<b>1167 cm<sup>-1</sup></b>	1165 cm <sup>-1</sup>	C=C-O-R	Metil ester
<b>1028 cm<sup>-1</sup>-1078 cm<sup>-1</sup></b>	1020 cm <sup>-1</sup> -1075 cm <sup>-1</sup>		Éter
<b>696 cm<sup>-1</sup>-906 cm<sup>-1</sup></b>	650 cm <sup>-1</sup> -900 cm <sup>-1</sup>	NH <sub>2</sub>	<b>Amina</b>

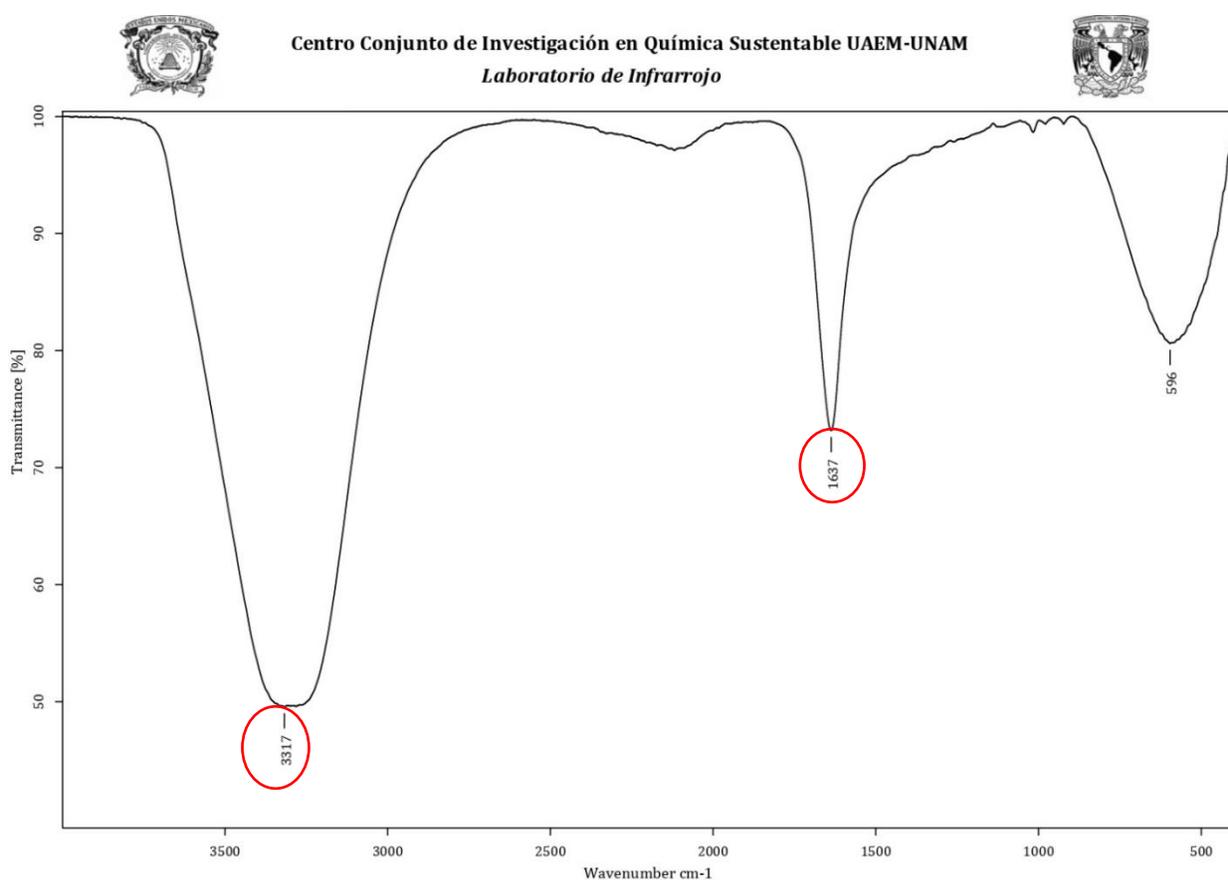
Fuente: Elaboración propia, 2020.

A través del análisis de adsorción bajo la técnica de espectroscopia infrarroja, se pudo identificar dos de los tres grupos funcionales que componen la estructura química del Glifosato entre ellos el grupo de los ácidos carboxílicos y el grupo amino. Mediante este precepto se entiende que dichos grupos se adhirieron al material, lo que significa que se tiene una adosortividad de las moléculas del Glifosato.

## 5.5 Análisis de enjuague del material compuesto mediante espectroscopia infrarroja (IR).

Se realizaron enjuagues con diferentes soluciones con la finalidad de poder analizar el líquido resultante y examinar los grupos funcionales de la solución para ver si se presenta algún grupo funcional correspondiente a la estructura del Glifosato, el resultado obtenido se puede observar en la ilustración 40.

Ilustración 40. Espectro Infrarrojo de enjuaje con agua destilada.



Fuente: Elaboración propia, 2020.

**Tabla 10. Grupos funcionales presentes en el enjuague con agua**

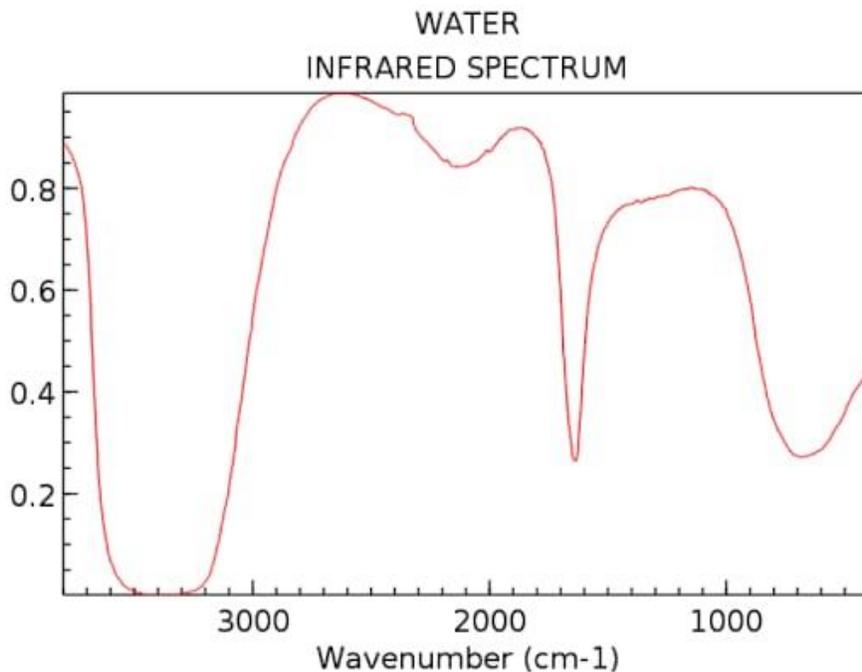
Señales obtenidas	Señales reportadas en la bibliografía	Grupos funcionales asociados	Vibraciones para
<b>3317cm<sup>-1</sup></b>	3200 cm <sup>-1</sup> -3650 cm <sup>-1</sup>	OH	Alcoholes
<b>1637cm<sup>-1</sup></b>	1765 cm <sup>-1</sup> -1540 cm <sup>-1</sup>	C=O	Cetona

Fuente: Elaboración propia, 2020.

