



c i d e t e q

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO
EN ELECTROQUÍMICA, S.C.

DESARROLLO DE UN SENSOR CAPACITIVO BASADO EN
POLÍMEROS DE IMPRESIÓN MOLECULAR Y MICROELECTRODOS
INTERDIGITADOS PARA LA DETECCIÓN DE GLIFOSATO EN AGUA

Tesis

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE

*Maestro en Ciencia y Tecnología
en la Especialidad de Ingeniería Ambiental*

PRESENTA

Ing. Diana Guadalupe Jiménez Rivas



BAJO LA DIRECCIÓN DE

Dr. José Luis Herrera Celis

Dr. Francisco Mherande Cuevas Muñiz

Santiago de Querétaro, Qro., México a 24 de enero del 2022.

A mi hermosa familia

Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica S. C.

REALIZADA POR:
Ing. Diana Guadalupe Jiménez Rivas

DIRIGIDA POR:
Dr. José Luis Herrera Celis

CO-DIRIGIDA POR:
Dr. Francisco Mherande Cuevas Muñiz

SINODALES

Dr. René Antaño López
Presidente

Firma

Dr. Goldie Harikrishna Oza
Secretario

Firma

Dr. Carlos Andrés Galán Vidal
Vocal

Firma

Dra. Carolina Martínez Sánchez
Suplente

Firma



**Este proyecto fue realizado en el Centro de Investigación y
Desarrollo Tecnológico en Electroquímica S. C.
(CIDETEQ S. C.), bajo la dirección del Dr. José Luis
Herrera Celis y la Co-dirección del Dr. Francisco
Mherande Cuervas Muñiz con financiamiento de los
proyectos de Ciencia de Frontera 2019 # 845132 y
Laboratorios Nacionales CONACYT 2021 # 316263.**

Agradecimientos

En primera instancia, quiero agradecer a mis padres, Emilio Jiménez y Juventina Rivas, y a mi hermano Jesús Jiménez, por su apoyo y confianza todo este tiempo, en especial a mi madre, por creer en mí y en lo lejos que puedo llegar.

Agradezco también a mi tía Rosa Rivas, por siempre estar para mí, por creer en mí y por toda la motivación que me dio con sus bellas palabras.

Quiero darle las gracias a mi asesor el Dr. José Luis Herrera, investigador que depositó la confianza en mí para el desarrollo del proyecto, quien estuvo siempre pendiente del trabajo contribuyendo con sus conocimientos para el desarrollo del mismo y sin duda alguna una pieza clave de este; y a mi Co-asesor el Dr. Francisco Cuevas, investigador quien mostró gran interés en el desarrollo del proyecto y con su experiencia y conocimientos me orientó amablemente.

También agradezco al Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica S. C. (CIDETEQ) por darme la oportunidad y la confianza de hacer uso de sus laboratorios y ser parte de sus colaboradores en investigación con el desarrollo de mi tesis en pro de la sociedad misma. Al mismo tiempo, agradezco a los investigadores que me dieron clases, pues contribuyeron significativamente en mi formación académica a lo largo de la maestría.

De la misma manera, agradezco al Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE), a su Laboratorio de Microscopía Electrónica, y en particular a la Dra. Claudia Reyes y a la Ing. Leticia Tecuapetla por el soporte, apoyo y disposición para realizar las mediciones de *EDS*. Así mismo, quiero expresar mi sincero agradecimiento a la Dra. Emilia Méndez, por su valioso apoyo y disposición para asesorarme en el manejo y funcionamiento del microscopio Raman para realizar las mediciones de *SERS*.

Por otra parte, quiero hacer un reconocimiento especial a mi comité tutorial conformado por el Dr. Calos Galán, la Dra. Carolina Martínez y la Dra. Eugenia Aldeco, por el seguimiento y la orientación en el desarrollo del proyecto.

No quiero olvidar agradecer a mis compañeras y amigas, la Ing. Michelle Rodríguez, la Ing. Juana Rueda, la Ing. Xochitl Maldonado, la M en C. Nuri Hernández y la Ing. Abigail González, por compartir sus conocimientos conmigo, por su apoyo incondicional y por su linda amistad a lo largo de este tiempo.

Índice general

CAPÍTULO I	9
Fundamento teórico	9
1.1 Antecedentes.....	9
1.2 Hipótesis	11
1.3 Objetivos.....	11
1.3.1 Objetivo general	11
1.3.2 Objetivos específicos.....	11
1.4 Justificación	11
1.5 Marco teórico.....	12
1.5.1 Sensores	12
1.5.1.1 Impedimétricos	13
1.5.1.2 Capacitivos	14
1.5.2 Microfabricación de transductores: Proceso de fabricación de microelectrodos	14
1.5.3 Fabricación de la capa de reconocimiento.....	16
1.5.3.1 Glifosato como especie química de interés	17
1.5.3.2 Electropolimerización.....	17
1.5.4 Técnicas de caracterización	18
1.5.4.1 Perfilometría	18
1.5.4.2 Microscopía metalográfica	19
1.5.4.3 Voltamperometría cíclica	19
1.5.4.4 Microscopia electrónica de barrido	20
1.5.4.5 Espectroscopia de dispersión de energía	21
1.5.4.6 Espectroscopía Raman amplificada por superficie.....	21
1.6 Simuladores basados en el método de elementos finitos: COMSOL Multiphysics®	23
Referencias	24
CAPÍTULO II	30
Simulaciones en COMSOL Multiphysics®	30
2.1 Configuración de las simulaciones: Modelado de los microelectrodos interdigitados en la plataforma de COMSOL Multiphysics®	30
2.2 Simulaciones del modelo para análisis de capacitancia	36
2.3 Resultados de las simulaciones para el análisis de capacitancia	36
2.4 Simulaciones del modelo para el análisis de impedancia.....	39
2.5 Resultados de las simulaciones para el análisis de impedancia.....	42

2.6 Conclusiones de las simulaciones.....	43
Referencias	44
CAPÍTULO III	45
Fabricación de chips de prueba y desarrollo del polímero de impresión molecular.....	45
3.1 Fabricación de <i>chips</i> de prueba	46
3.1.1 Limpieza de sustratos	46
3.1.2 Deposición de fotorresina por <i>spin coating</i>	47
3.1.3 Fotolitografía	47
3.1.4 Evaporización de metales	48
3.2 Fabricación del electrodo de referencia.....	49
3.3 Fabricación de la tapa a base de polidimetilsiloxano	50
3.3.1 Fabricación del molde	50
3.3.1.1 Limpieza del sustrato.....	50
3.3.1.2 Deposición de fotorresina por <i>spin coating</i>	50
3.3.1.3 Fotolitografía	51
3.3.1.4 Síntesis del PDMS	51
3.3.2 Limpieza previa de PDMS y estructuras sobre vidrio.....	52
3.4 Desarrollo del polímero de impresión molecular	53
3.4.1 Preparación de soluciones	53
3.4.2 Arreglo experimental.....	54
3.4.3 Pruebas de electropolimerización	54
3.4.4 Pruebas de sobreoxidación	56
3.5 Resultados.....	56
3.5.1 Electropolimerización.....	56
3.5.2 Espectroscopia Raman aumentada por superficie	63
3.5.3 Espectrometría de energía dispersiva	70
3.6 Perfilometría	73
3.7 Conclusiones.....	74
Referencias	74
CAPÍTULO IV	77
Fabricación y caracterización del sensor	77
4.1 Fabricación de los sensores	78
4.1.1 Limpieza de sustratos	78
4.1.2 Deposición de fotorresina por <i>spin coating</i>	78

