



**INVESTIGACIÓN SOBRE LOS RECURSOS  
NATURALES DEL NOROESTE DE MÉXICO,  
PARA EL BIENESTAR COMUNITARIO**



**ALFREDO ORTEGA-RUBIO**

**Coordinador**

***INVESTIGACIÓN SOBRE LOS RECURSOS  
NATURALES DEL NOROESTE DE  
MÉXICO, PARA EL BIENESTAR  
COMUNITARIO***

***Alfredo Ortega-Rubio***

***Coordinador***

***CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS DEL  
NOROESTE S.C. (CIBNOR) LA PAZ,  
B.C.S. MÉXICO, 2025***

***Investigación sobre los recursos naturales del noroeste de México, para el bienestar comunitario.*** Ortega-Rubio Alfredo. (Coordinador). 2025. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. La Paz, Baja California Sur. México. 547 pág: il; 55.

© Derechos Reservados

**Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.**

Instituto Politécnico Nacional # 195. Col. Playa Palo de Santa Rita Sur  
C.P. 23096. La Paz, Baja California Sur. México.

Todos los derechos reservados. El contenido de esta publicación se puede reproducir parcialmente únicamente con autorización previa por escrito de los autores de cada Capítulo y siempre y cuándo se den los créditos correspondientes a los mismos y al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

Las opiniones expresadas por los autores (Textos, Tablas, Figuras y Fotografías) no necesariamente reflejan la postura de la institución editora de la publicación.

Diseño Gráfico y Editorial. Alfredo Ortega-Rubio. Fotografía de la Portada. Rubén Andrade.

Primera Edición. Octubre 2025.

**ISBN: 978-607-7634-51-5**

Publicación de investigación del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C.

### **Preparación de este documento:**

La edición del libro “*Investigación sobre los recursos naturales del noroeste de México, para el bienestar comunitario*”, estuvo a cargo del Dr. Alfredo Ortega-Rubio. En este libro se describen las principales contribuciones que el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., (CIBNOR), ha aportado en la generación de conocimiento, formación de recursos humanos, y apropiación social del conocimiento científico, enfatizando su incidencia en el bienestar social.

### **Agradecimientos:**

El Coordinador de esta obra agradece a todas y todos las y los Coautores de esta obra, por compartir con la sociedad las aportaciones que en sus distintas actividades han generado para el bienestar de las comunidades humanas del noroeste de México, especialmente las más vulnerables. Asimismo, agradece al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste por la oportunidad de permitirnos generar, a través de los resultados de nuestras investigaciones científicas, alternativas viables con pertinencia social y ambiental, que realmente han sido aplicadas en beneficio de nuestra sociedad, quien es la que nos financia y a quien nos debemos.

### **Para citar esta obra:**

**Ortega-Rubio Alfredo. (Coordinador). 2025. *Investigación sobre los recursos naturales del noroeste de México, para el bienestar comunitario*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. La Paz, B.C.S. México. 547 pp.**

**INVESTIGACIÓN SOBRE LOS RECURSOS NATURALES  
DEL NOROESTE DE MÉXICO, PARA EL BIENESTAR  
COMUNITARIO**

**ÍNDICE**

**PRÓLOGO**

*María Elena Álvarez-Buylla Roces \** 1

**PREFACIO**

*José Alejandro Díaz Méndez \** 3

**SECCIÓN I  
INTRODUCCIÓN**

**CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN**

*José Alfredo Arreola Lizárraga \* y Alfredo Ortega-Rubio* 7

**SECCIÓN II  
PROGRAMAS ACADÉMICOS**

**CAPÍTULO 2. APORTACIONES HISTÓRICAS DEL PROGRAMA  
ACADÉMICO DE PLANEACIÓN AMBIENTAL Y  
CONSERVACIÓN AL BIENESTAR COMUNITARIO**

*Alejandro López Cortés \** 15

<b>CAPÍTULO 3. APORTACIONES HISTÓRICAS DEL PROGRAMA DE AGRICULTURA EN ZONAS ÁRIDAS AL BIENESTAR COMUNITARIO</b>	
<i>Luis Guillermo Hernández Montiel *</i>	39
<b>CAPÍTULO 4. APORTACIONES HISTÓRICAS DEL PROGRAMA DE ACUICULTURA Y SU IMPACTO EN EL BIENESTAR COMUNITARIO</b>	
<i>Carolina Casanova-Valero, Héctor Acosta-Salmon, Perla Sol Cervantes-Bernal y Danitzia Adriana Guerrero-Tortolero*</i>	55
<b>CAPÍTULO 5. APORTACIONES HISTÓRICAS DEL PROGRAMA DE ECOLOGÍA PESQUERA COMO VÍNCULO VITAL AL BIENESTAR SOCIAL</b>	
<i>Crisalejandra Rivera-Pérez *</i>	77

### **SECCIÓN III**

#### **UNIDADES FORÁNEAS**

<b>CAPÍTULO 6. LA UNIDAD FORÁNEA GUERRERO NEGRO: HISTORIA, HUMANISMO Y VINCULACIÓN</b>	
<i>Raúl López Aguilar *, Rogelio Ramírez Serrano†, Rigoberto López Amador, Andrés Orduño Cruz y Marco Antonio Ramírez Mosqueda</i>	99
<b>CAPÍTULO 7. CONTRIBUCIÓN AL BIENESTAR COMUNITARIO DE LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DESARROLLO TECNOLÓGICO PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS NATURALES DE LA UNIDAD HERMOSILLO</b>	
<i>Juan Bautista Vega Peralta * y José Arturo Sánchez-Paz</i>	117
<b>CAPÍTULO 8. UNIDAD GUAYMAS: UNA TRAYECTORIA DE QUEHACER CIENTÍFICO CON COMPROMISO SOCIAL</b>	
<i>José Alfredo Arreola Lizárraga *</i>	133

**CAPÍTULO 9. APORTACIONES DE LA UNIDAD NAYARIT AL BIENESTAR COMUNITARIO**

*Alfonso Nivardo Maeda-Martínez \*, Rodolfo Navarro-Murillo, Ricardo García-Morales, Luis Daniel Espinosa-Chaurand, Rosa María Morelos-Castro y Rodolfo Garza-Torres*

149

**SECCIÓN IV  
CASOS DE ESTUDIO DEL PROGRAMA DE PLANEACIÓN AMBIENTAL Y CONSERVACIÓN**

**CAPÍTULO 10. VALORACIÓN ECONÓMICA DE RECURSOS GENÉTICOS ASOCIADOS A CONOCIMIENTOS TRADICIONALES EN BAJA CALIFORNIA SUR, MÉXICO**