El espectro obtenido se caracterizó por tener en su composición pertenecientes a los grupos OH, sin embargo, en la banda 3317 cm<sup>-1</sup>, se muestra una elevación esto es característico de la molécula de agua. En la elevación de la segunda banda (1637 cm<sup>-1</sup>), se presentó debido a la vibración de tipo tijera que se generó de los átomos O-H (National Institute of Standards and Technology, 2018).

En la ilustración 41, se muestra el espectro del agua, con la finalidad de realizar una comparación con el espectro obtenido, en el cual se muestra una semejanza, de esta manera se pudo verificar que ambos espectros pertenecer a la molécula del agua.

**Ilustración 41 Espectro Infrarrojo de Agua destilada.**

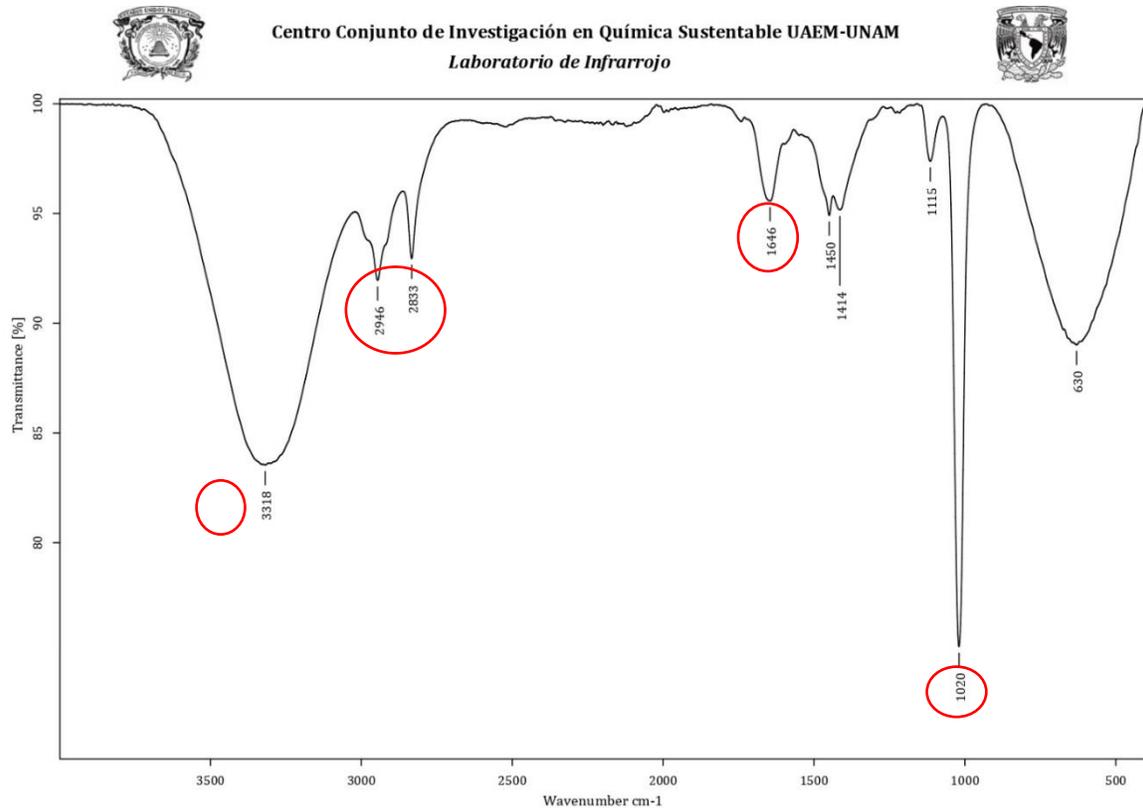


Fuente: (National Institute of Standards and Technology, 2018).

En ninguna banda se observó incidencia de concentraciones de compuestos del Glifosato lo que quiere decir que en la solución no se encontraron residuos de este herbicida y se infiere que el material compuesto dio un resultado positivo.

En la ilustración 42, se muestra el espectro resultado del segundo enjuague, el cual se realizó utilizando etanol.

**Ilustración 42. Espectro Infrarrojo de enjuaje con etanol.**



Fuente: Elaboración propia, 2020.

**Tabla 11. Grupos funcionales en enjuague con etanol**

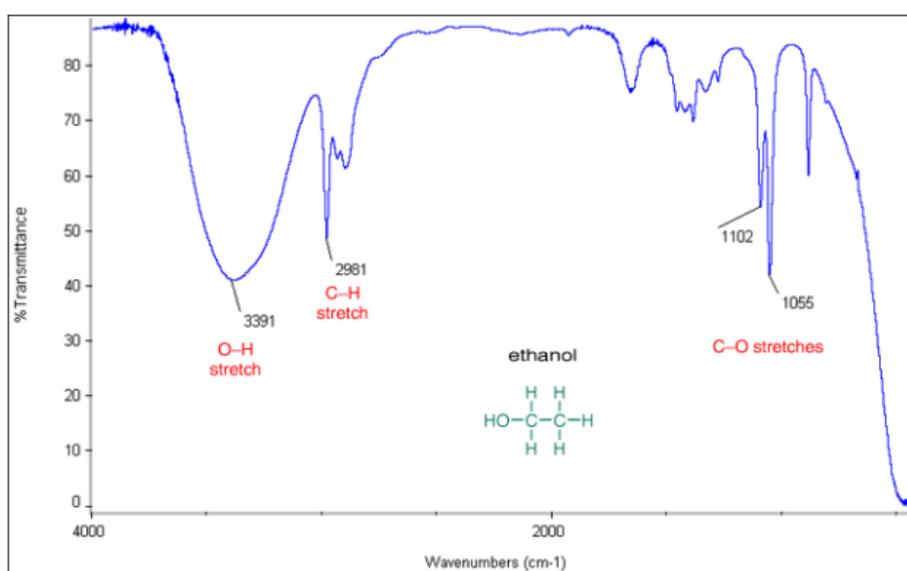
Señales obtenidas	Señales reportadas en la bibliografía	Grupos funcionales asociados	Vibraciones para
<b>3318cm<sup>-1</sup></b>	3200 cm <sup>-1</sup> -3650 cm <sup>-1</sup>	OH	Alcoholes
<b>2833cm<sup>-1</sup>- 2946cm<sup>-1</sup></b>	2850 cm <sup>-1</sup> -2925 cm <sup>-1</sup>	CH <sub>2</sub>	Metilenos
<b>1646cm<sup>-1</sup></b>	1765 cm <sup>-1</sup> -1540 cm <sup>-1</sup>	C=O	Cetona

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Los grupos funcionales detectados corresponden a alcoholes, metilenos y cetonas, esto derivado de los materiales y solventes que se utilizaron en el material compuesto y los insumos pertenecientes al mismo. Para efectos de esta investigación solo se analiza los compuestos de interés, en este caso la presencia de glifosatos.