4.1.3 Fotolitografía	78
4.1.4 Evaporización de metales	79
4.1.5 Fabricación del electrodo de referencia.....	81
4.2 Fabricación de la tapa a base de polidimetilsiloxano	81
4.3 Limpieza previa de PDMS y estructuras sobre vidrio.....	82
4.4 Deposición del polímero de impresión molecular	82
4.4.1 Preparación de soluciones	82
4.4.2 Arreglo experimental para la síntesis del polímero de impresión molecular	83
4.4.3 Electropolimerización.....	83
4.4.4 Sobreoxidación	84
4.5. Caracterización del sensor	84
4.5.1 Preparación de soluciones	84
4.5.2 Arreglo experimental para la caracterización del sensor.....	85
4.6 Resultados.....	86
4.7 Hallazgos	90
4.8 Conclusiones.....	92
Referencias	93
Anexo A	94

CAPÍTULO I

Fundamento teórico

Índice de Figuras

Figura 1.1. Partes de un sensor.	12
Figura 1.2. Principio de funcionamiento de fotorresina positiva y negativa.	15
Figura 1.3. Estructura química del pirrol, adaptado de Montalvo <i>et al.</i> , (2013).	16
Figura 1.4. Estructura química de glifosato, adaptado de Gress <i>et al.</i> (2015).	17
Figura 1.5. Principio de polimerización, adaptado de College, Road, & El (1988).	17
Figura 1.6. Fotografía del perfilómetro Veeco Dektak 6M.	18
Figura 1.7. Imagen de un microscopio metalográfico Am Scope Pz 200bb.	19
Figura 1.8. Imagen de un potencióstato/galvanostato Bio-logic VSP-300.	20
Figura 1.9. Fotografía de un microscopio electrónico de barrido Hitachi SU3500.	21
Figura 1.10. Fotografía del microscopio Raman Horiba Scientific X-plora one.	22

El presente capítulo muestra una revisión bibliográfica acerca del estado del arte de este proyecto, así como de los conceptos principales de los componentes, métodos y técnicas en los cuales está centrado el desarrollo de este trabajo.

1.1 Antecedentes

El glifosato se ha convertido en la sustancia más utilizada en el mundo para eliminar la vegetación no deseada en cultivos agrícolas y también en jardinería (Benbrook, 2016; Klingelhöfer *et al.*, 2021; Tang *et al.*, 2020). Se trata de un herbicida sistémico, que aunque remueve hierbas y malezas, afecta a todas las plantas y al mismo tiempo contamina (Krimsky, 2021; Valavanidis, 2018). Al incorporarse en los organismos ocasiona daños por dos vías principales: genotoxicidad y estrés oxidativo, que a su vez, causan enfermedades o afecciones como hipertensión, disrupción endocrina y cáncer, con riesgo de muerte (Elejalde, 2001; Martín, 2020; Valavanidis, 2018).

Debido al amplio uso que se ha hecho del glifosato y a los efectos adversos que tiene sobre la salud y el medio ambiente, se han utilizado diversas técnicas para la detección de glifosato como la cromatografía de gases (W. Zhang *et al.*, 2019) y la cromatografía líquida de alto

rendimiento (Bohórquez, 2020). Sin embargo, estas técnicas son de alto costo, no son de detección directa y usan solventes altamente tóxicos. Es por ello que se han propuesto otras técnicas como aquellas basadas en sensores, los cuales sobresalen por su fácil implementación y análisis más rápidos (Wei *et al.*, 2013).

En relación con sensores para detección de glifosato, el grupo de Do *et al.*, (2015) reportó un sensor electroquímico basado en impresión molecular para la detección de ácido aminometilfosfónico (AMPA, metabolito base del glifosato). En este caso, el polímero se obtiene por electropolimerización de *p*-aminotiofenol funcionalizado con nanopartículas de oro (Au) en presencia de AMPA como molécula molde. Este sensor cuenta con un límite de detección de 0.8 fg/mL para AMPA. En otro reporte, se ha encontrado la determinación voltamétrica de glifosato en aguas superficiales a través de pruebas electroquímicas de glifosato en solución Britton Robinson, este trabajo cuenta con un límite de detección de 40 ng/mL (Alza-Camacho *et al.*, 2016).

Por su parte, en 2017 Xu *et al.*, desarrollaron un polímero impreso molecularmente a base de polipirrol (*ppy*) sobre Au para la determinación voltamétrica de glifosato (*gly*). El sensor logró un límite de detección de 92 ng/mL. De igual manera, en 2017 C. Zhang *et al.*, desarrollaron un sensor electroquímico basado en *ppy* impreso molecularmente (*MIPPy*) sobre Au para la detección selectiva y sensible del herbicida glifosato en muestras de pepino y agua de grifo con un límite de detección de 0.27 ng/mL. También en 2017, Mazouz *et al.*, fabricaron dos sensores a base de *ppy* impreso molecularmente para la determinación voltamétrica de AMPA, metabolito del glifosato. El primer sensor utilizó un electrodo de Au y el segundo un electrodo de nanobarras de ZnO/ITO, los cuales lograron un límite de detección de 0.017 pg/mL y 0.17 ng/mL, respectivamente.

Más adelante, en 2018, Safaa *et al.* fabricaron un sensor para detectar glifosato en agua potable mediante pruebas electroquímicas, obteniendo como resultado un límite de detección de 340 ng/mL. Posteriormente, en 2019 Aguirre *et al.* realizaron una electrocristalización de carbón vítreo sobre cobre (Cu) para la determinación voltamétrica de glifosato en agua potable. El sensor así obtenido logró un límite de detección de 31 ng/mL. En 2020, Sasaki *et al.* desarrollaron un sensor basado en un transistor de politiofeno funcionalizado con carboxilato y

Cu, para la determinación voltamétrica de glifosato, logrando un límite de detección de 260 ng/mL.