*Gerzaín Avilés-Polanco, Luis Felipe Beltrán-Morales\* y Alfredo Ortega-Rubio*

175

**CAPÍTULO 11. CONTRIBUCIONES DE LOS MANGLARES DEL NOROESTE DE MÉXICO, PARA EL BIENESTAR COMUNITARIO**

*Patricia González-Zamorano\*, Giovanni Ávila-Flores, Blanca Estela Romero López, Jonathan Giovanni Ochoa-Gómez, Mercedes Marlenne Manzano-Sarabia, Joanna Acosta-Velázquez y José Alfredo Arreola-Lizárraga*

191

**CAPÍTULO 12. COSTAS DEL NOROESTE DE MÉXICO**

*Saúl Chávez López \* y Miguel Ángel Imaz Lamadrid*

221

**CAPÍTULO 13. AGROQUÍMICOS Y SUS EFECTOS EN LA SALUD HUMANA**

*Gerardo Alfonso Anguiano Vega, Estela Ruiz Baca, Jesús Ricardo Parra Unda, Jaime Rendón von Osten, María Guadalupe Nieto Pescador y Celia Vázquez Boucard\**

243

**CAPÍTULO 14. APROVECHAMIENTO SUSTENTABLE DEL  
BORREGO CIMARRÓN, POR COMUNIDADES EJIDALES DE  
BAJA CALIFORNIA SUR.**

*Israel Guerrero-Cárdenas\*, Rafael Ramírez-Orduña, Gustavo  
Arnaud, Guillermo Romero-Figueroa, José Ángel  
Armenta-Quintana y Fany Reyes-Bolaños.*

261

**SECCIÓN V  
CASOS DE ESTUDIO DEL PROGRAMA DE  
ECOLOGÍA PESQUERA**

**CAPÍTULO 15. VALORIZACIÓN DE PRODUCTOS PESQUEROS  
DEL NOROESTE DE MÉXICO**

*Julio Humberto Córdova Murueta, Norma Y. Hernández  
Saavedra y Crisalejandra Rivera Pérez\**

295

**CAPÍTULO 16. APROVECHAMIENTO DE LA MEDUSA BOLA DE  
CAÑÓN EN EL NOROESTE DE MÉXICO, LA PESQUERÍA Y  
SU DIMENSIÓN HUMANA EN EL CONTEXTO DE LA CRISIS  
DEL SECTOR RIBEREÑO**

*Juana López Martínez, Eloísa Herrera Valdivia, Cintya A.  
Nevárez López \*, Rufino Morales Azpeitia, Javier Álvarez  
Tello y Edgardo B. Farach Espinoza*

319

**CAPÍTULO 17. INVASIÓN DE ASCIDIAS SOBRE BANCOS DE  
HACHAS EN LA BAHÍA DE LA PAZ, BCS**

*Moreno-Dávila Betzabé y Leonardo Huato-Soberanis\**

339

**CAPÍTULO 18. ESTUDIOS GENÉTICOS PARA LA CONSERVACIÓN  
Y MANEJO DE RECURSOS PESQUEROS EN EL NOROESTE  
DE MÉXICO: CASO DE ESTUDIO PESQUERÍA DE ABULÓN.**

*Jorge Alberto Mares-Mayagoitia, Carmen Elvira Vargas-Peralta,  
Paulina Mejía-Ruíz, Fabiola Lafarga-de-la-Cruz, Fausto  
Valenzuela-Quiñonez\**

363

<b>CAPÍTULO 19. IMPACTO SOCIAL DE LA PESCA EN LAS COMUNIDADES LITORALES DEL ALTO GOLFO DE CALIFORNIA</b>	
<i>Eugenio Alberto Aragón-Noriega *</i>	385

<b>CAPÍTULO 20. LA PESCA COMO DETONANTE DEL BIENESTAR COMÚN DEL PUEBLO YAQUI.</b>	
<i>Edgar Alcántara-Razo*, Jesús Guadalupe Padilla-Serrato, Eugenio Alberto Aragón-Noriega y Guillermo Ismael Padilla-Serrato</i>	405

<b>CAPÍTULO 21. EL CALLO DE HACHA: BIOLOGÍA Y BASES PARA UN MANEJO SUSTENTABLE</b>	
<i>Mercedes Magali Gómez Valdez * y Lucía Ocampo</i>	431

**SECCIÓN VI**  
**CASOS DE ESTUDIO DEL PROGRAMA DE**  
**AGRICULTURA DE ZONAS ÁRIDAS**

<b>CAPÍTULO 22. CULTIVANDO EL FUTURO DE LAS ETNIAS DEL NOROESTE DE MÉXICO CON CIENCIA AGRÍCOLA Y BIENESTAR COMUNITARIO</b>	
<i>Gracia Alicia Gómez Anduro *, David Raúl López Aguilar, Julio Antonio Hernández, Efraín Payan Cázares y José Manuel Melero Astorga</i>	455

<b>CAPÍTULO 23. MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO EN LOS SISTEMAS AGROACUÍCOLAS</b>	
<i>Yenitze Elizabeth Fimbres Acedo y Rodolfo Garza Torres *</i>	471

**CAPÍTULO 24. RECURSOS VEGETALES EMERGENTES PARA LA  
AGRICULTURA DE ZONAS ÁRIDAS ANTE EL  
AGOTAMIENTO HÍDRICO Y EL CAMBIO CLIMÁTICO**

*Joselyn Seminario Peña, Alejandra Nieto Garibay \*, Enrique  
Trovo Diéguez y Bernardo Amador Murillo*

505

**SECCIÓN VII  
CONCLUSIONES**

**CAPÍTULO 25. CONCLUSIONES**

*Luis Felipe Beltrán Morales \* y Alfredo Ortega Rubio*

531

## **PRÓLOGO**

Este libro integra investigaciones de diversos sistemas socioecológicos en ambientes terrestres, marinos y costeros del Noroeste de México. Refleja la calidad, diversidad y profundidad de las investigaciones que se llevan a cabo en uno de los más importantes Centros de Investigación de la Región: el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. CIBNOR, coordinado por el CONAHCYT.

Un grupo destacado de investigadores de este Centro Público del CONAHCYT resume sus resultados de sistemas agrícolas, de explotación de algunos recursos marinos, de manglares, hasta de microorganismos, entre otros. Todas las investigaciones reseñadas en este libro se han desarrollado con un claro compromiso social y se han desarrollado con rigor científico. Los resultados de los estudios integrados en este volumen son relevantes para la conservación, uso, manejo y aprovechamiento de importantes recursos naturales de la región Noroeste. El CIBNOR ha sido un faro de conocimiento y catalizador para el avance de las ciencias socio-ambientales en la Región y en el país.