En la figura 43, se muestra un espectro de infrarrojo de la molécula de etanol esto con la finalidad de realizar una comparación con el espectro obtenido, con esto podemos concluir que de igual forma en la solución resultante no se identificaron residuos de compuestos pertenecientes al Glifosato, por lo cual se lograron adherir al material compuesto.

**Ilustración 43 Espectro Infrarrojo del metanol.**



Fuente: (Universidad Nacional Autónoma de México, 2015).

## 5.6 Discusión de resultados.

En lo que respecta a la metodología de extracción de mucílago de nopal se concluye que mediante el desarrollo del método 1 (técnica tradicional) se obtuvo un menor rendimiento en comparación con el método 2 (técnica optimizada), el cual fue optimizado con el objetivo de aprovechar al máximo la materia prima, que fue la penca de nopal.

Mediante la realización del método 1 “Extracción de mucílago en frío” se observó un mayor requerimiento en cuanto a la inversión de tiempo, ya que los procesos de precipitación del mucílago son más tardados debido a que este método requiere alcanzar una temperatura de por lo menos 4°C, por lo que se considera que el método 1 representó un mayor costo de producción ya que se añadieron dos elementos para alcanzar la temperatura deseada.

En lo que respecta al método 2 “Extracción de mucílago licuado” se buscó optimizar el tiempo, material y recurso económico, por lo que no solo se logró tener éxito sobre lo anterior, sino que además se obtuvo un mayor gramaje en comparación al obtenido por el método 1, teniendo 8 y 6 gramos respectivamente.

Sin embargo, de manera general el costo de producción para la extracción de mucílago de nopal se considera elevado debido al empleo de uno de los insumos principales que es el etanol, ya que la relación utilizada en cuanto a volumen es 1: 2.5, es decir por cada litro de mucílago se requieren 2.5 L de etanol. En cuanto a las características físicas del mucílago de nopal extraído por ambos métodos se puede decir que presentan una alta cristalinidad amorfa semejante entre ellos, notando una ligera diferencia en las características organolépticas como lo fue el color, ya que el mucílago extraído bajo el método 1 mostró un color más claro en comparación con el extraído por el método 2.

Una vez obtenido el mucílago de nopal se elaboró el material compuesto, tomando como insumo dos materiales, el unicel y los aceites esenciales, partiendo de estudios previos que declaran que el unicel se puede recuperar a través de los aceites esenciales dando como resultado un material rígido y estable, factores que influyeron para la selección de este.

El método de adsorción diseñado fue adecuado, debido a que se obtuvo un material rígido, reutilizable, y de fácil manipulación. Se determinó que el material logró adsorber los grupos funcionales característicos del Glifosato, mediante las técnicas de laboratorio utilizadas,

las cuales, fueron seleccionadas de acuerdo con sus especificaciones. La que mejor se adecuó al carácter cualitativo de la investigación fue la técnica de espectroscopia infrarroja (IR) ya que ésta no es invasiva con las muestras en comparación con la espectroscopia UV.

La última técnica mencionada no fue adecuada para el estudio debido a que presenta una alta sensibilidad y no fue posible determinar cuantitativamente las concentraciones finales del proceso de adsorción, mostrando un mayor rango de incertidumbre a la hora de interpretar, además de que no fue adecuado para el carácter cualitativo de la investigación.

En lo que respecta a la estabilidad del material compuesto, éste no presentó alguna alteración como desintegración, pegajosidad etcétera en contacto con el agua con glifosato. Esto se podría atribuir a que el agua con el herbicida no presenta las condiciones necesarias a comparación de los aceites para que se pueda alterar o modificar la estabilidad o textura del material compuesto que lleva en su mayoría unicel.

Al momento de realizar los enjuagues con el solvente y el agua destilada para identificar si presentaban adherencia de los grupos funcionales principales del Glifosato se observó la nula presencia de éstos

En lo que respecta a la interpretación de las tablas IR dentro la presente investigación se pudieron encontrar la presencia de Ácidos Carboxílicos y Aminas (dos de los tres grupos funcionales principales del Glifosato) dentro del material compuesto. Para el caso de los enjuagues con agua y metanol, no se encontró la presencia de algunos de los grupos funcionales del herbicida que se está analizando, por lo que se puede inferir que el glifosato si se adhirió en el material compuesto y no disuelto en el agua destilada o en el solvente que en este caso fue el metanol.

# **CAPÍTULO 6**

## **CONCLUSIONES Y**

### **RECOMENDACIONES**

A partir del desarrollo del presente proyecto de investigación se analiza y se establecen una serie de conclusiones y recomendaciones que a continuación se enuncian:

## **6.1 Conclusiones.**

En lo que respecta al objetivo general, éste se cumplió debido a que se desarrolló con éxito el material compuesto elaborado con mucílago de nopal para la adsorción de Glifosato en soluciones estándar, cabe mencionar que para brindarle rigidez se necesitó la adición de unicef.

Se integró con éxito el marco conceptual, el cual permitió conocer los principales conceptos y su significado con el fin de comprender mejor lo que se plantea en la presente investigación, haciendo énfasis en el Glifosato que se utilizó para comprobar la adsorción del material compuesto, de esta manera se identificó no solo su impacto en la salud sino también el impacto que puede causar al medio ambiente.

Para el caso de la premisa de conocer y analizar las propiedades del mucílago de nopal, es importante resaltar que también se realizó con éxito, debido a que no solo se indagó en la bibliografía respecto a éste, sino que además se realizó una caracterización física bajo la técnica de Difracción de Rayos X, con lo que se pudo determinar la presencia de azúcares y comprobar el estado sólido amorfo de la muestra.

Otro de los logros que se pudo realizar en este proyecto es la optimización en cuanto al método de extracción del mucílago de nopal, ya que se comprobó que el método dos, en el cual se licuo el nopal, es más adecuado para obtener un mayor gramaje de mucílago seco a comparación de la metodología tradicional que se vio reflejada en este trabajo mediante el método uno.

La técnica de análisis seleccionada para los estudios de adsorptividad (espectrofotometría ultravioleta-visible UV), no fue la más adecuada para los análisis limitando así la determinación de la adsorptividad del material ya que esta favoreció a la degradación del compuesto, sin embargo, mediante la técnica de análisis por espectroscopia de infrarrojo (IR), se logró identificar los grupos funcionales de interés, considerando esta como la más adecuada para el enfoque cualitativo del presente proyecto de investigación.