1.2 Hipótesis

El arreglo de microelectrodos interdigitados junto con el polímero de impresión molecular será capaz de detectar la concentración mínima de glifosato permisible en agua potable de 0.1 ng/mL, debido a la alta sensibilidad de los *IMs* y a la alta selectividad que ofrecen los *MIPs*.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Fabricar y caracterizar un sensor para la detección de glifosato presente en agua potable mediante la técnica de espectroscopia de impedancia.

1.3.2 Objetivos específicos

- Modificar el factor de llenado del polímero de impresión molecular (*MIP*) variando la concentración de glifosato durante la electropolimerización.
- Remover el glifosato del *MIP* sin afectar la integridad de la matriz polimérica.
- Diseñar y fabricar el sensor (microelectrodos interdigitados/*MIP*).
- Caracterizar el sensor mediante la técnica de espectroscopia de impedancia y usando fluidos simulados.

1.4 Justificación

El glifosato, al ser un compuesto químico estable puede acumularse progresivamente en los organismos desencadenando enfermedades y la posibilidad de muerte. Por ende, es importante el desarrollo de dispositivos para su cuantificación. Actualmente, los métodos para detectar glifosato no tienen el límite de detección para la concentración mínima de glifosato permisible en agua potable, la cual es de 0.1 ng/mL (Consejo de la Unión Europea, 1998); las muestras necesitan de un pretratamiento antes de su análisis, utilizan solventes tóxicos y el proceso de análisis es de tiempos prolongados, por lo que se requieren dispositivos que no usen solventes tóxicos, pretratamientos muestrales y con un límite de detección bajo y rápido.

1.5 Marco teórico

1.5.1 Sensores

Un sensor es un dispositivo que proporciona información analítica en tiempo real de una muestra de la cual convierte la variación de su concentración en una señal física medible (Banica, 2012). Los sensores deben tener propiedades imprescindibles tales como precisión, resolución, sensibilidad, selectividad, reproducibilidad y repetibilidad (Banica, 2012; Lab-Volt, 2001). Por otra parte, Do *et al.* (2019) afirman que un sensor es un dispositivo diseñado para recibir información de una magnitud del exterior y transformarla en otra magnitud, normalmente eléctrica, que se pueda cuantificar y manipular.

Por otra parte, un sensor consta de tres partes importantes: la primera es la parte de reconocimiento donde se lleva a cabo la interacción o enlace del analito de interés con un material de reconocimiento o sensado; la segunda es la parte de transducción, esta se refiere a la transformación de la energía obtenida de la parte de reconocimiento en alguna señal, esta puede ser eléctrica, térmica, electroquímica, entre otras; la tercera parte se refiere a la amplificación de señales, en la cual la señal obtenida de la parte de transducción se convierte en una cantidad física medible (Banica, 2012). La figura 1.1 ilustra un esquema de las partes de un sensor.

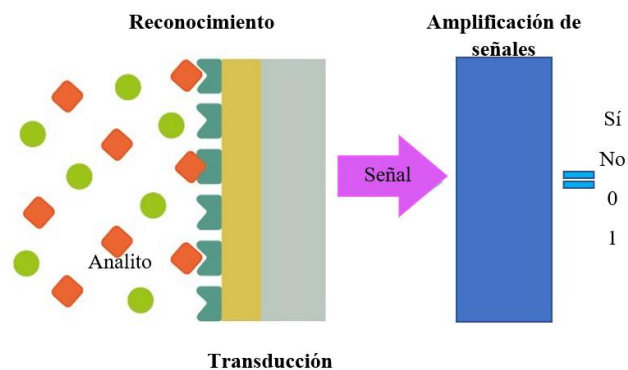


Figura 1.1. Partes de un sensor.

Dentro de los diferentes tipos de sensores resaltan los electroquímicos, los cuales se distinguen por los siguientes componentes básicos: un electrodo de trabajo en el cual se lleva a cabo la reacción electroquímica del analito de interés; un contraelectrodo o electrodo auxiliar el cual

recolecta la corriente; y generalmente, un electrodo de referencia que se encarga de garantizar que el electrodo de trabajo se encuentre a un equilibrio estable (Banica, 2012).

El principio de funcionamiento de un sensor electroquímico se basa en que los electrodos que lo componen se encuentran dentro del alojamiento interno de la carcasa del sensor y en contacto con un líquido que contiene el analito de interés y el electrolito soporte. El electrodo de trabajo está en contacto con la cara interna de una membrana que se encuentra en la superficie del sensor. Esta membrana es impermeable al electrolito y de esta manera el analito se propaga hacia el sensor hasta llegar al electrodo de trabajo. Cuando el analito alcanza este electrodo, se produce una reacción electroquímica: una oxidación o una reducción, según el tipo de analito. Por ejemplo, cuando ocurre una reacción por oxidación se produce un flujo de electrones desde el electrodo de trabajo hacia el contraelectrodo a través del circuito exterior. Por otro lado, en una reacción por reducción, el flujo de electrones toma el camino inverso, es decir, desde el contraelectrodo hacia el electrodo de trabajo. Este flujo de electrones corresponde a una corriente eléctrica proporcional a la concentración del analito. Los componentes electrónicos del instrumento detectan y amplifican esta corriente y clasifican el resultado según la calibración de la unidad y al final el dispositivo muestra la concentración de analito de interés (Hernández & Martínez, 2004).

1.5.1.1 Impedimétricos

El desarrollo de sensores basados en espectroscopía de impedancia se centra en el estudio de información obtenida al estudiar la respuesta de un sistema a diferentes frecuencias. Un sensor impedimétrico consta de una capa de reconocimiento que, al enlazarse selectivamente a iones o analitos de interés, modifica o cambia sus propiedades eléctricas como la conductividad y la permitividad relativa, dando como resultado una modificación de la impedancia asociada al dispositivo. Con estos sensores se han obtenido límites de detección del orden de 10^{-12} M (Lab-Volt, 2001).

La mayoría de las investigaciones sobre sensores basados en espectroscopía de impedancia se han centrado en los cambios en la interfase del electrodo, basándose en la observación de los cambios en la resistencia y capacitancia de la doble capa dieléctrica. Incluso, una de las aplicaciones habituales es caracterizar las propiedades y monitorear los cambios interfaciales

del electrodo, en procesos, como la formación de películas químicas (precipitados) o biológicos (células, biopelículas, proteínas, entre otros) (Saavedra , 2018).

1.5.1.2 Capacitivos

El funcionamiento de los sensores capacitivos se basa en el cambio de la capacitancia de la interfase como resultado de un proceso de reconocimiento. En general, la interfase está representada por una serie de capacitores-resistores que permiten procedimientos de procesamientos de datos. Sin embargo, si hay transferencia de electrones entre el electrodo de metal y la solución, se debe incluir una resistencia adicional en paralelo con la capacitancia de la interfase (Banica, 2012).