Algunos de los resultados sintetizados en este libro, se podrán usar para elaborar propuestas más concretas de mayor incidencia en diversas comunidades a favor de la conservación de sus ecosistemas, de la biodiversidad regional, y también de la calidad de vida de sus comunidades, sobre todo, las más vulnerables. A partir de los estudios resumidos acá, se podrán, por ejemplo, elaborar planes de manejo, de explotación o conservación relevantes para la Región, en colaboración con las comunidades locales y los distintos niveles de gobierno.

**Dra. María Elena Álvarez-Buylla Roces**

**Directora General del CONAHCYT.**

**Cd. de México, a 16 de junio, 2024**

# PREFACIO

A casi medio siglo de su creación, el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C (Cibnor-Conahcyt) ha mostrado su compromiso no solo con la generación de conocimiento de alto rigor y la formación de especialistas científicos, sino con la atención de problemáticas sociales y ambientales orientadas a la conservación y aprovechamiento de recursos naturales, por el sector social y productivo del Noroeste de México, impulsando también, desde uno de los territorios más aislados, la conciencia social sobre el cuidado de medio ambiente.

En el trabajo que han desarrollado a lo largo de los años, las y los investigadores del Cibnor, encontramos bosquejos de lo que en la nueva Ley General en Materia de Humanidades, Ciencias, Tecnologías e Innovación, se garantiza como derecho humano a la ciencia, con el fin de que toda persona goce de los beneficios del desarrollo científico y tecnológico y de otros derechos humanos facilitados por el ejercicio de las humanidades, ciencias, tecnologías e innovación, con un enfoque centrado en la persona, que incluya la preservación y protección del ambiente, pues es de esta forma, como el pueblo de México puede acceder al bienestar.

Este libro que nos entrega el Cibnor, arroja luz sobre el excepcional trabajo llevado a cabo por las y los investigadores de este Centro Conahcyt, a lo largo de su historia. En sus líneas se encontrará como lugar común el diálogo de saberes, y con diferentes actores sociales que enriquecen el quehacer científico desarrollado en muchas ocasiones en el territorio, como el lugar de encuentro natural. La obra es más que un compendio de aportes y resultados de investigación, son testimonio del compromiso incansable de su personal científico, tecnológico y administrativo que han convertido a Cibnor-Conahcyt en una referencia nacional, indiscutible, en ciencias biológicas y en el uso, manejo y preservación de los recursos naturales.

Asimismo, esta obra es un homenaje a las Unidades Foráneas de Cibnor-Conahcyt que han nacido en varias ciudades de nuestro país convirtiéndose en motores que impulsan la búsqueda de respuestas a las preguntas más apremiantes de su entorno socio-ecológico relacionado con problemáticas regionales y locales. Temas comunes son el agua; la alimentación; la producción y el impacto ambiental de las actividades productivas como la agrícola, pecuaria y pesca; el valor de los conocimientos tradicionales; el impacto del cambio climático en los ecosistemas, entre otros temas, que se cruzan con los Programas Nacionales Estratégicos del Conahcyt, en la búsqueda de soluciones integrales que tengan incidencia en el mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades y el bienestar de las personas.

Desde Conahcyt reconocemos el trabajo que se realiza en el Cibnor-Conahcyt y deseamos que esta obra contribuya a la reflexión del bien que representa la ciencia, cuando su interés es el bien público, el bien común.

**Dr. José Alejandro Díaz Méndez**

**Titular de la Unidad de Articulación Sectorial y Regional, CONAHCYT.**

**Cd. de México, a 16 de junio, 2024**

## **CAPÍTULO 13**

### **Agroquímicos y sus efectos en la salud humana**

Gerardo Alfonso Anguiano Vega, Estela Ruiz Baca, Jesús Ricardo Parra Unda,  
Jaime Rendón von Osten, María Guadalupe Nieto Pescador  
y Celia Vázquez Boucard \*

cboucard04@cibnor.mx

#### **Resumen**

El uso intensivo de compuestos químicos potencialmente tóxicos para el ambiente y la salud humana es una problemática de gran interés para los gobiernos y la sociedad en general. En la industria agrícola se emplean una gran variedad de compuestos químicos como fertilizantes y plaguicidas. Este capítulo aborda en forma general las principales características químicas, biológicas, tóxicas y ambientales de los plaguicidas; enfocándose en los efectos secundarios y dañinos que estos generan, como: enfermedades graves y alteraciones de regulación génica y en el ciclo celular; entre otras. Adicionalmente se describen algunas de las estrategias y herramientas utilizadas para reconocer e identificar estos compuestos; en muestras ambientales (agua y suelo) y de individuos (sangre, orina, etc.); aborda el uso de biomarcadores moleculares y de las ciencias “ómicas”. Finalmente, este trabajo incluye la descripción de trabajos recientes realizados en el análisis e identificación de residuos de plaguicidas, efecto generado en biomarcadores moleculares y la identificación de moléculas nuevas que puedan funcionar como biomarcadores. Todos estos trabajos fueron realizados en una población urbano/rural con intensa actividad agrícola y turística, perteneciente al municipio de La Paz. Enfocados en la protección de la población laboral, infantil y residente en Todos Santos, BCS.

**Palabras Clave:** Plaguicidas, Biomarcadores moleculares, Contaminación ambiental, Daño genotóxico, Polimorfismos de susceptibilidad, Epigenética.

## **Abstract**

The intensive use of chemical compounds potentially toxic to the environment and human health is a problem of great interest to governments and society in general. In the agricultural industry, a wide variety of compounds are used as fertilizers and pesticides. This chapter is addressed the main chemical, biological, toxic and environmental characteristics of pesticides; focusing on the secondary and harmful effects that these generate, such as: serious diseases and alterations in gene regulation and the cell cycle; among other. Additionally, some of the strategies and tools used to recognize and identify these compounds are described; in environmental samples (water and soil) and from individuals (blood, urine, etc.); addresses the use of molecular biomarkers and “omics” sciences. Finally, this work includes the description of recent studies carried out in the analysis and identification of pesticide residues, the effect generated in molecular biomarkers and the identification of new molecules that can function as biomarkers. All these works were carried out in an urban/rural population with intense agricultural and tourist activity, belonging to the municipality of La Paz. Focused on the protection of the working population, children and residents in Todos Santos, BCS.

**Keywords:** Pesticides, Molecular biomarkers, Environmental pollution, Genotoxic damage, Susceptibility polymorphisms, Epigenetics.