La hipótesis planteada en el presente proyecto de investigación se considera aprobada de acuerdo con los resultados obtenidos, los cuales se sustentan con las pruebas de laboratorio realizadas, el material compuesto logro adsorber los grupos funcionales característicos del Glifosato, sin embargo, la investigación presenta la limitante de ser cualitativo, por lo que no fu posible determinar la cantidad de Glifosato adherido al material.

Dentro de las implicaciones que se consideran es la mejora continua del diseño experimental del material compuesto para que en un futuro éste pudiese ser aplicado en los campos de cultivo en donde se utilizan los agroquímicos. Es por ello que es sumamente importante el fomento a las políticas públicas en ciencia y tecnología, para que estos esfuerzos no solo permanezcan como investigaciones probadas en un laboratorio, sino que se logren aplicar en la realidad en pro de la sociedad y el medio ambiente.

## **6.2 Recomendaciones**

El presente trabajo de investigación consistió en una primera fase, por lo que parte experimental se controló en su totalidad en el laboratorio, es decir, muchos de los factores fueron controlados para un mejor análisis e interpretación de los resultados. De igual manera se recomienda realizar estudios posteriores para averiguar su funcionalidad con otro tipo de agroquímicos.

Debido a la contingencia actual que se vive por la pandemia derivada del SARS-CoV-02 se recomienda continuar con los estudios pertinentes para la caracterización del Glifosato los cuales favorecerían al presente proyecto de investigación: Análisis de infrarrojo del material compuesto antes de ser sumergido a la solución estándar con Glifosato, análisis infrarrojo del Glifosato, análisis infrarrojo del Unicef

En esta investigación también se hizo hincapié en cuanto al costo de producción de mucílago, debido a la gran cantidad de etanol que se utiliza, por lo que se recomienda que una vez decantado el mucílago (que se asentó después de un lapso de tiempo) pueda pasar por un proceso de destilación. Esto con la finalidad de purificarlo y así probar si funciona el que se pueda reutilizar para posteriores extracciones de mucílago.

Se propone la creación y correcta implementación de Normas Oficiales Mexicanas (NOM's), que regule aspectos relacionados con los agroquímicos, por ejemplo, límites máximos permisibles en suelo y agua principalmente, restricciones para su venta y uso, así como también para el manejo adecuado en todo el ciclo de vida del producto.

En lo que respecta a la legislación de uso de agroquímicos existente en México, no solo se debe procurar una correcta implementación de esta, sino que también se debe de llevar a cabo una evaluación que permita el monitoreo constante para que de esta manera se puedan efectuar las actualizaciones y mejoras pertinentes.

Se recomienda continuar con el diseño, afinando el material compuesto con la final de lograr el diseño de un prototipo que pueda ser aplicado en iniciativas futuras para la remoción de agroquímicos en agua.

## Referencias.

- Agenda del Agua 2030. (Marzo de 2011). Comisión Nacional del Agua. Recuperado el 06 de Febrero de 2020, de [www.conagua.gob.mx](http://www.conagua.gob.mx)
- Apa Aparicio, V., D. Geronimo, E., Marino, D., Primost, J., Carriquiriborde, P., & Costa, J. (2013). Environmental fate of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in surface waters and soil of agricultural basins. *Chemosphere*, 1866-1873.
- Arellano, O., & Montero, R. (2017). El glifosato y los cultivos transgénicos. En F. Bejarano, & F. Bejarano González (Ed.), *Los plaguicidas altamente peligrosos en México* (págs. 153-166). Mexico, México. Recuperado el 13 de junio de 2019, de [https://www.uccs.mx/downloads/visit.php?id=file\\_59b5aa59d4322](https://www.uccs.mx/downloads/visit.php?id=file_59b5aa59d4322)
- Arellano, O., & Von Osten, J. (2016). La huella de los plaguicidas en México. (E. Martínez, Ed.) Recuperado el 13 de Junio de 2019, de <https://ep00.epimg.net/descargables/2016/05/16/ae8ea231e129f8203521ca66855e8055.pdf>
- Arias, M., López, E., Martínez, E., Simal, J., Mejunto, J., & Garcia, L. (Febrero de 2008). The mobility and degradation of pesticides in soils and the pollution of groundwater resources. *Agriculture, ecosystems & environment*, 123, 249. Recuperado el 15 de Julio de 2019, de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167880907001934?via%3Dihub>
- Arrazcaeta, L. (22 de septiembre de 2002). Contaminación de las Aguas por Plaguicidas Químicos. (I. d. Sanidad, Ed.) *Fitosanidad*, 6(3), 55-62. Recuperado el 14 de Marzo de 2020, de <https://www.redalyc.org/pdf/2091/209118292006.pdf>
- Bejarano, F. (2017). Los Plaguicidas altamente peligrosos nuevo tema normativo internacional y su perfil nacional en México. En F. Bejarano (Ed.), *Los Plaguicidas Altamente Peligrosos en México* (págs. 13-58). México. Recuperado el 17 de Septiembre de 2019, de [https://www.uccs.mx/downloads/visit.php?id=file\\_59b5aa59d4322](https://www.uccs.mx/downloads/visit.php?id=file_59b5aa59d4322).
- Bermúdez, M. (2010). Contaminación del agua. (C. SA, Ed.) Recuperado el 17 de septiembre de 2019, de <http://galeon.com/mauriciobermudez/contaminacion.pdf>
- Bravo, H. (1978). *Las Cactáceas de México* (Vol. 1). (R. Del Campo, Ed.) México. Recuperado el 12 de junio de 2019, de [https://www.academia.edu/24808346/Bravo-Hollis\\_H.\\_Las\\_Cactaceas\\_de\\_Mexico.\\_Vol.1.\\_Bookos.org](https://www.academia.edu/24808346/Bravo-Hollis_H._Las_Cactaceas_de_Mexico._Vol.1._Bookos.org)
- Bruna, D. R. (2010). Aplicación de hidrotalcitas como adsorbentes para la reducción de la contaminación por plaguicidas en aguas y suelos. Tesis doctoral, Universidad de Córdoba, Córdoba. Recuperado el 18 de Febrero de 2020, de <http://digital.csic.es/bitstream/10261/66284/1/Aplicaci%C3%B3n%20de%20hidrotalcitas%20como%20adsorbentes.pdf>
- Centro Mexicano de Derecho Ambiental. (2006). *El Agua en México: lo que todas y todos debemos saber* (Primera ed.). (CEMDA, Ed.) México, Estado de México. Recuperado el 10 de septiembre de 2019, de [https://www.cemda.org.mx/wp-content/uploads/2011/12/agua-mexico\\_001.pdf](https://www.cemda.org.mx/wp-content/uploads/2011/12/agua-mexico_001.pdf)