1.5.2 Microfabricación de transductores: Proceso de fabricación de microelectrodos

La microfabricación se refiere al empleo de las técnicas de miniaturización para la producción de circuitos integrados o sistemas microelectromecánicos (*MEMS*). Una de las técnicas principales empleadas en la fabricación de circuitos integrados es la litografía (Crapnell *et al.*, 2019). Por su parte, los microelectrodos son microestructuras tridimensionales obtenidas mediante la aplicación de las técnicas de fabricación de circuitos integrados. Una de las técnicas empleadas en la fabricación de microelectrodos es la técnica *lift-off*. Esta técnica involucra una secuencia de pasos: definición de patrones, depósito del metal y remoción de capas.

En este trabajo, la definición de patrones se realiza por la técnica de fotolitografía. El proceso de fotolitografía inicia con la deposición de una fotorresina sobre un sustrato por *spin-coating*. El proceso de *spin-coating* consiste en la deposición de una cantidad de resina en el centro de un sustrato para posteriormente hacerlo girar. La aceleración centrífuga hace que la resina se extienda y se obtenga una capa fina sobre el sustrato. El espesor de la película y otras propiedades dependen de la naturaleza de la fotorresina (viscosidad, velocidad de secado, porcentaje de sólidos, tensión superficial, entre otros.) y de la configuración del equipo (velocidad de rotación, tiempo de rotación, rampa de inicio, rampa de frenado, entre otros). Factores como la velocidad de rotación, aceleración y vapores contribuyen a la definición de las propiedades de la película depositada. Entre las ventajas del proceso de *spin-coating* sobresale su reproducibilidad. Para culminar el proceso de deposición, el sustrato es sometido a un *soft*

bake, es decir, un tratamiento térmico que tiene como función evaporar los solventes por completo y densificar la película depositada (X. Zhang *et al.*, 2018).

Al obtenerse el sustrato con fotorresina se realiza la transferencia de patrones. Este paso consiste en transferir un patrón a la superficie del sustrato exponiéndose a un láser de luz UV a través de una máscara y se revela para formar patrones sobre el sustrato. La máscara es un elemento transparente en el que los motivos a patronar son opacos. Hay dos tipos de fotorresina: positiva y negativa. Al utilizar fotorresina positiva, la parte que se disuelve con el revelador es la que ha sido expuesta a la luz, al contrario que con la negativa, en la que las zonas que se mantienen son las que han sido expuestas. En la Figura 1.2 se muestra la diferencia entre los dos tipos de resina (Gómez *et al.*, 2014).

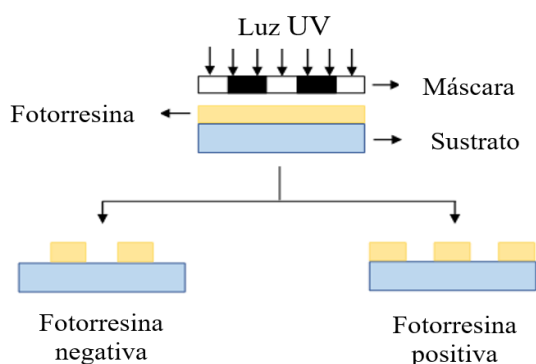


Figura 1.2. Principio de funcionamiento de fotorresina positiva y negativa.

Los componentes principales de una fotorresina son tres: un polímero (resina base), un sensibilizador (también llamado inhibidor) y un solvente (revelador). El polímero cambia su estructura cuando es expuesto a una radiación; el solvente permite la aplicación y formación de una fina película sobre la superficie del sustrato y los sensibilizadores controlan las reacciones fotoquímicas en la fase polimérica (Ghasemi *et al.*, 2020).

En este trabajo, la deposición del metal que conforma los microelectrodos se realiza por evaporización por haz de electrones (*e-beam*). El equipo de evaporación por haz de electrones cuenta con una cámara de vacío dentro de la cual se lleva a cabo la deposición del metal. Dentro de esta cámara se cuenta con una base rotatoria donde se ubican los crisoles con los diferentes metales para evaporar. Arriba de estas bases se cuenta con un obturador, el cual tiene como

función aislar el metal de la superficie a evaporar para tener un mejor control del espesor deseado de la película.

En la parte interior superior de la cámara de vacío se encuentra un plato metálico sobre el que se colocan los sustratos. Una estación de control establece los parámetros eléctricos con base en los cuales se llevará a cabo el bombardeo por electrones, mecanismo mediante el cual se funde el metal. Actuadores y sensores permiten controlar la velocidad del depósito y el espesor de la película depositada.

1.5.3 Fabricación de la capa de reconocimiento

La capa de reconocimiento consiste en una película depositada sobre los microelectrodos y diseñada específicamente para capturar el analito de interés. La detección se logra a través de los enlaces que se forman entre los grupos funcionales de la capa de reconocimiento y el analito. Este trabajo emplea polímeros de impresión molecular como la capa de reconocimiento. Los polímeros de impresión molecular son materiales sintéticos que permiten crear cavidades de reconocimiento con una distribución de grupos funcionales adecuada para enlazar al sustrato que se desea, así como unir selectivamente un compuesto químico determinado. En este trabajo, esta funcionalidad se adquiere a través de un proceso de polimerización que se realiza en presencia de la especie química que se desea reconocer (Del Cacho, 2009). Un ejemplo de estos materiales es el pirrol. El pirrol es un compuesto químico orgánico aromático y heterocíclico, estructurado en un anillo de cinco miembros con la fórmula C_4H_5N (ver Figura 1.3), el cual se caracteriza por tener una conductividad entre 1 y 100 S/m y ser químicamente estable (Wei *et al.*, 2013).

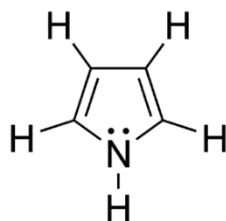


Figura 1.3. Estructura química del pirrol, adaptado de Montalvo *et al.*, (2013).

1.5.3.1 Glifosato como especie química de interés

El glifosato es un herbicida sistémico que también lleva por nombre N-fosfonometil-glicina y tiene por fórmula química $C_3H_8NO_5P$. Su estructura molecular se muestra en la Figura 1.4. El glifosato está compuesto por un grupo fosfonato y un grupo amino unido a un grupo carboxilato. El glifosato es un inhibidor de la enzima “5-enolpiruvil shikimato 3-fosfato sintetasa” (EPSP); su mecanismo de acción se basa en bloquear el paso de esta enzima y evitar la biosíntesis de aminoácidos y proteínas vitales para el crecimiento y vida de las plantas (Sierra *et al.*, 2008; Valavanidis, 2018). El glifosato también se conoce como un aminofosfonato con propiedades de alta solubilidad en agua, baja solubilidad en compuestos orgánicos y gran capacidad para formar complejos estables con iones metálicos (Gress *et al.*, 2015).