## **Introducción:**

Si bien la industrialización y el desarrollo tecnológico que caracterizan la era actual han traído grandes beneficios para el hombre, también lo exponen a una gran cantidad de productos químicos que pueden inducir problemas graves. La actividad agrícola es ejemplo de esta situación; los agroquímicos utilizados en la producción de alimentos son insumos importantes para conseguir los niveles de producción mundial; sin embargo, la liberación y exposición de estos productos en el entorno natural generan severos problemas de contaminación que afecta a las poblaciones humanas y silvestres (Tudi et al., 2021).

Cada año, se producen millones de muertes en todo el mundo debido a la exposición a contaminantes causantes de diversas enfermedades. La exposición laboral y habitacional, el consumo de alimentos y agua contaminada; han sido descritos como factores de riesgo en el desarrollo de enfermedades crónicas en humanos. Lo que constituye una importante señal de alarma respecto al uso y exposición de las poblaciones a estos químicos (Curl et al., 2020).

Ante esta problemática, el desarrollo y la aplicación de las tecnologías “ómicas” (genómica, proteómica, transcriptómica, etc.) se han convertido en una poderosa estrategia para estudios ambientales y epidemiológicos; permitiendo constatar la asociación existente entre la presencia de algunos agroquímicos con daño generado a nivel celular o molecular en diversas biomoléculas o biomarcadores (Rodríguez et al., 2020).

Estos biomarcadores permiten reconocer efectos bioquímicos, genotóxicos, genéticos, epigenético o de alteración proteica en poblaciones expuestas a diversos agroquímicos. En algunos casos la presencia y exposición a estos compuestos impactan la regulación de la expresión génica, aumentando o disminuyendo la respuesta de la célula a la exposición y alterando la fisiología normal del organismo (Gangumi et al., 2016).

Las alteraciones ambientales dadas por la presencia de factores químicos, físicos o biológicos pueden considerarse una amenaza a la salud pública y la vulnerabilidad estaría dada en términos de la incapacidad de la población para responder a la presencia de dichos contaminantes ambientales.

### **Características y clasificación toxicológica de los plaguicidas**

Los plaguicidas sintéticos son sustancias que se diseñaron para matar a una especie o a un taxón biológico considerado plaga. Los tres grandes grupos de plaguicidas que se emplean de manera extensiva e intensiva en el mundo son los herbicidas, insecticidas y fungicidas. Una sustancia química se considera tóxica cuando se manifiesta un efecto adverso en el organismo expuesto. Dicha toxicidad depende de la conjunción de tres factores: el tipo de compuesto (plaguicida), el organismo (especie) y el lapso de exposición (tiempo) (Tudi et al., 2021).

Una manera de medir la toxicidad de un compuesto es la dosis letal media ( $DL_{50}$ ), que es la cantidad del compuesto necesario para matar al 50% de la población expuesta al tóxico dentro de un lapso de tiempo (máximo 96 hrs). La  $DL_{50}$  se emplea para el registro de las sustancias químicas como los plaguicidas y es un requisito necesario para su autorización y comercialización. Sin embargo, esta medición no aporta información sobre los efectos tóxicos a mediano y largo plazo, ni los efectos patológicos no letales ocasionados en los individuos.

Debido a lo anterior organismos internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (SGA) propusieron una clasificación por nivel de riesgo o peligro para la salud o el ambiente.

## **INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO COMUNITARIO**

Conforme a los sistemas de clasificación propuestos por la OMS y SGA, de acuerdo a su toxicidad, los plaguicidas se clasifican como: 1) toxicidad aguda, 2) efecto a largo plazo y 3) peligrosidad ambiental (Tudi et al., 2021). Por ejemplo: los plaguicidas con toxicidad aguda alta son compuestos clasificados como extremadamente peligrosos (Clase Ia), altamente peligrosos (Clase Ib) y mortal si se inhala (H330) de acuerdo a la SGA.

Los plaguicidas con efectos a largo plazo son los que la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer (IARC) y la Agencia de Protección al Ambiente de los Estados Unidos (US EPA) los clasifican como: agente carcinógeno, probable carcinógeno o posible carcinógeno humano; además de las sustancias que inducen mutaciones hereditarias en las células germinales de seres humanos o que son adversas para la reproducción humana (alteración endócrina). Aunque también se deben incluir a los plaguicidas que tienen efectos mutagénicos (modificación de genes), teratogénicos (efectos sobre desarrollo embrionario) y sobre los sistemas nervioso o inmunológico, entre otros.

Es importante señalar que un compuesto puede tener más de un efecto adverso dependiendo del tiempo de exposición y de la especie. Por ejemplo, el clorpirifós es un insecticida organofosforado muy utilizado, y el principal modo de acción toxicológica es la inhibición de la enzima acetilcolinesterasa (sistema nervioso), sin embargo, están muy bien documentados sus efectos como: disruptor endócrino, alteraciones del comportamiento y teratogénico en peces (Ubaid et al., 2021).

Los plaguicidas que se clasifican con criterios de peligrosidad ambiental son los que presentan alta toxicidad hacia especies animales domésticas o silvestres como las abejas y organismos acuáticos, además de ser muy bioacumulables y tener alta persistencia en el medio (vida media prolongada) en agua, suelo o sedimento. Un caso notable es el grupo de insecticidas neonicotinoides ya que son extremadamente tóxicos para las abejas (polinizadores vitales), aun cuando estos

## **AGROQUÍMICOS Y SUS EFECTOS**

compuestos tienen una toxicidad muy baja para los mamíferos, incluidos los humanos. Debido a lo anterior en 2018 la Unión Europea prohibió el uso de tres neonicotinoides (Auteri et al., 2017).

Una parte fundamental para establecer el impacto que tienen los plaguicidas sobre la salud humana es la evidencia epidemiológica. Los estudios epidemiológicos son de índole observacional y existen principalmente tres tipos: 1) estudio de casos y controles, 2) estudio transversal y 3) estudio de cohorte. En los estudios de casos y controles, se identifican individuos con o sin una enfermedad específica y luego se mide la exposición a plaguicidas en cada persona. En los estudios transversales, se evalúa la exposición individual y la enfermedad en un momento determinado o durante un período corto y definido. En los estudios de cohorte, se realiza un seguimiento a lo largo del tiempo de un grupo de individuos que comparten una característica común, por ejemplo: ser trabajador de campo y a la vez se registra la exposición y las enfermedades individuales que puedan surgir en el grupo (Hernández, 2017).

Al investigar los efectos sobre la salud asociados con una exposición particular se deben probar hipótesis biológicamente plausibles, esto es, evaluar la causalidad entre la exposición a plaguicidas y las enfermedades potenciales. El estudio debe realizar un análisis de dosis-respuesta, donde se establezca la presencia y magnitud del efecto en relación con el tiempo de exposición y la concentración de plaguicida en algún tejido o fluido biológico del individuo.