- Cisneros, M. G., Cárdenas, C., Burelo, P., & Aleman, R. M. (21 de Diciembre de 2016). Adsorbentes no convencionales, alternativas sustentables para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 16(31). doi:10.22395/rium.v16n31a3
- Código para la Biodiversidad del Estado de México. (29 de Mayo de 2008). *Diario Oficial de la Federación*. México, México: Cámara de Diputados de H. Congreso de la Unión. Recuperado el 18 de Abril de 2019, de <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/4/321Ley%20de%20Desarrollo%20Forestal%20Sustentable%20del%20Estado%20de%20M%C3%A9xico.pdf>
- Comisión Nacional del Agua. (marzo de 2011). *Agenda del Agua 2030 Avances y logros 2012*. (C. N. Agua, Ed.) Recuperado el 06 de febrero de 2020, de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGP-10-12baja.pdf>
- CONABIO. (2009). Consejo Mexicano de Nopal y Tuna A.C., Red Nopal. Nopales, tunas y xoconostles. Recuperado el 12 de agosto de 2019, de [http://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium-bin/janium\\_zui.pl?jzd=/janium/Documentos/ETAPA06/AP/6579/Nopales.jzd&fn=6579](http://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium-bin/janium_zui.pl?jzd=/janium/Documentos/ETAPA06/AP/6579/Nopales.jzd&fn=6579)
- CONABIO. (2019). Nopales. Recuperado el 04 de septiembre de 2019, de <https://www.biodiversidad.gob.mx/usos/nopales/NdistGeografica.html>
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. (29 de Enero de 2016). *Diario Oficial de la Federación*. México, México: Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Recuperado el 12 de Septiembre de 2019, de [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf\\_mov/Constitucion\\_Politica.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf_mov/Constitucion_Politica.pdf)
- Cortes, J. (2015). Propuesta de un Sistema de Biofiltración de Cromo Hexavalente en Agua, utilizando el olote de maíz. Tesis, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca. Recuperado el 17 de Septiembre de 2019, de <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/23558/UAEM-FAPUR-TESIS-CORTES%2c%20JENNIFER.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cruzalta Casas, A. A. (2018). Actividad florícola en Villa Guerrero, Estado de México, uso de Agroquímicos y sus efectos en la salud de los habitantes. Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de México. Recuperado el 16 de Junio de 2020, de <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/94642/UAEM-FaPUR-TESIS-Amairai-Aldara-Cruzalta-Casas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Dawn I., F., Pichler, T., Yeh, D. H., & Alcantar, N. (08 de marzo de 2012). Removing heavy metals in water: The interaction of cactus mucilage and arsenate (As (V)). *Environmental Science & Technology*, 46(8), 4553-4559. Recuperado el 23 de marzo de 2019, de <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es2021999>
- Díaz, N., Ruiz, A., Reyes, E., Cejudo, A., Novo, J., Peinado, J., Fiñana, I. (2005). Departamento de Bioquímica y Biología molecular. Recuperado el 19 de abril de 2020, de [https://www.uco.es/dptos/bioquimica-biol-mol/pdfs/08\\_ESPECTROFOTOMETRIA.pdf](https://www.uco.es/dptos/bioquimica-biol-mol/pdfs/08_ESPECTROFOTOMETRIA.pdf)

- Domínguez, V., Zegbe, J., Alvarado, M. D., & Mena, J. (octubre de 2011). Extracción y purificación de mucílago de NOPAL. (Figuroa González, Juan José;). Zacatecas. Recuperado el 13 de Enero de 2019, de <http://www.zacatecas.inifap.gob.mx/publicaciones/extMuNopal.pdf>
- Dozier, H., Gaffney, J., McDonald, S., Johnson, E., & Shilling, D. (2014). Cogongrass in the United States: History, Ecology, Impacts, and Management. *Weed Science Society of America and Allen Press*.
- Echarri, L. (1998). Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente. En L. Echarri. México: Teide. Recuperado el 12 de septiembre de 2019
- El Heraldo. (2015). La agricultura consume el 70% del agua en el mundo. Recuperado el 2020, de <https://www.elheraldo.co/economia/la-agricultura-consume-el-70-del-agua-en-el-mundo-188535>
- Encinas Malagón, M. D. (2011). Medio Ambiente y Contaminación. Principios Básicos. (M. D. Encina Malagón, Ed.). ISBN: 978-84-615-1145-7
- FAO; ICARDIA. (2018). Ecología del cultivo manejo y usos del nopal. (P. Inglese, C. Mondragon, A. Nefzaoui, & C. Sáenz, Edits.) Recuperado el 12 de Septiembre de 2019, de <http://www.fao.org/3/i7628es/I7628ES.pdf>
- Fondo para la comunicación y la Educación Ambiental, A. C. (s.f). Contaminación del agua. Recuperado el 17 de septiembre de 2019, de <https://agua.org.mx/contaminacion-del-agua/>.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (13-15 de Octubre de 2009). La agricultura mundial en la perspectiva del año 2050. Recuperado el 11 de Junio de 2019, de [http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/Issues\\_papers/Issues\\_papers\\_SP/La\\_agricultura\\_mundial.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/Issues_papers/Issues_papers_SP/La_agricultura_mundial.pdf)
- Forbes Staff. (12 de Octubre de 2018). Análisis de harina de Maseca halla maíz transgénico y el herbicida glifosato. Recuperado el 12 de Junio de 2019, de <https://www.forbes.com.mx/analisis-de-harina-de-maseca-halla-maiz-transgenico-y-herbicida-glifosato/>
- Gaceta del Senado. (20 de Septiembre de 2016). Ficha técnica. Recuperado el 12 de marzo de 2020, de [https://www.senado.gob.mx/64/gaceta\\_del\\_senado/documento/65807](https://www.senado.gob.mx/64/gaceta_del_senado/documento/65807)
- Gibson, A., & Nobel, P. (1986). The cactus primer. (C. Harvard University Press, Ed.) Cactáceas y suculentas mexicanas. Recuperado el 15 de junio de 2019, de [https://www.scirp.org/\(S\(czeh2tfqyw2orz553k1w0r45\)\)/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1869037](https://www.scirp.org/(S(czeh2tfqyw2orz553k1w0r45))/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1869037)
- Gil, M., Soto, A., Usma, J., & Gutiérrez, O. (Diciembre de 2012). Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. *Producción + Limpia*, 7(2), 52-73. Recuperado el 13 de septiembre de 2019, de <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v7n2/v7n2a05.pdf>
- Gómez, A. (Septiembre de 2020). Espectroscopía de Infrarrojo (IR). Obtenido de <https://www.icmm.csic.es/fis/espa/infrarrojo.html>
- Hasiera. (2006). Espectroscopia Infrarroja IR. Recuperado el 12 de Mayo de 2020, de <http://www.ehu.eus/imacris/PIE06/web/IR.htm>