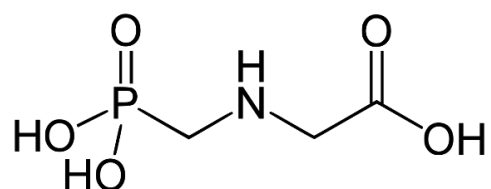


Figura 1.4. Estructura química de glifosato, adaptado de Gress *et al.* (2015).

1.5.3.2 Electropolimerización

La electropolimerización es un mecanismo sencillo para obtener películas de polímero con un espesor que depende del número de ciclos o la corriente que se aplica al electrodo (Crapnell *et al.*, 2019). Por su parte, el pirrol es un monómero parcialmente reticulado que no necesita de agentes reticulantes para su electropolimerización, debido a que en su estructura posee cadenas de átomos más cortas que sirven como conectores entre las cadenas poliméricas más largas. El pirrol al polimerizarse se convierte en *ppy* (ver Figura 1.5), el cual es una serie de polímeros heterocíclicos de especial interés debido a sus características eléctricas y electrónicas.

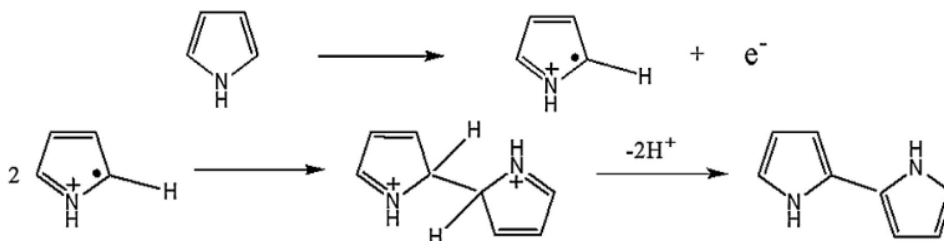


Figura 1.5. Principio de polimerización, adaptado de College, Road, & El (1988).

1.5.4 Técnicas de caracterización

Las técnicas de caracterización se usan para la obtención, análisis y evaluación de información como la composición, estructura, morfología y propiedades en general de un material o sistema a partir de la interacción de alguna señal eléctrica, térmica, luminosa o física, entre otras. Las técnicas empleadas a lo largo de esta investigación se detallan a continuación.

1.5.4.1 Perfilometría

La perfilometría es una técnica para medir el perfil de una superficie con el fin de cuantificar su rugosidad y/o el espesor de alguna película. El funcionamiento de esta técnica se basa en la medición de la textura superficial calculando la topografía de una muestra para proporcionar una imagen topográfica de su superficie. La muestra se coloca sobre la base porta muestras del equipo y la medición se hace a través de un movimiento vertical con un barrido horizontal rectilíneo de una punta de diamante, esta punta se encuentra en la parte superior y por encima de la muestra. La punta mantiene una fuerza y velocidad constante en su movimiento sobre la superficie de la muestra para determinar el espesor de la película o capa depositada (Fort *et al.*, 2013; Heterodino & Haces, 2007). Al ser una técnica para medir espesores, resulta de gran utilidad para verificar los espesores de los interdigitados metálicos. Por su parte, la Figura 1.6 ilustra un equipo de perfilometría.



Figura 1.6. Fotografía del perfilómetro Veeco Dektak 6M.

1.5.4.2 Microscopía metalográfica

La microscopía metalográfica es una técnica para la identificación y análisis de uniones de metales y otros materiales. El funcionamiento de un microscopio metalográfico está centrado en la reflexión de un haz de luz horizontal que proviene de una fuente, esta reflexión se produce por medio de un reflector de vidrio plano y de forma vertical descendente a través del objetivo del microscopio. Posteriormente, parte de la luz incidente reflejada desde la superficie de la muestra se amplifica al pasar a través del sistema inferior de lentes, llega al objetivo y sigue de forma vertical ascendente a través reflector de vidrio plano (Trejo, 2017). La técnica de microscopía metalográfica se utiliza principalmente para la determinación de calidad, análisis de materias primas y controles de estructuras (Figuroa, 2009). La Figura 1.7 muestra una imagen del microscopio descrito en esta sección.



Figura 1.7. Imagen de un microscopio metalográfico Am Scope Pz 200bb.

1.5.4.3 Voltamperometría cíclica

La voltamperometría cíclica es una técnica que proporciona información sobre el comportamiento redox de las especies, las reacciones químicas involucradas (mecanismos de reacción, reacciones químicas acopladas, entre otros) y la determinación de los parámetros termodinámicos. Con esta técnica se realizan estudios en los cuales se observa la respuesta del sistema a variaciones en parámetros como la velocidad de barrido y la concentración de algún analito de interés; mediante estos estudios es posible conocer la cinética de las reacciones o la presencia de especies intermedias en el proceso redox. Por lo tanto, se puede hacer la relación

entre las señales de corriente anódica y catódica a varias concentraciones y a diferentes velocidades de barrido. Para reacciones reversibles, debe cumplirse que la corriente de pico anódica (I_{pa}) sobre la corriente de pico catódica (I_{pc}) es igual a 1 para la electro-reducción y $I_{pc}/I_{pa}=1$ para la electro-oxidación (Banica, 2012; Martínez *et al.*, 2006).

Por ser una técnica que proporciona información sobre las reacciones químicas y el comportamiento de las especies involucradas, es de gran utilidad para los procesos de obtención del polímero de impresión molecular sobre los microelectrodos interdigitados. Vale la pena destacar que esta técnica es asistida por un potenciostato. Este equipo se encarga de suministrar el voltaje en la celda electroquímica de interés, la Figura 1.8 muestra una imagen de este quipo.



Figura 1.8. Imagen de un potenciostato/galvanostato Bio-logic VSP-300.

1.5.4.4 Microscopia electrónica de barrido

La microscopia electrónica de barrido es una técnica que proporciona información sobre la morfología de la superficie de una muestra o material. Esta técnica consiste en hacer incidir un haz de electrones sobre una muestra, y mediante un detector se colectan los electrones dispersados del haz y los emitidos por la muestra. Después, estas emisiones y dispersiones se convierten en señales electrónicas, las cuales son amplificadas, suministrando información que permite la caracterización de la muestra bajo estudio (Silvina & Ante, 2015). La interacción del haz con la muestra produce una gran variedad de emisiones; entre ellas se encuentran la reemisión de una parte de los electrones incidente (electrones retrodispersados), electrones secundarios, emisión de luz, sonido, calor, Auger y rayos X (de Jesús *et al.*, 2014). Al ser una técnica de estudio de superficies, resulta de especial interés su implementación para el estudio de la película polimérica. La Figura 1.9 ilustra un microscopio electrónico de barrido.