Para determinar la presencia ambiental de un plaguicida se debe llevar a cabo un monitoreo biológico en la población de estudio y en el entorno (agua, aire, alimentos, etc.). Para el monitoreo de seres vivos es importante conocer las características fisicoquímicas de los plaguicidas, con el fin de seleccionar el tipo de muestra óptima para el estudio, por ejemplo: orina, sangre, cabello y/o uñas, biopsia, frotis, etc. Generalmente el muestreo se lleva a cabo durante un tiempo

## ***INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO COMUNITARIO***

limitado por lo que en ocasiones este lapso puede no ser suficiente como para reflejar con precisión los patrones longitudinales de la exposición.

El muestreo de sustratos ambientales para determinar las concentraciones de plaguicidas es muy útil para estimar las exposiciones potenciales definidas por límites geográficos, aunque se pierde precisión en cuestión de la exposición real en los individuos (Ohlander et al., 2020).

Un ejemplo de la dificultad de establecer una causalidad con una enfermedad es el cáncer, ya que este tipo de patología puede tardar varios años en manifestarse; a pesar de ello, se tiene evidencia de que algunos plaguicidas pueden causar cáncer en el ser humano por exposiciones crónicas.

Limitantes en los estudios sobre el impacto de los plaguicidas en la salud son: el bajo interés de participación de la población y el costo de los análisis químicos. Debido a lo anterior es preciso que estos estudios sean multidisciplinarios y se cuente con los recursos humanos y financieros suficientes para establecer con bases científicas el riesgo que representan los plaguicidas.

La colaboración establecida entre investigadores de ciencias biomédicas y ambientales de las Instituciones: Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED); Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS), Universidad Autónoma de Campeche (UACAM) y el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), permitió enfocar nuestras líneas de investigación en la realización de estudios multidisciplinarios relacionados con la exposición y efecto de agroquímicos en niños y adultos expuestos a plaguicidas de la comunidad de Todos Santos BCS, cuyos resultados se muestran a continuación.

## **Riesgo genotóxico en infantes expuestos a plaguicidas organoclorados**

Este trabajo se desarrolló en una zona rural cercana a la comunidad de Todos Santos, BCS. Se enfocó en la evaluación de los posibles efectos tóxicos en el genoma celular de niños entre 6 a 12 años de edad expuestos a plaguicidas (Anguiano et al., 2020). Se identificaron y determinaron las concentraciones de plaguicidas organoclorados (OCs) en muestras de cabello de niños de dos escuelas de educación básica: una de ellas expuesta a fumigaciones en campos agrícolas aledaños (ubicada a 50 metros de parcelas con cultivos de chile) y otra escuela no expuesta a plaguicidas (situada a 1000 metros de las parcelas). Se encontraron 18 diferentes tipos de OCs siendo los más frecuentes cisclordano, endosulfan y sus metabolitos, DDT y sus metabolitos, dieldrin y aldrin; el total acumulado de OCs fue 28.19  $\mu\text{g/g}$  para los niños de la escuela expuesta. Solamente el lindano y sus metabolitos mostraron alta frecuencia en la escuela no expuesta; cabe destacar que este compuesto es el agente activo más utilizado en productos para control de ectoparásitos como piojos y liendres; el total acumulado de OCs para los niños de la escuela no expuesta fue de 4.39  $\mu\text{g/g}$ .

Así mismo se tomaron muestras de epitelio bucal de los infantes y fueron preparados frotis celulares en laminillas de vidrio para observación por microscopía de fluorescencia. Se cuantificaron las anomalías nucleares totales en las células bucales como: micronúcleos (MNi), cromatina condensada, cariorrexis, picnosis, células binucleadas, cariólisis, núcleos lobulados y apoptosis (Figura 34). Si bien no se reconocieron diferencias significativas en la presencia de MNi entre los escolares; la prevalencia de OCs en ambas escuelas fue superior al 50% y la frecuencia de MNi en los niños fue relativamente alta, con porcentajes superiores al 58%.

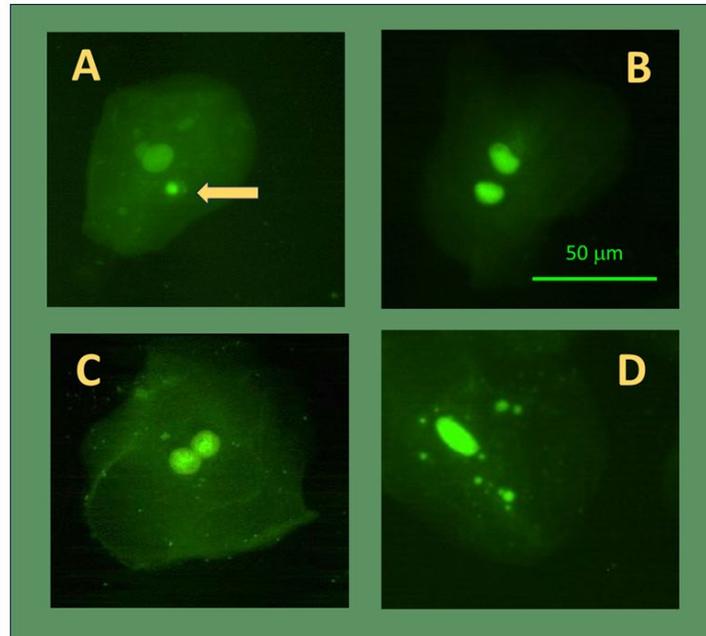


Figura 34. Microfotografías de fluorescencia de células de epitelio bucal con aberraciones nucleares. A) Célula con micronúcleo, indicado con la flecha; B) célula binucleada; C) célula con núcleo lobulado; D) célula en apoptosis.

Los niños de la escuela expuesta mostraron concentraciones de OCs más elevadas y tuvieron niveles más altos de anomalías nucleares en sus células bucales. Se determinó el riesgo relativo (RR) y la razón de probabilidades de prevalencia odds ratio (OR) para la presencia de MNi y anomalías nucleares totales en células bucales en relación con las concentraciones de OCs en las muestras de cabello. Ambas proporciones fueron altas para MNi mostrando un RR de 3.93 y un OR de 7.97; e indican una alta probabilidad de desarrollar MNi en células bucales cuando las concentraciones de OCs superan los 0.447  $\mu\text{g/g}$  en cabello.

Estos bioindicadores son eficientes para la evaluación del daño genotóxico en niños expuestos a compuestos persistentes y altamente tóxicos. Los resultados obtenidos sugieren el riesgo potencial al que están expuestos diariamente estos escolares debido a las fumigaciones en campos agrícolas cercanos.