- Internacional Programme on Chemical Safety. (2005). Glifosato. Recuperado el 28 de Agosto de 2019, de <https://www.insst.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/101a200/nspn0160.pdf>
- Jiménez, E. (04 de septiembre de 2019). En Autlán, Jalisco, niñas y niños orinan pesticida. Recuperado el 11 de septiembre de 2019, de <https://plumasatomicas.com/investigacion/autlan-jalisco-herbicida-orina/>
- King, A., Purcell, L., & Vories, E. (Enero-Febrero de 2001). Plant Growth and Nitrogenase Activity of Glyphosate-Tolerant Soybean. *AGRONOMY JOURNAL*, 93. Recuperado el 14 de septiembre de 2019, de [https://www.researchgate.net:https://www.researchgate.net/profile/Andy\\_King8/publication/237604851\\_Plant\\_Growth\\_and\\_Nitrogenase\\_Activity\\_of\\_Glyphosate-Tolerant\\_Soybean\\_in\\_Response\\_to\\_Foliar\\_Glyphosate\\_Applications/links/5525a0200cf295bf160eac94/Plant-Growth-and-Nitrogenase-Activity-o](https://www.researchgate.net:https://www.researchgate.net/profile/Andy_King8/publication/237604851_Plant_Growth_and_Nitrogenase_Activity_of_Glyphosate-Tolerant_Soybean_in_Response_to_Foliar_Glyphosate_Applications/links/5525a0200cf295bf160eac94/Plant-Growth-and-Nitrogenase-Activity-o)
- Ley de Aguas Nacionales. (24 de Marzo de 2016). Diario Oficial de la Federación. México, México: Cámara de Diputados de H. Congreso de la Unión. Recuperado el 13 de Noviembre de 2019, de [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16\\_060120.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16_060120.pdf)
- Ley del Agua para el Estado y los Municipios. (22 de Enero de 2013). Diario Oficial de la Federación. México, México. Recuperado el 12 de Marzo de 2020, de [https://www.ipomex.org.mx/recursos/ipo/files\\_ipo/2016/1/10/0bf181d7590a97ae899670626b07a0d7.pdf#:~:text=%2D%20Esta%20Ley%20es%20de%20orden,la%20prestaci%C3%B3n%20de%20los%20servicios](https://www.ipomex.org.mx/recursos/ipo/files_ipo/2016/1/10/0bf181d7590a97ae899670626b07a0d7.pdf#:~:text=%2D%20Esta%20Ley%20es%20de%20orden,la%20prestaci%C3%B3n%20de%20los%20servicios)
- Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. (05 de Junio de 2018). Diario Oficial de la Federación. México: Cámara de Diputados el H. Congreso de la Unión. Recuperado el 16 de Noviembre de 2019, de (Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, 2016, art. 27).
- Llorente, F., Ramírez, R., López, M., Rodríguez, H., Arechiga, C., Bonilla, A., . . . Aguilera, J. (2011). Performance and nutrient digestion of lambs fed incremental levels of wild cactus (*Opuntia leucotrichia*). *Journal of Applied Animal Research*, 248-251. Recuperado el 28 de Octubre de 2019, de <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09712119.2011.588406>
- López, M. T. (Julio-Agosto de 2004). Los aceites esenciales aplicaciones farmacológicas, cosméticas y alimentarias. *Ámbito farmacéutico fitoterapia*, 23(7), 88-91. Recuperado el 18 de Febrero de 2020, de <https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-pdf-13064296>
- Lujan, S. (2014). Agroquímicos. Recuperado el 8 de Marzo 2020, de <http://produccionenlenguajessl.blogspot.com/2014/08/agroquimicos.html>
- M.A, T., C. G, C., & Dos santos, A. (2012). Estudios de Fotodegradación del Glifosato en Medio Acuoso. *Argentina y Ambiente*, 814-819. Recuperado el 16 de Febrero de 2020, de [https://www.researchgate.net/profile/Maria\\_Dos\\_Santos\\_AFONSO2/publication/260872024\\_Estudios\\_de\\_fotodegradacion\\_de\\_glifosato\\_en\\_medio\\_acuoso/links/59767a94aca2728d027065bd/Estudios-de-fotodegradacion-de-glifosato-en-medio-acuoso.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Maria_Dos_Santos_AFONSO2/publication/260872024_Estudios_de_fotodegradacion_de_glifosato_en_medio_acuoso/links/59767a94aca2728d027065bd/Estudios-de-fotodegradacion-de-glifosato-en-medio-acuoso.pdf)

- Mahler, B., Van, P., Burley, T., Loftin, K., Meyer, M., & Nowell, L. (Febrero de 2017). Similarities and differences in occurrence and temporal fluctuations in glyphosate and atrazine in small Midwestern streams (USA) during the 2013 growing season. *Science of the total Environment*. Recuperado el 17 de Febrero de 2020, de <https://www.sciencedirect.com/journal/science-of-the-total-environment/vol/579/suppl/C>
- Mazuelas, Á. (2002). Caracterización por difracción de rayos X de heteroestructuras de semiconductores III-V : aplicación al diseño de superredes tensadas para epitaxias de GaAs-Si. Tesis doctoral, Facultad de Ciencias Físicas, Departamento de Física de Materiales, Madrid. Recuperado el 16 de Mayo de 2020, de <https://eprints.ucm.es/1895/1/T18102.pdf>
- Naod, G., & Tsige, M. (2012). Comparative Physico-Chemical Characterization of the Mucilages of Two Cactus Pears (*Opuntia* spp.) Obtained from Mekelle, Northern Ethiopia. *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology*(3). Recuperado el 12 de mayo de 2019, de [https://www.scirp.org/pdf/JBNB20120100010\\_92518273.pdf](https://www.scirp.org/pdf/JBNB20120100010_92518273.pdf).
- National Institute of Standards and Technology. (2018). Libro del Web de Química del NIST, SRD 69. (S. o. America., Editor) Recuperado el 02 de octubre de 2020, de [Water: https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C7732185&Type=IR-SPEC&Index=1](https://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C7732185&Type=IR-SPEC&Index=1)
- Olivero Verbel, R. E., Mercado Martínez, I. D., & Montes Gazabón, L. E. (2013). Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago de nopal *Opuntia ficus-indica*. *Producción+limpia*, 8(1), 19-27. Recuperado el 15 de Febrero de 2020, de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-04552013000100003&script=sci\\_abstract&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-04552013000100003&script=sci_abstract&tlng=es)
- Organización de las Naciones Unidas. (2008). Convenio de Rotterdam. Recuperado el 29 de Octubre de 2019, de <http://www.pic.int/Portals/5/download.aspx?d=UNEP-FAO-RC-CONVTEXT-2015.Spanish.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas. (2019). Paz, dignidad e igualdad en un planeta sano. Recuperado el 30 de septiembre de 2020, de <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/population/index.html>
- Organización de las Naciones Unidas. (21 de Junio de 2017). La población mundial aumentará en 1.000 millones para 2030. Recuperado el 11 de Junio de 2019, de <https://www.un.org/development/desa/es/news/population/world-population-prospects-2017.html>
- Ovando, M. (2012). Modificación de biopolímero extraído de nopal (*Opuntia ficus indica*) y su aplicación para la remoción de metales pesados en agua. Tesis Maestría, Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A.C Posgrado en Ciencias Aplicadas, San Luis Potosí. Recuperado el 09 de Febrero de 2020, de <https://ipicyt.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1010/556/3/TMIPICYTO9M62012.pdf>
- Pengue, A. W. (01 de Julio de 2003). Citado en Schapovaloff (2013) El Glifosato y la dominación del ambiente. *Biodiversidad*, 1-7. Recuperado el 04 de Diciembre de 2019, de <https://www.grain.org/es/article/entries/1019-el-glifosato-y-la-dominacion-del-ambiente>