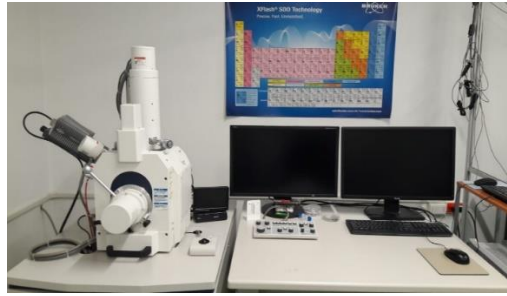


Figura 1.9. Fotografía de un microscopio electrónico de barrido Hitachi SU3500.

1.5.4.5 Espectroscopia de dispersión de energía

La espectrometría de dispersión de energía es una técnica que proporciona información sobre la composición de una muestra. Se basa en la detección de rayos X emitidos cuando un haz de electrones de alta intensidad incide sobre los materiales situados en su trayectoria, esta radiación permite identificar los elementos presentes y establecer su concentración debido a que la emisión de electrones retrodispersados depende en gran parte del número atómico de los elementos químicos presentes en la muestra a analizar. Esto implica que dos partes de la muestra que tengan distinta composición se revelan con diferente intensidad, aunque su topografía sea muy similar (Li *et al.*, 2021; Silvina & Ante, 2015). Al ser una técnica que proporciona información sobre los elementos presentes en una muestra o material, resulta de importancia para garantizar la presencia o ausencia de los elementos químicos de la muestra.

1.5.4.6 Espectroscopía Raman amplificada por superficie

La espectroscopía Raman es una técnica de espectroscopia vibracional que proporciona información detallada sobre la composición química y la estructura molecular de diferentes materiales y/o compuestos orgánicos e inorgánicos (Medina-valtierra *et al.*, 2003). El análisis mediante espectroscopia Raman se basa en hacer incidir un haz de luz monocromática de frecuencia ν_0 sobre una muestra, de la cual se desea examinar la luz esparcida para determinar sus características moleculares. La mayor parte de la luz esparcida presenta la misma frecuencia de la luz incidente pero una fracción muy pequeña presenta un cambio frecuencial como resultado de la interacción de la luz con la materia. La luz que mantiene la misma frecuencia (ν_0) que la luz incidente se conoce como Rayleigh y no aporta información sobre la composición de la muestra analizada. Por su parte, la luz esparcida que presenta frecuencias distintas ($+\nu_r$ y

$-v_r$) a la de la radiación incidente se conoce como esparcimiento Raman y es la que proporciona información sobre la composición química y estructura molecular de la muestra (Gutierrez & Otero, 2014; Medina-valtierra *et al.*, 2003).

Por su parte, la espectroscopia Raman amplificada por superficie (*SERS*), utiliza superficies metálicas para aumentar la intensidad de las señales Raman. Esto ocurre debido a que en la superficie de una nanopartícula de metal se crea un plasmón superficial localizado, esto es por las oscilaciones colectivas de los electrones de conducción. Así, la interacción de la luz láser incidente con el plasmón superficial localizado propicia una nueva radiación de mucha mayor intensidad que la inicial y que al incidir en la muestra de material produce bandas *SERS* mucho más intensas que las Raman. Para estas técnicas se han utilizado nanopartículas de metales nobles, entre los cuales destacan el Au y la plata (Ag), debido a que estos metales absorben la luz visible que se da en un rango de 400 a 700 nm y los hacen adecuados para el fenómeno de corrimiento en frecuencia (Jiang *et al.*, 2018).

La espectroscopía *SERS* tiene diversas aplicaciones, entre las cuales destaca su uso para el análisis de polímeros y el estudio de la presencia de compuestos orgánicos e inorgánicos sobre algún otro material (Gutierrez & Otero, 2014). Por lo cual resulta factible para el análisis de polímero de impresión molecular (polipirrol) y de la molécula que se desea sensar (glifosato). La Figura 1.10 ilustra el equipo utilizado para realizar la técnica descrita en esta sección.

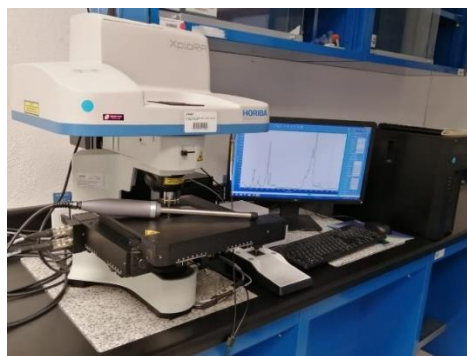


Figura 1.10. Fotografía del microscopio Raman Horiba Scientific X-plora one.

1.5.4.7 Espectroscopia de impedancia

La espectroscopía de impedancia es una técnica para investigar la respuesta de un sistema eléctrico a pequeñas perturbaciones del estado en equilibrio. Su funcionamiento está basado en

la aplicación de una perturbación senoidal de potencial eléctrico de frecuencia variable al material estudiado y el registro de la respuesta (Banica, 2012). En los últimos años, la espectroscopía de impedancia ha tenido diversas aplicaciones en el campo de la caracterización de materiales. Se utiliza de forma rutinaria en la caracterización de recubrimientos poliméricos, baterías, celdas de combustible, fenómenos de corrosión, entre otros (Keyes & Forster, 2007), y resulta de gran utilidad para la caracterización del polímero de impresión molecular con el analito de interés. Esta técnica se lleva a cabo en un equipo potenciostato/galvanostato.

1.6 Simuladores basados en el método de elementos finitos: COMSOL Multiphysics®

La simulación computacional se utiliza ampliamente para hacer análisis y mejorar la calidad de los productos y/o proyectos. La mayoría de estos análisis se llevan a cabo mediante uso de *softwares* que utilizan el método de elementos finitos, lo cual permite obtener respuestas a problemas relacionados con ecuaciones diferenciales complejas o bien, permiten hacer análisis térmico, acústico, dinámico, electromagnético, de flujos, entre otros (Giuseppe, 2016).

Su principio de funcionamiento se basa en la geometría de la pieza a simular, sometida a cargas y restricciones, se subdivide en partes más pequeñas, conocidas como “elementos”, que representan el dominio continuo del problema. En conjunto, la división de la geometría en pequeños elementos resuelve un problema complejo que, al subdividirlo en problemas más simples, esto permite a la computadora hacer las tareas con eficiencia.