## **Polimorfismos genéticos y análisis proteómico en población expuesta a plaguicidas**

Los nuevos conocimientos sobre la identificación de variantes y polimorfismos genéticos han permitido ahondar en el estudio de biomarcadores asociados a la exposición de diversos plaguicidas. En general se utilizan proteínas y genes que son blanco de toxicidad o participantes en la respuesta a la exposición, por ejemplo: se analizan polimorfismos de enzimas relacionadas en los procesos de detoxificación como la Familia del citocromo P450 (CYP), la glutatión S-transferasa (GST) y enzimas de la respuesta antioxidante como la superóxido dismutasa (SOD) (Eaton, 2000) De igual forma se han realizado diversos estudios proteómicos en modelos animales y humanos expuestos a plaguicidas con el objetivo de encontrar biomarcadores diagnósticos tempranos de la intoxicación (Louati et al., 2023).

En el año 2019 nuestro grupo realizó un estudio en trabajadores agrícolas expuestos a plaguicidas de forma crónica (más de 3 años de exposición laboral), radicados en Todos Santos BCS (Santillán et al., 2020). Se cuantificó la concentración de OCs en sangre; detectando diversos compuestos como el DDT y sus metabolitos, endosulfán y dieldrín. Las muestras fueron separadas en 2 grupos en función de la concentración total de OCs: el grupo de baja concentración presentó un rango entre 0 a 8.39  $\mu\text{g}/\text{mL}$  y sumatoria acumulada de 99.37  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ; el grupo de alta concentración mostró valores entre 8.51 y 60.39  $\mu\text{g}/\text{mL}$  y una sumatoria acumulada de 718.98  $\mu\text{g}/\text{mL}$ .

Se evaluó la actividad de GST y la frecuencia de los polimorfismos GST M1/\*0 y GST T1/\*0 en los individuos. Se encontró que el grupo de baja concentración muestra mayor actividad GST respecto al grupo de alta concentración; y que la presencia de alguno de los polimorfismos nulos GST M1\*0 o GST T1\*0 y la ocurrencia de ambos polimorfismos nulos se presentan con mayor frecuencia en el grupo de alta concentración de plaguicidas. En base a estos resultados se concluye

## **INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO COMUNITARIO**

que la actividad GST está relacionada con la exposición a OCs y que la disminución en la actividad GST en el grupo de alta concentración pudiera estar asociada con la alta prevalencia de los polimorfismos nulos de GSTM1 y GSTT1.

Adicionalmente se realizaron análisis proteómicos del suero de esta población mediante PAGE-2D y LC-ESI-IMS-QToF identificándose 15 proteínas expresadas diferencialmente entre el grupo expuesto a OCs y un grupo control sin exposición; se seleccionaron 3 posibles biomarcadores candidatos para validación del análisis siendo la  $\beta$ -actina, la S100A9 y la haptoglobina (Hp). Posteriormente, se evaluó mediante Western Blot la expresión de la  $\beta$ -actina y la S100A9 en los grupos control y expuesto. Los análisis densitométricos indicaron que no existe diferencia en la expresión de la  $\beta$ -actina entre los grupos analizados, mientras que para S100A9 se observó un aumento de expresión en los grupos expuestos en comparación con el grupo control, considerando a la S100A9 un potencial biomarcador de exposición crónica. La Hp se cuantificó mediante la técnica ELISA, observando una disminución en su concentración en el grupo expuesto a altas concentraciones de OCs con respecto al grupo control (artículo en preparación).

La Hp es una glicoproteína implicada entre otras funciones con la protección frente al daño oxidativo. La Hp es una proteína polimérica conformada por 2 subunidades  $\beta$  y 2 subunidades  $\alpha$ , la subunidad  $\alpha$  es polimórfica, con 2 isoformas ( $\alpha_1$  y  $\alpha_2$ ). Esta conformación permite presentar tres posibles fenotipos de Hp respecto a la presencia de tipo de subunidad  $\alpha$ : Hp 1-1 (16%), Hp 2-1 (48%) y Hp 2-2 (36%) (Levy et al, 2010). La presencia de estas isoformas de Hp fue analizada mediante Western Blot en los grupos control y expuesto a OCs, identificando una prevalencia global del fenotipo Hp 1-1 del 33%, para el Hp 2-1 de 27% y para el Hp 2-2 fue del 40% (Díaz Blanco, 2022). El fenotipo Hp 2-1 fue predominante en el grupo control, mientras que en el grupo expuesto el fenotipo predominante fue el Hp 2-2 (Figura 35). Estos datos nos sugieren que la variabilidad de los fenotipos pudiera estar asociada a la susceptibilidad de los individuos a presentar mayor bioacumulación de los OCs y en consecuencia incrementar el riesgo a sufrir daño

## AGROQUÍMICOS Y SUS EFECTOS

celular; considerando que los portadores del fenotipo Hp 2-2 presentan una menor capacidad antioxidante. Además, en este estudio se confirma que la concentración de Hp decae al incrementarse la concentración de OCs, en los individuos que presentan el fenotipo Hp 2-2. De acuerdo a estos resultados, se propone a la Hp como un potencial biomarcador de efecto, y también como biomarcador de susceptibilidad frente a la exposición a OCs.

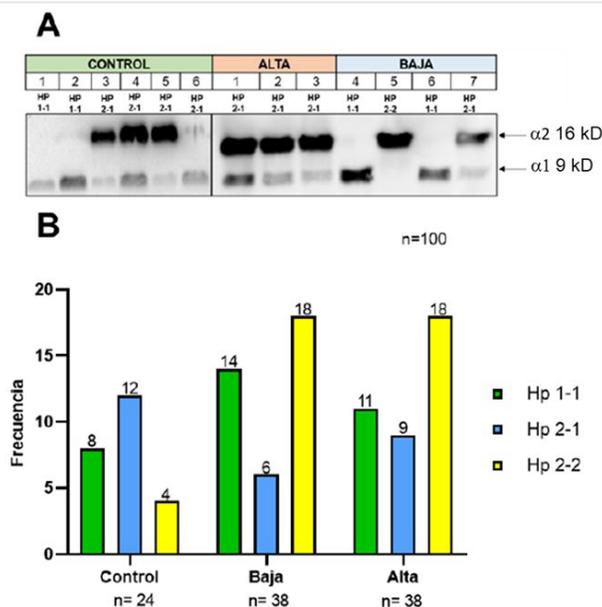


Figura 35. Identificación y frecuencia de fenotipos para haptoglobina en trabajadores agrícolas expuestos a plaguicidas. A) Western Blot de las isoformas de la subunidad  $\alpha$  en individuos de los diferentes grupos; B) Frecuencia en porcentaje de fenotipos Hp 1-1, Hp 2-1 y Hp 2-2 para cada grupo.