- Pengue, W. (Julio de 2003). El Glifosato y la dominación del ambiente. Biodiversidad. Recuperado el 4 de diciembre de 2019, de <https://www.grain.org/es/article/entries/1019-el-glifosato-y-la-dominacion-del-ambiente>
- Pesticide Action Network International. (2016). Glyphosate. (P. A. International, Ed.) Recuperado el 12 de Junio de 2019, de <http://pan-international.org/wp-content/uploads/Glyphosate-monograph.pdf>
- Puerto, A. M., Suárez, S., & Palacio, D. E. (2014). Efectos de los plaguicidas sobre el medio ambiente y la salud. *Revista cubana de higiene, epidemiología y microbiología*, 372-387. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/2232/223240764010.pdf>
- Ramírez, S. (2008). Propiedades Mecánicas y Microestructurales de Concreto Conteniendo Mucílago de Nopal como Aditivo Natural. Tesis Licenciatura, Centro Interdisciplinario de Investigación para el desarrollo integral regional unidad Oaxaca, Instituto Politécnico Nacional, Oaxaca. Recuperado el 04 de Octubre de 2019, de <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/407/SAMUEL%20RAMIREZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ramírez, W. F., Rondon, I., & Eslava, P. R. (Julio de 2003). Efectos del glifosato (GP) con énfasis en organismos acuáticos (revisión de literatura). *Orinoquia*, 7(1-2), 70-100. Recuperado el 12 de Septiembre de 2020, de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=89670211>
- Rasul, J., Jasmin, S., Mian, M., & Behisht, A. (2009). Determinación de residuos de herbicida de glifosato en muestras de importancia ambiental utilizando el método espectrofotométrico. *Diario de materiales peligrosos*.
- Restrepo, I. (1988). Los plaguicidas en México, Naturaleza muerta. CIENCIAS. Recuperado el 18 de septiembre de 2019, de <http://www.ejournal.unam.mx/cns/no13/CNS01306.pdf>
- Rojo, F. (2019). Tablas de espectroscopía infrarroja. Recuperado el 16 de Marzo de 2020, de [http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/TablasIR\\_34338.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/TablasIR_34338.pdf)
- Ruiz-Toledo J., Sánchez-Guillén D. 2014. Efecto de la concentración de glifosato presente en cuerpos de agua cercanos a campos de soya transgénica sobre la abeja *Apis mellifera* y la abeja sin aguijón *Tetragonisca angustula*. Recuperado el 25 de Septiembre de 2020 de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0065-17372014000200014](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0065-17372014000200014)
- Saenz, C. (2006). Utilización agroindustrial del nopal. (C. Rosell, Ed.) Recuperado el 18 de Noviembre de 2019, de <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/120301/Utilizacion-agroindustrial-del-nopal.pdf?sequence=1>
- Salazar, N., & Aldana, M. L. (11 de septiembre de 2011). Herbicida Glifosato: Usos, toxicidad y regulación. *Ciencias Biológicas y de la salud*, 8(2). Recuperado el 18 de septiembre de 2019, de <https://www.ciad.mx/archivos/reducerriesgos/Herbicida%20glifosato.pdf>.
- Sampieri, R., Fernández, C., & Baptista, M. d. (2006). Concepción o elección del diseño de investigación. En R. Sampieri, C. Fernández, & M. d. Baptista, *Metodología de la Investigación* (págs. 126-131). México: McGraw-Hill. Recuperado el 17 de Septiembre de 2019, de [https://www.esup.edu.pe/descargas/dep\\_investigacion/Metodologia%20de%20la%20investigaci%C3%B3n%20Edici%C3%B3n.pdf](https://www.esup.edu.pe/descargas/dep_investigacion/Metodologia%20de%20la%20investigaci%C3%B3n%20Edici%C3%B3n.pdf)

- Saravia, P. L. (2019). Agrupamientos productivos (cluster) del nopal. (P. L. Saravia, Ed.) Recuperado el 14 de septiembre de 2019, de [http://www.contactopyme.gob.mx: http://www.contactopyme.gob.mx/estudios/docs/nopal\\_mexico.PDF](http://www.contactopyme.gob.mx: http://www.contactopyme.gob.mx/estudios/docs/nopal_mexico.PDF)
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Social. (2019). Maíz, frijol, arroz y trigo, los granos básicos de México. Recuperado el 28 de Marzo de 2020 de <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/maiz-frijol-arroz-y-trigo-los-granos-basicos-de-mexico>.
- Secretaría de Agricultura y Ganadería (10 de Junio de 1997). NORMA Oficial Mexicana NOM-052-FITO-1995, Por la que se establecen los requisitos y especificaciones fitosanitarias para presentar el aviso de inicio de funcionamiento por las personas físicas o morales que se dediquen a la aplicación aérea de plaguicidas. México: Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Recuperado el 13 de Marzo de 2020, de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/203946/NOM-052-FITO-1995\\_100697.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/203946/NOM-052-FITO-1995_100697.pdf)
- Secretaría de Ecología. (21 de Septiembre de 1998). NORMA Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público. México, México: Cámara de diputados del H. Congreso de la Unión. Obtenido de <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Federal/wo69207.pdf>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (25 de Noviembre de 2015). Convenio de Róterdam. Recuperado el 06 de noviembre de 2019, de <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/convenio-de-rotterdam>
- Secretaría de Salud. (13 de Abril de 2010). NORMA Oficial Mexicana NOM-232-SSA1-2009, Plaguicidas: que establece los requisitos del envase, embalaje y etiquetado de productos grado técnico y para uso agrícola, forestal, pecuario, jardinería, urbano, industrial y doméstico. México: Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Recuperado el 15 de Marzo de 2020, de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/224163/NORMA\\_Oficial\\_Mexicana\\_NOM-232-SSA1-2009\\_\\_Plaguicidas\\_que\\_establece\\_los\\_requisitos\\_del\\_envase\\_\\_embalaje\\_y.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/224163/NORMA_Oficial_Mexicana_NOM-232-SSA1-2009__Plaguicidas_que_establece_los_requisitos_del_envase__embalaje_y.pdf)
- Secretaría de Salud. (2015). Las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) son regulaciones técnicas de observancia obligatoria expedidas por las dependencias competentes. Recuperado el 27 de Julio de 2020, de [http https://www.gob.mx/salud/en/documentos/normas-oficiales-mexicanas-9705#:~:text=August%2020%2C%202015-,Las%20Normas%20Oficiales%20Mexicanas%20\(NOM\)%20son%20regulaciones%20t%C3%A9cnicas%20de%20observancia,las%20personas%20o%20da%C3%B1ar%20la](http https://www.gob.mx/salud/en/documentos/normas-oficiales-mexicanas-9705#:~:text=August%2020%2C%202015-,Las%20Normas%20Oficiales%20Mexicanas%20(NOM)%20son%20regulaciones%20t%C3%A9cnicas%20de%20observancia,las%20personas%20o%20da%C3%B1ar%20la)
- Secretaría de Salud. (Noviembre de 2000). NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamiento a que debe someterse el agua para su potabilización. México, México: Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. Recuperado el 03 de Enero de 2020, de <http://www.agrolab.com.mx/sitev002/sitev001/assets/nom-127-ssa1-1994.pdf>
- Secretaría del Trabajo y Prevención Social. (28 de Diciembre de 1999). Norma Oficial Mexicana NOM-003-STPS-1999, Actividades agrícolas-Uso de insumos fitosanitarios o plaguicidas e insumos de nutrición vegetal o fertilizantes-Condiciónes de seguridad e higiene. México: Cámara de Diputados