El método propone que un número infinito de variables desconocidas, sean sustituidas por un número limitado de elementos de comportamiento bien definido. Esas divisiones pueden tener diferentes formas, tales como triangular, cuadrangular, rectangular, entre otros, dependiendo del tipo y tamaño del problema. Como el número de elementos es limitado, son llamados de “elementos finitos”. Los elementos finitos están conectados entre sí por puntos, que se llaman nodos. Por consiguiente, al conjunto de todos los elementos y nodos se les denomina malla. Debido a las subdivisiones de la geometría, los elementos y nodos, las ecuaciones matemáticas que rigen el comportamiento físico se resolverán de una manera aproximada por este método numérico. Por lo cual, la precisión de los métodos de elementos finitos depende del número de nodos y elementos, del tamaño y de los tipos de elementos de la malla. Por lo tanto, cuanto menor sea el tamaño y mayor el número de elementos en una malla, más precisos serán los

resultados del análisis que se está analizando en el modelado de simulación (Giuseppe, 2016). Algunos *softwares* que dan solución a problemas por el método de elementos finitos son: COMSOL Multiphysics®, Lumerical®, Coventor®. A continuación, realiza la descripción de COMSOL Multiphysics®.

El *software* COMSOL Multiphysics® es una herramienta de modelado y análisis para prototipaje virtual de fenómenos físicos. Este software puede modelar virtualmente cualquier fenómeno físico que se pueda describir con ecuaciones diferenciales parciales, incluyendo transferencia de calor, movimiento de fluidos, electromagnetismo y mecánica estructural, soportando la integración de problemas de diferentes campos (COMSOL, 2021).

Por otra parte, las prestaciones de multifísica integradas en COMSOL Multiphysics® capacitan al usuario para simultáneamente modelar cualquier combinación de fenómenos, como los mencionados en el párrafo anterior. A través de estas prestaciones, COMSOL Multiphysics® integra y permite combinar las dos formas posibles de modelar: a través de aplicaciones predefinidas que permiten crear el modelo fijando las cantidades físicas que caracterizan el problema y a través de las ecuaciones que modelan el problema (COMSOL, 2021).

Referencias

- Aguirre, M. del C., Urreta, S. E., & Gomez, C. G. (2019). A Cu²⁺-Cu/glassy carbon system for glyphosate determination. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 284, 675–683. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2018.12.124>
- Alza-Camacho, W., García-Colmenaes, J., & Chaparro-Acuña, S. (2016). Determinación voltamétrica de paraquat y glifosato en aguas superficiales. *Corpoica Ciencia Tecnológica Agropecuaria*, 17(3), 331–345.
- Banica, F.-G. (2012). *Chemical Sensors and Biosensors Chemical Sensors and Biosensors* (primera). Wiley.
- Benbrook, C. M. (2016). Trends in glyphosate herbicide use in the United States and globally. *Environmental Sciences Europe*, 28(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/s12302-016-0070-0>
- Bohórquez, D. (2020). Métodos analíticos para la determinación de glifosato en matrices ambientales. *Universidad Nacional de Colombia*.

- College, O. M., Road, M. E., & El, L. (1988). Electropolymerized on Different Electrodes *. *Structure*, 29, 1709–1717.
- COMSOL. (2021). *COMSOL - Software for Multiphysics Simulation*. <https://www.comsol.com/>
- Consejo de la Unión Europea. (1998). Directiva 98/83/CE del Consejo. *Official Journal of the European Communities*, L 330, 32–54. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex:31998L0083>
- Crapnell, R. D., Hudson, A., Foster, C. W., Eersels, K., van Grinsven, B., Cleij, T. J., Banks, C. E., & Peeters, M. (2019). Recent advances in electrosynthesized molecularly imprinted polymer sensing platforms for bioanalyte detection. *Sensors (Switzerland)*, 19(5). <https://doi.org/10.3390/s19051204>
- de Jesús, S., Peet, J., & Rodríguez, J. (2014). Caracterización de Nanofibras de Óxido de Vanadio sintetizadas por el método de Electrohilado [CIMAV]. In *Centro de Investigación en materiales avanzados* (Vol. 1). <http://www.springer.com/series/15440%0Apapers://ae99785b-2213-416d-aa7e-3a12880cc9b9/Paper/p18311>
- Del Cacho, C. (2009). *Polimeros de impresion molecular para la determinacion de insecticidas*. Universidad complutensed de Madrid.
- Do, M. H., Florea, A., Farre, C., Bonhomme, A., & Bessueille, F. (2019). *Sensor electroquímico a base de polímero impreso molecularmente para la detección sensible del herbicida glifosato*. 1–6.
- Do, M. H., Florea, A., Farre, C., Bonhomme, A., Vocanson, F., & Jaffrezic-renault, N. (2015). Molecularly imprinted polymer-based electrochemical sensor for the sensitive detection of glyphosate herbicide. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 95(15), 1489–1501. <https://doi.org/10.1080/03067319.2015.1114109>
- Elejalde, J. (2001). Estrés oxidativo, enfermedades y tratamientos antioxidantes. *Anales de Medicina Interna*, 18. https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-71992001000600010
- Figueroa, H. (2009). *Guía práctica de análisis metalográfico para el aluminio y el cobre, en el laboratorio de metalografía de la escuela de ingeniería mecánica de la Universidad de*

San Carlos de Guatemala.

- Fort, R., Álvarez, M., Vázquez, M. C., & Gómez, L. (2013). Análisis de la microrugosidad mediante técnicas portátiles : aplicaciones y casos de estudio en patrimonio. *La Ciencia y El Arte, IV: Ciencias Experimentales y Conservación Del Patrimonio.*, 198–216.
- Ghasemi, A., Azzouz, R., Laipple, G., Kabak, K. E., & Heavey, C. (2020). Optimizing capacity allocation in semiconductor manufacturing photolithography area – Case study: Robert Bosch. *Journal of Manufacturing Systems*, 54, 123–137. <https://doi.org/10.1016/J.JMSY.2019.11.012>
- Giuseppe, M. (2016). *Método de los elementos finitos: ¿qué es?* <https://www.esss.co/es/blog/metodo-de-los-elementos-finitos-que-es/>
- Gómez, V., Torres, A., Castillo, ; Edgar, & Velázquez, M. (2014). *Caracterización del Proceso de Fabricación y Medición de Detectores de Inductancia Cinética.*
- Gress, S., Lemoine, S., Séralini, G. E., & Puddu, P. E. (2015). Glyphosate-Based Herbicides Potently Affect Cardiovascular System in Mammals: Review of the Literature. *Cardiovascular Toxicology*, 15(2), 117–126. <https://doi.org/10.1007/s12012-014-9282-y>
- Gutierrez, V., & Otero, J. (2014). *Espectroscopía Raman : Fundamento y aplicaciones* (Issue August 2015). <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.5015.5362>
- Hernández, R., & Martínez, Y. (2004). *Electroquímica Energía y Ambiente*. 91. http://www.saber.ula.ve/bitstream/handle/123456789/16741/energia_ambiente.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Heterodino, I., & Haces, D. E. T. (2007). *Presenta M. en I. Lorenzo Juárez Palafox*. 1–52.
- Jiang, Y., Sun, D. W., Pu, H., & Wei, Q. (2018). Surface enhanced Raman spectroscopy (SERS): A novel reliable technique for rapid detection of common harmful chemical residues. *Trends in Food Science & Technology*, 75, 10–22. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2018.02.020>
- Keyes, T. E., & Forster, R. J. (2007). Spectroelectrochemistry. In *Handbook of Electrochemistry*. <https://doi.org/10.1016/B978-044451958-0.50027-6>
- Klingelhöfer, D., Braun, M., Brüggmann, D., & Groneberg, D. A. (2021). Glyphosate: How do