## Epigenética de agroquímicos en salud humana

Los procesos epigenéticos actúan mediante una serie de mecanismos fisiológicos que involucran modificación de ADN, ARN e histonas; y que colectivamente contribuyen a programar funciones citológicas y diferenciación celular, mediante cambios puntuales en las moléculas con actividad reguladora del genoma. Los procesos epigenéticos más estudiados son principalmente aquellos que actúan sobre el ADN ya que producen disfunciones celulares significativas.

## **INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO COMUNITARIO**

Se ha demostrado que numerosas patologías como: diversos tipos de cáncer, obesidad, enfermedad renal, enfermedad ovárica, anomalías gestacionales, trastornos conductuales e inmunológicos dependen de modificaciones epigenéticas inducidas por desencadenantes ambientales. El inicio y la progresión de muchas enfermedades dependen en gran medida de una desregulación epigenética persistente, causada por alteraciones ambientales en las primeras etapas de la vida (Giambo et al., 2021).

El estudio del daño epigenético producido por los agroquímicos puede ayudar a identificar biomarcadores de uso diagnóstico. Estos compuestos modulan los niveles de expresión de genes, generan alteraciones en la concentración de miARNs y modifican la metilación de ADN. Adicionalmente inducen efectos adversos mediante mecanismos endócrinos, al alterar las sustancias químicas y activar a los receptores endocrinos nucleares, generando modificaciones en proceso de expresión y regulación génica a nivel epigenético (Warner et al., 2019).

Hay evidencia de que el glifosato y compuestos derivados de éste, producen cambios en metilación global del ADN, metilación de genes específicos, modificación de histonas, expresión diferencial de ARN no codificantes e inducen la herencia transgeneracional de enfermedades y epimutaciones de la línea germinal espermática (Bukowska et al., 2022).

El impacto epigenético de los agroquímicos en genes, ADN, y proteínas entre otros se puede determinar en muestras tales como plasma, suero, sangre, orina entre otras. Cada consecuencia química se puede detectar con un método diferente, dichos efectos se han observado en genes, tejidos y células. Por ejemplo la permetrina y la N,N-dietil-meta-toluamida (DEET), pueden determinarse mediante estudios de asociación del epigenoma completo (EWAS). El estudio se realizó en ratas y ayudó a identificar biomarcadores que pueden ser utilizados para determinar la susceptibilidad a enfermedades (Thorson et al., 2020).

## **AGROQUÍMICOS Y SUS EFECTOS**

Actualmente se encuentra en proceso un estudio sobre los efectos epigenéticos inducidos en trabajadores agrícolas expuestos a plaguicidas OCs en los cultivos de Chile aledaños a la comunidad de Todos Santos BCS. Se analizaron los niveles de metilación global de genoma de los individuos comparándolos con un grupo control no expuesto y separando a los trabajadores en un grupo de baja concentración y otro de alta concentración de OCs, la metilación global de ADN se comparó con el nivel promedio de metilación para el genoma del ser humano, al momento los resultados se mantienen en fase de análisis y se pretende continuar el análisis de metilación de genes específicos asociados con los procesos de detoxificación y respuesta a estrés oxidativo. Así como otros biomarcadores asociados a patologías relacionadas con la exposición crónica como: leucemia, alteraciones hepáticas y renales, inmunológicas, síndrome metabólico, Parkinson, Alzheimer, entre otras.

### **Conclusiones**

La presencia generalizada de agroquímicos, sus metabolitos y productos de degradación, así como sus efectos en la salud humana, se han demostrado a nivel mundial por la comunidad científica por medio de diferentes estudios. Nuestro aporte a este problema, ha sido constatar daño genotóxico, genético y epigenético en población humana expuesta, con el fin de determinar biomarcadores capaces de ser utilizados en la prevención de los efectos de estos químicos en la población expuesta, así como en la toma de decisiones de parte de las autoridades reglamentarias y las acciones necesarias a implementar para la protección de la salud humana.

## **Importancia social**

La determinación de los daños en la salud humana causados por la exposición a agroquímicos tiene un importante aporte social al permitir identificar riesgos, prevenir enfermedades y promover políticas públicas para proteger la salud de las personas y el medio ambiente. Al evaluar los efectos de los agroquímicos en la salud, se puede mejorar la seguridad alimentaria, reducir la contaminación ambiental y fomentar prácticas agrícolas sostenibles.

Parte sustancial del contenido de este capítulo incluye trabajos de investigación realizados en la localidad de Todos Santos, BCS. Dichos estudios han contado con el apoyo y colaboración de organizaciones sociales de residentes y trabajadores agrícolas del poblado; así como con la participación de instituciones gubernamentales como el servicio de bomberos local, autoridades de escolares y otras autoridades municipales. Estos trabajos se enfocan exclusivamente en el interés de mejorar la salud pública de los residentes de Todos Santos y de mejorar la calidad de vida de los pobladores y del entorno natural en que se desarrollan.

## **Perspectivas**

Es necesario incrementar los esfuerzos en el desarrollo de proyectos de monitorización en la exposición a contaminantes ambientales, como los plaguicidas agrícolas; así como en el uso de herramientas novedosas en biología molecular y genómica “de nueva generación” y otras “ómicas”. Nuestro grupo ha desarrollado trabajos relevantes en apoyo a la salud pública de la población de Todos Santos. Se debe confirmar la utilidad de los candidatos a biomarcadores haptoglobina y S100A9 y culminar el estudio de epigenética de proteínas relevantes en los fenómenos de exposición a plaguicidas.