del H. Congreso de la Unión. Recuperado el 20 de Febrero de 2020, de <http://asinom.stps.gob.mx:8145/upload/noms/Nom-003.pdf>.

Serrano Martínez J., L., 2020. Tema: espectroscopia Infrarroja 1, fundamentos. Recuperado el 25 de Agosto de 2020 de [https://www.upct.es/~minaees/espectroscopia\\_infrarroja.pdf](https://www.upct.es/~minaees/espectroscopia_infrarroja.pdf).

Skoog, D.A.; Leary J.J., Holler F. James. Principios de análisis Instrumental, 5° ed.; Ed. McGraw-Hill (1998), págs. 353-367.

Teorema Ambiental. (Abril de 2018). *Fundación UNAM*. Obtenido de <http://www.fundacionunam.org.mx/unam-al-dia/en-mexico-el-consumo-nacional-de-unicel-es-de-125-mil-toneladas-anuales/>

Torres, A. V. (2016). Repercusiones a la salud por el uso de agroquímicos en los viveros de Tenancingo (2015-2016). Tesis, Universidad Autónoma del Estado de México. Recuperado el 17 de Septiembre de 2019, de <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/67918/UAEM-FAPUR-Repercusiones%20a%20la%20salud%20por%20el%20uso%20de%20agroquimic.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Torres, R., Morales, D., Ballinas, M. d., & Nevárez, G. (13 de agosto de 2015). El nopal: planta del semidesierto con aplicaciones en farmacia, alimentos y nutrición animal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(5). Recuperado el 23 de junio de 2019, de <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v6n5/v6n5a18.pdf>

Universidad Complutense Madrid. (2020). Difracción por rayos-X. Recuperado el 29 de Agosto de 2020, de <https://www.ucm.es/arqueoanalisis/difraccion-por-rayos-x>

Universidad de Alicante.(2020). Espectroscopía ultravioleta visible. Recuperado el 14 de Septiembre de 2020 de <https://sstti.ua.es/es/instrumentacion-cientifica/unidad-de-rayos-x-de-monocristal-y-espectroscopias-vibracional-y-optica/espectroscopia-ultravioleta-visible.html>

Universidad de Valencia. (10 de Diciembre de 2015). Los Agroquímicos más utilizados. Recuperado el 17 de agosto de 2019, de <https://www.uv.es/uvweb/master-quimica/ca/master-universitari-quimica/los-agroquimicos-mas-utilizados-1285949129052/GasetaRecerca.html?id=1285953068917>

Universidad Nacional Autónoma de México. (2015). *Portal Academico CCH*. Recuperado el 2020, de <https://e1.portalacademico.cch.unam.mx/alumno/biologia2/unidad2/abioticosbioticos/queson>

Varona, M., Henao, G. L., Díaz, S., Lancheros, A., Murcia, Á., Rodríguez, N., & Álvarez, V. H. (septiembre de 2009). Evaluación de los efectos del glifosato y otros plaguicidas en la salud humana en zonas objeto del programa de erradicación de cultivos ilícitos. *Biomédica*, 29(3). Recuperado el 17 de septiembre de 2019, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84311689014>

Vázquez, E. (21 de Agosto de 2017). Contaminación del agua: qué es, causas, consecuencias y soluciones. Recuperado el 18 de Julio de 2019, de <https://ecosiglos.com/contaminacion-del-agua-causas-consecuencias-y-soluciones/>

Vázquez, O. (1994). Extracción de coagulantes naturales del nopal y aplicación en la clarificación de aguas superficiales. Tesis Maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil, Monterrey, Nuevo Leon. Recuperado el 23 de Julio de 2019, de <http://eprints.uanl.mx/7207/1/1020091188.PDF>

### **Referencias de las imágenes**

Pollegioni, L., Schonbrunn, E., & Siehl, D. (2011). Molecular basis of glyphosate resistance—different approaches through protein engineering. *The FEBS Journal*, 2753-2766. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1742-4658.2011.08214.x>

Anónimo. 2020. Dispersión y difracción. Recuperado el 25 de Septiembre de 2020 de [https://www.xtal.iqfr.csic.es/Cristalografia/parte\\_05.html](https://www.xtal.iqfr.csic.es/Cristalografia/parte_05.html)

Ecologistas en acción. (2018). Ríos plagados de pesticidas. *Ecologistas* (96). Recuperado el 18 de Marzo de 2020, de <https://www.ecologistasenaccion.org/100458/rios-plagados-de-pesticidas/>

Gobierno de México, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismo Genéticamente Modificados. (2019). Monografía sobre el Glifosato. Recuperado el 05 de Abril de 2020, de [https://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/images/cibiogem/comunicacion/MONOGRAFIA\\_SOBRE\\_GLIFOSATO\\_19.pdf](https://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/images/cibiogem/comunicacion/MONOGRAFIA_SOBRE_GLIFOSATO_19.pdf)

TRIPLÉNACE. (Diciembre de 2012). ESPECTROSCOPIA INFRARROJA (II): EN EL LABORATORIO. Obtenido de <https://triplenlace.com/2012/12/30/espectroscopia-infrarroja-ii-en-el-laboratorio/>

Vázquez Muñoz R. 2020. Difractograma del azúcar. Recuperado el 25 de Septiembre de 2020 de [https://www.researchgate.net/figure/Figura-10-Difractograma-del-azucar\\_fig13\\_315664543](https://www.researchgate.net/figure/Figura-10-Difractograma-del-azucar_fig13_315664543)