- ongoing controversies, market characteristics, and funding influence the global research landscape? *Science of the Total Environment*, 765, 144–271. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144271>
- Krimsky, S. (2021). Can Glyphosate-Based Herbicides Contribute to Sustainable Agriculture? *Sustainability*.
- Lab-Volt. (2001). Sensores. In *Conference Record - IAS Annual Meeting (IEEE Industry Applications Society)* (primera, Vol. 2, Issue 7). Lab-Volt. <https://doi.org/10.1109/ias.2003.1257626>
- Li, C., Wang, D., & Kong, L. (2021). Application of Machine Learning Techniques in Mineral Classification for Scanning Electron Microscopy - Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDS) Images. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 200, 108178. <https://doi.org/10.1016/J.PETROL.2020.108178>
- Martín, E. (2020). Antología toxicológica del glifosato. In *Antología toxicológica del glifosato* (quinta ed., pp. 58, 68, 201). Naturaleza de Derechos. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Martínez, Y., Hernández, R., & Ortíz, R. (2006). *Laboratorio de Análisis Instrumental: Prácticas de Electroanalítica*.
- Mazouz, Z., Touchente, Z. A., Laradi, H., Fourati, N., Yaakoubi, N., Touzani, R., Chehimi, M. M., Kalfat, R., Othmane, A., & Zerrouki, C. (2017). Design of Novel Electrochemical Sensors for the Selective Detection of Glyphosate. *Proceedings*, 1(10). <https://doi.org/10.3390/proceedings1040483>
- Medina-valtierra, J., Sato-Berru, R., & Fausto-Reyes, C. (2003). La Espectroscopia Raman molecular y su aplicación ambiental. *Instituto Tecnológico de Aguascalientes*.
- Montalvo, R., Salinas, M., Becerra, E., & Barrón, A. (2013). *Química Orgánica: Introducción a la química heterocíclica* (segunda, Issue 311).
- Safaa, J., Dimaki, M., Mortensen, J., & Svendsen, W. E. (2018). Detection of Glyphosate in Drinking Water: A Fast and Direct Detection Method without Sample Pretreatment. *Sensors*, 18. <https://doi.org/10.3390/s18092961>

- Sasaki, Y., Asano, K., Minamiki, T., Takizawa, S., Kubota, R., & Minami, T. (2020). A Water-Gated Organic Thin-Film Transistor for Glyphosate Detection: A Comparative Study with Fluorescence Sensing. *Chemistry A European Journal*. <https://doi.org/10.1002/chem.202003529>
- Sierra, E. V., Méndez, M. A., Sarria, V. M., & Cortés, M. T. (2008). Electrooxidación de glifosato sobre electrodos de níquel y cobre. *Química Nova*, *31*(2), 220–226. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422008000200006>
- Silvina, A., & Ante, F. (2015). *Síntesis de nanoestructuras metálicas depositadas sobre grafito pirolítico altamente Estudio de sus propiedades electrocatalíticas*.
- Tang, Q., Tang, J., Ren, X., & Li, C. (2020). Glyphosate exposure induces inflammatory responses in the small intestine and alters gut microbial composition in rats. *Environmental Pollution*, *261*, 114–129. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114129>
- Trejo, J. (2017). *Conversión de Microscopio Metalográfico Convencional en Innovador Microscopio Metalográfico Digital*.
- Valavanidis, A. (2018). Glyphosate : the World ' S Most Widely Used Herbicide. In *University of Athens* (Issue March).
- Wei, X., Gao, X., Zhao, L., Peng, X., Zhou, L., Wang, J., & Pu, Q. (2013). Fast and interference-free determination of glyphosate and glufosinate residues through electrophoresis in disposable microfluidic chips. *Journal of Chromatography A*, *1281*, 148–154. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2013.01.039>
- Xu, J., Zhang, Y., Wu, K., Zhang, L., Ge, S., & Yu, J. (2017). A molecularly imprinted polypyrrole for ultrasensitive voltammetric determination of glyphosate. *Microchimica Acta*, *184*(7), 1959–1967. <https://doi.org/10.1007/s00604-017-2200-9>
- Zhang, C., She, Y., Li, T., Zhao, F., Jin, M., Guo, Y., Zheng, L., Wang, S., Jin, F., Shao, H., Liu, H., & Wang, J. (2017). A highly selective electrochemical sensor based on molecularly imprinted polypyrrole-modified gold electrode for the determination of glyphosate in cucumber and tap water. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, *409*(30), 7133–7144. <https://doi.org/10.1007/s00216-017-0671-5>
- Zhang, W., Feng, Y., Ma, L., An, J., Zhang, H., Cao, M., Zhu, H., Kang, W., & Lian, K. (2019).

Estas páginas fueron eliminadas debido a que su contenido es información clasificada como confidencial de acuerdo con el Artículo 113 fracción II de la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública 2021, y con el Artículo 116 de la Ley General de Transparencia y Acceso a la Información Pública 2021.

Anexo A

En esta sección se presenta la constancia de participación en el XXIX *International Materials Research Congress*.



Sociedad Mexicana
de Materiales A.C.

August 2021

TO WHOM IT MAY CONCERN

P r e s e n t

This is to certify that *Diana Jiménez-Rivas, José Herrera-Celis, Francisco Mherande Cuevas Muñiz* presented the contribution: **SIMULATION OF A MOLECULAR IMPRINTING POLYMER COUPLED TO INTERDIGITATED MICROELECTRODES AS SENSOR PLATFORM FOR GLYPHOSATE DETECTION** as **Oral** modality, in the *E5. Micro and Nanofabrication of Biosensors, Lab-on-a-Chip, Organs-on-a-Chip, BioMEMS* Symposium at the **XXIX International Materials Research Congress** held in Cancun, Mexico from August 15th to 20th, 2021.

Sincerely,

Patricia del Carmen Zambrano Robledo
President