**Literatura citada**

- Anguiano, G.A., Cazares-Ramirez, L.H., Rendon Von-Osten, J., Santillan-Sidon, A. P., and Vazquez Boucard, C.G. (2020). Risk of genotoxic damage in schoolchildren exposed to organochloride pesticides. *Scientific Reports*,10, 17584. <https://doi.org/10.1038/541598-020-74620-w>.
- Auteri, D., Arena, M., Barmaz, S., Ippolito, A., Linguadoca, A., Molnar, T., Sharp, R., Szentes, C., Vagenende, B., and Verani, A. (2017). Neonicotinoids and bees: The case of the European regulatory risk assessment. *Sci Total Environ*. 579:966-971. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.158>.
- Bukowska, B., Woźniak, E., Sicińska, P., Mokra, K., and Michałowicz, J. (2022). Glyphosate disturbs various epigenetic processes in vitro and in vivo - A mini review. *Sci Total Environ*, 851(Pt 2):158259. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158259>.
- Curl, C.L., Spivak, M., Phinney, R., and Montrose, L. (2020). Synthetic Pesticides and Health in Vulnerable Populations: Agricultural Workers. *Curr Environ Health Rep*. 7(1):13-29. <https://doi.org/10.1007/s40572-020-00266-5>.
- Díaz Blanco, D.A. (2022). Evaluación de biomarcadores asociados a exposición de plaguicidas organoclorados en individuos expuestos ocupacionalmente [Tesis de Maestría] UJED. Facultad de Ciencias Químicas, Durango.
- Eaton, D.L. (2000). Biotransformation enzyme polymorphism and pesticide susceptibility. *Neurotoxicology* 21(1-2):101-11. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10794390/>.
- Gangemi, S., Gofita, E., Costa, C., Teodoro, M., Briguglio, G., Nikitovic, D., Tzanakakis, G., Tsatsakis, A.M., Wilks, M. F., Spandidos, D. A., and Fenga, C. (2016). Occupational and environmental exposure to pesticides and cytokine pathways in chronic diseases (Review). *Int J Mol Med*. 38 (4):1012-20. <https://doi.org/.3892/ijmm.2016.2728>.
- Giambo, F., Leone, G. M., Gattuso, G., Rizzo, R., Cosentino, A., Cina, D., Teodoro, M., Costa, C., Tsatsakis, A., Fenga, C., and Falzone, L. (2021). Genetic and Epigenetic Alterations Induced by Pesticide Exposure: Integrated Analysis of Gene Expression, microRNA Expression, and DNA Methylation Datasets. *Int J Environ Res Public Health*,18(16):8697. <https://doi.org/10.3390/ijerph18168697>.
- Hernández, V. (2017). Estudios epidemiológicos: tipos, diseño e interpretación. *Enfermedad Inflamatoria Intestinal al Día* 16(3):98-105. <https://doi.org/10.1016/j.eii.2017.03.001>.

## INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO COMUNITARIO

- Levy, A.P., Asleh, R., Blum, S., Levy, N.S., Miller-Lotan, R., Kalet-Litman, S., Anbinder, Y., Lache, O., Nakhoul, F.M., Asaf, R., D. Farbstein, M. Pollak, Y. Z. Soloveichik, M. Strauss, J. Alshiek, A. Livshits, A. Schwartz, H. Awad, K. Jad, and H. Goldenstein (2010)]. Haptoglobin: basic and clinical aspects. *Antioxid Redox Signal*, 12(2):293-304. <https://doi.org/10.1089/ars.2009.2793>.
- Louati, K., Maalej, A., Kolsi, F., Kallel, R., Gdoura, Y., Borni, M., Hakim, L.S., Zribi, R., Choura, S., Sayadi, S., Chamkha, M., Mnif, B., Khemakhem, Z., Boudawara, T.S., Boudawara, M.Z., and Safta, F. (2023). Shotgun Proteomic-Based Approach with a Q-Exactive Hybrid Quadrupole-Orbitrap High-Resolution Mass Spectrometer for Protein Adductomics on a 3D Human Brain Tumor Neurospheroid Culture Model: The Identification of Adduct Formation in Calmodulin-Dependent Protein Kinase-2 and Annexin-A1 Induced by Pesticide Mixture. *J Proteome Res*. 22(12):3811-3832. <https://doi.org/10.1021/acs.jproteome.3c00484>.
- Ohlander, J., Fuhrmann, S., Basinas, I., Cherrie, J.W., Galea, K.S., Povey, A.C., van Tongeren, M., Harding, A.H., Jones, K., Vermeulen, R., and Kromhout, H. (2020). Systematic review of methods used to assess exposure to pesticides in occupational epidemiology studies, 1993-2017. *Occup Environ Med*. 77(6):357-367. <https://doi.org/10.1136/oemed-2019-105880>.
- Rodríguez, A., Castrejón-Godínez, M.L., Salazar-Bustamante, E., Gama-Martínez, Y., Sánchez-Salinas, E., Mussali-Galante, P., Tovar-Sánchez, P.E., Ortiz-Hernández, M.L. (2020). Omics Approaches to Pesticide Biodegradation. *Curr Microbiol*. 77(4):545-563. <https://doi.org/10.1007/s00284-020-01916-5>.
- Santillán-Sidón, P., Pérez-Morales, R., Anguiano, G.A., Ruiz-Baca, E., Rendon-von Osten, J., Olivas-Calderón, E., and Vazquez-Boucard, C. (2020). Glutathione S-transferase activity and genetic polymorphisms associated with exposure to organochloride pesticides in Todos Santos, BCS, Mexico: a preliminary study. *Environ Sci Pollut Res Int*. 27(34):43223-43232. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10206-3>.
- Thorson, J.L.M., Beck, D., Ben Maamar, M., Nilsson, E.E., Skinner, M. K. (2020). Epigenome-wide association study for pesticide (Permethrin and DEET) induced DNA methylation epimutation biomarkers for specific transgenerational disease. *Environ Health*,19(1):109. <https://doi.org/10.1186/s12940-020-00666-y>.
- Tudi, M., Daniel Ruan, H., Wang, L., Lyu, J., Sadler, R., Connell, D., Chu, C., and Phung, D.T. (2021). Agriculture Development, Pesticide Application and Its Impact on the Environment. *Int J Environ Res Public Health*, 18 (3):1112. <https://doi.org/10.3390/ijerph18031112>.

- Ubaid, U.R.H., Asghar, W., Nazir, W., Sandhu, M. A., Ahmed, A., and Khalid, N. (2021). A comprehensive review on chlorpyrifos toxicity with special reference to endocrine disruption: Evidence of mechanisms, exposures and mitigation strategies. *Sci Total Environ.* 755(Pt 2):142649. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142649>.
- Warner, G.R., Mourikes, V.E., Neff, A.M., Brehm, E., and Flaws, J.A. (2020). Mechanisms of action of agrochemicals acting as endocrine disrupting chemicals. *Mol Cell Endocrinol.* 502:110680. <https://doi.org/10.1016/j.mce.2019.110680>.

**Para citar esta obra:**

***Anguiano Vega, A. G., E. Ruiz Baca, J. R. Parra Unda, J. Rendón von Osten, M. G. Nieto Pescador y C. Vázquez Boucard \*. 2025. Agroquímicos y sus efectos en la salud humana. En: Ortega-Rubio A. (Coord.) Investigación sobre los recursos naturales del noroeste de México, para el bienestar comunitario. (pp. 243-260). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. La Paz, B.C.S. México. 547 pp.***

